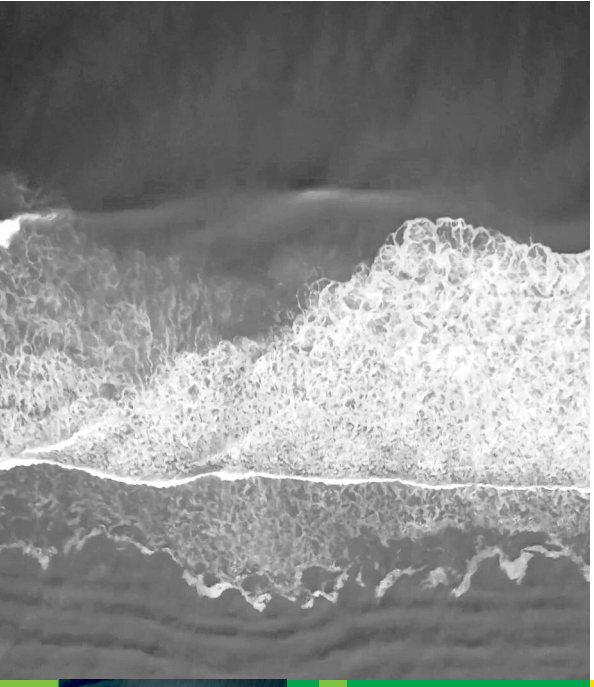
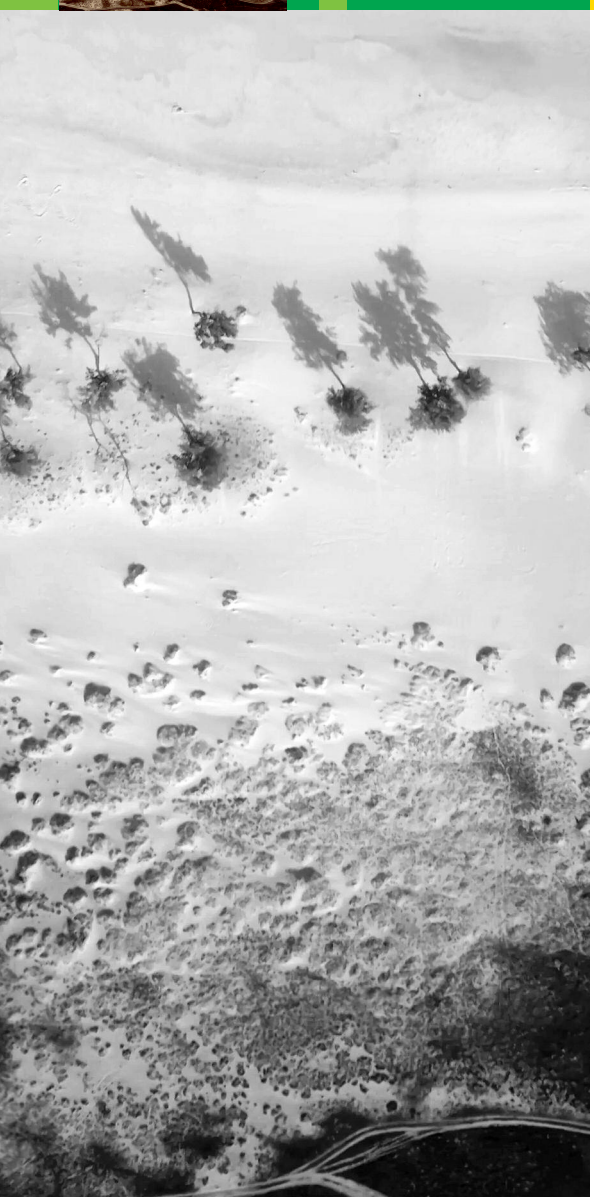




République Islamique de
Mauritanie

Honneur-Fraternité-Justice

Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

Direction du Contrôle Environnemental

République du
Sénégal

Un peuple-Un but-Une foi

Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

Direction de l'Environnement et des Établissements Classés

Projet de production de gaz Grand Tortue / Ahmeyim - Phase 1

Étude d'impact environnemental et social

Rapport final consolidé intégrant les revues réglementaires de la Mauritanie et du Sénégal

Juin 2019

Volume 5 sur 7

bp

En partenariat avec

KOSMOS ENERGY

PETROSEN

SMHPM

Rapport d'EIES préparé par

GOLDER

CSA Ocean Sciences Inc.

Ecodev

ENVIRONMENTAL TROPICA CONSULTANTS

Le rapport de l'étude d'impact environnemental et social du projet de production de gaz Grand Tortue/Ahmeyim - Phase 1 est divisé en 7 volumes comme suit :

Volume 1 : Le résumé non technique, la liste des principaux contributeurs, la table des matières, la liste des abréviations et acronymes ainsi que les chapitres 1 à 6

Volume 2 : Le chapitre 7

Volume 3 : Les chapitres 8 à 11 ainsi que la bibliographie et les références

Volume 4 : Les annexes A à J

Volume 5 : Les annexes K à O

Volume 6 : Les annexes P à R

Volume 7 : Les annexes S à Y

Le présent document est le **Volume 5** qui contient :

- Annexe K - Estimations des rejets d'effluents et rapport de modélisation de l'eau produite
- Annexe L - Rapport de modélisation de la dispersion des boues et des déblais de forage
- Annexe M - Rapport de modélisation de l'entraînement du plancton
- Annexe N - Rapports de modélisation des scénarios d'événements accidentels
- Annexe O - Données complémentaires à l'Étude de dangers

ANNEXE K : ESTIMATIONS DES REJETS D'EFFLUENTS ET RAPPORT DE MODÉLISATION SUR L'EAU PRODUITE

Annexe K
Estimations des rejets d'effluents et rapport de modélisation sur l'eau produite

CONTENU DE L'ANNEXE

K-1 Estimation des rejets d'effluents

K-2 Rapport de modélisation sur l'eau produite

ANNEXE K-1 : ESTIMATIONS DES REJETS D'EFFLUENTS

REJETS D'EFFLUENTS LORS DE LA PHASE DE PRÉPARATION, CONSTRUCTION ET INSTALLATION

Terminal du hub GNL près des côtes							
Navire	**Nombre de navires**	**Nombre de jours d'utilisation**	**PAB**	**(m^3) Eaux grises - quotidiennes**	**(m^3) Eaux noires - quotidiennes**	**(m^3) Eaux grises - Total**	**(m^3) Eaux noires - Total**
Drague	2	90	20	7	5	637	443
Navire transbordeur de blocs de pierre	2	130	50	18	12	2 301	1 599
Navire de soutien	6	660	6	6	4	4 206	2 922
Barge-grue	3	130	20	11	7	1 381	959
Barge de charge	1	65	60	11	7	690	480
Navire d'ancrage	3	20	15	8	6	159	111
Remorqueur	4	20	6	4	3	85	59
Bateau patrouilleur de projet	1	660	7	1	1	818	568
Navire de réserve	1	660	15	3	2	1 752	1 218
Navire d'approvisionnement	2	220	15	5	4	1 168	812
Bateau d'équipage	2	110	4	1	1	156	108
Flotel	1	210	250	44	31	9 293	6 458
Navire pour l'installation des pieux	1	540	30	5	4	2 867	1 993
Somme				***125***	***87***	***25 513***	***17 729***

Raccordement et mise en service du FPSO							
Navire	**Nombre de navires**	**Nombre de jours d'utilisation**	**PAB**	**(m^3) Eaux grises - quotidiennes**	**(m^3) Eaux noires - quotidiennes**	**(m^3) Eaux grises - Total**	**(m^3) Eaux noires - Total**
Navire d'ancrage	3	36	16	8	6	306	213
Remorqueur	4	30	10	7	5	212	148
Bateau patrouilleur de projet	1	60	7	1	1	74	52
Navire de réserve	1	60	14	2	2	149	103
Navire d'approvisionnement	2	20	14	5	3	99	69
Bateau d'équipage	2	110	4	1	1	156	108
Barge-derrick	1	18	50	9	6	159	111
Navire polyvalent	1	36	25	4	3	159	111
Somme				***39***	***27***	***1 315***	***914***

REJETS D'EFFLUENTS LORS DE LA PHASE DES OPÉRATIONS

Terminal du hub GNL près des côtes et FPSO

Navire	Nombre de navires	Nombre de jours d'utilisation	PAB	(m^3) Eaux grises - quotidiennes	(m^3) Eaux noires - quotidiennes	(m^3) Eaux grises - Total/an	(m^3) Eaux noires - Total/an
Navires							
Remorqueur	4	182,5	10	7	5	1 292	898
Navire d'approvisionnement	2	182,5	22	8	5	1 421	988
Bateau d'équipage	3	182,5	4	2	1	388	269
Méthanier	1	36,5	22	4	3	142	99
Navire-citerne de condensat	1	5,6	22	4	3	22	15
Navire transporteur de lignes d'amarrage	3	182,5	4	2	1	388	269
Bateau patrouilleur de projet	2	365	7	2	2	904	629
Somme				***29***	***20***	***4 557***	***3 167***

Autres rejets

Source	Spécifications	Volume total	Facteur de volume	Total/jour	Notes		Total/an
Eau produite traitée du FPSO		99 m^3/jour	99		365 jours/an		36 135
Eau de refroidissement et saumure de dessalement du FPSO		96 000 m^3/jour	96 000		365 jours/an		35 040 000
Eaux de drainage des ponts du FPSO		21,9 m^3/jour	21,9		30 jours/an		657
Eaux usées traitées et déchets alimentaires du FPSO		25 m^3/jour	25		365 jours/an		750
			FPSO	*96 146*			
Eau de refroidissement du FLNG	54 000 m^3/hre	1 296 000 m^3/jour	1 296 000		365 jours/an		473 040 000
Saumure du FLNG	7,2 m^3/hre	172,8 m^3/jour	173		365 jours/an		63 072
Eaux usées de la plateforme LS	0,3 m3/personne/jour	48 m3/jour	48		365 jours/an		17 520
Drainage du pont de la plateforme LS	(Estimé)	5 m^3/jour	5		30 jours/an		150
			FLNG/plateforme LS	*1 296 226*			
Somme							***508 198 284***

Note: Dans plusieurs cas, le nombre de jours d'utilisation est présenté dans le chapitre 2 en terme de plage de périodes; le plus grand nombre de jours estimés est utilisé pour ces calculs (hypothèse conservatrice).

Facteurs (0,3 m^3/personne/jour)	
Eaux grises	Eaux noires
0,177	0,123

REJETS D'EFFLUENTS LORS DE LA PHASE DE PRÉPARATION, CONSTRUCTION ET INSTALLATION

Installations sous-marines

Navires

Navire	Nombre de navires	Nombre de jours d'utilisation	PAB	(m^3) Eaux grises - quotidiennes	(m^3) Eaux noires - quotidiennes	(m^3) Eaux grises - Total	(m^3) Eaux noires - Total
Navire poseur de conduites en S	1	120	300	53	37	6 372	4 428
Navire poseur de conduites en J	1	90	200	35	25	3 186	2 214
Navire transporteur de charges lourdes	1	290	60	11	7	3 080	2 140
Navire de reconnaissance avec ROV	1	50	50	9	6	443	308
Navire transporteur de conduites	1	160	80	14	10	2 266	1 574
Navire de soutien aux opérations de plongée	1	16	80	14	10	227	157
Navire polyvalent	1	180	25	4	3	797	554
Navire d'approvisionnement	1	30	22	4	3	117	81
Navire poseur d'ombilicaux	1	34	50	9	6	301	209
Bateau patrouilleur de projet	1	56	7	1	1	69	48
Somme				***155***	***108***	***16 856***	***11 714***

Rejets d'effluents des pipelines

Source		Volume total	Facteur de volume		Total (m^3)
Conduite d'écoulement de production		16 245,6 m^3	16 246		16 246
Pipeline d'exportation du gaz		18 315 m^3	18 315		18 315
Tubes prolongateurs pour l'exportation du gaz		45 m^3	45		45
Pipeline pour le monoéthylène glycol		1 004 m^3	1 004		1 004
Somme					***35 610***

REJETS D'EFFLUENTS LORS DE LA PHASE DES OPÉRATIONS

Terminal du hub GNL près des côtes et FPSO

Navire	Nombre de navires	Nombre de jours d'utilisation	PAB	(m^3) Eaux grises - quotidiennes	(m^3) Eaux noires - quotidiennes	(m^3) Eaux grises - Total/an	(m^3) Eaux noires - Total/an
Navires							
Remorqueur	4	182,5	10	7	5	1 292	898
Navire d'approvisionnement	2	182,5	22	8	5	1 421	988
Bateau d'équipage	3	182,5	4	2	1	388	269
Méthanier	1	36,5	22	4	3	142	99
Navire-citerne de condensat	1	5,6	22	4	3	22	15
Navire transporteur de lignes d'amarrage	3	182,5	4	2	1	388	269
Bateau patrouilleur de projet	2	365	7	2	2	904	629
Somme				***29***	***20***	***4 557***	***3 167***

Autres rejets

Source	Spécifications	Volume total	Facteur de volume	Total/jour	Notes		Total/an
Eau produite traitée du FPSO		99 m^3/jour	99		365 jours/an		36 135
Eau de refroidissement et saumure de dessalement du FPSO		96 000 m^3/jour	96 000		365 jours/an		35 040 000
Eaux de drainage des ponts du FPSO		21,9 m^3/jour	21,9		30 jours/an		657
Eaux usées traitées et déchets alimentaires du FPSO		25 m^3/jour	25		365 jours/an		750
			FPSO	*96 146*			
Eau de refroidissement du FLNG	54 000 m^3/hre	1 296 000 m^3/jour	1 296 000		365 jours/an		473 040 000
Saumure du FLNG	7,2 m^3/hre	172,8 m^3/jour	173		365 jours/an		63 072
Eaux usées de la plateforme LS	0,3 m3/personne/jour	48 m3/jour	48		365 jours/an		17 520
Drainage du pont de la plateforme LS	(Estimé)	5 m^3/jour	5		30 jours/an		150
			FLNG/plateforme LS	*1 296 226*			
Somme							***508 198 284***

Note: Dans plusieurs cas, le nombre de jours d'utilisation est présenté dans le chapitre 2 en terme de plage de périodes; le plus grand nombre de jours estimés est utilisé pour ces calculs (hypothèse conservatrice).

Facteurs (0,3 m^3/personne/jour)	
Eaux grises	Eaux noires
0,177	0,123

REJETS D'EFFLUENTS LORS DE LA PHASE DE FERMETURE

Navire	Nombre de navires	Nombre de jours d'utilisation	PAB	(m^3) Eaux grises - quotidiennes	(m^3) Eaux noires - quotidiennes	(m^3) Eaux grises - Total	(m^3) Eaux noires - Total
FPSO et SPSM							
Navires							
Navire de forage	1	21	200	35	25	743	517
Navire de réserve	1	24	20	4	2	85	59
Navire d'approvisionnement	1	24	22	4	3	93	65
Navire de reconnaissance avec ROV	1	15	50	9	6	133	92
Remorqueur	2	10	10	4	2	35	25
Bateau d'équipage	1	90	4	1	0,5	64	44
Navire polyvalent	2	24	25	9	6	212	148
Somme				***65***	***45***	***1 366***	***949***

Facteurs (0,3 m^3/personne/jour)	
Eaux grises	Eaux noires
0,177	0,123

Navire	Nombre de navire	Nombre de jours d'utilisation	PAB	(m^3) Eaux grises - quotidiennes	(m^3) Eaux noires - quotidiennes	(m^3) Eaux grises - Total	(m^3) Eaux noires - Total
FLNG, plateforme LS et zone du hub près des côtes							
Navire							
Navire d'approvisionnement	1	24	22	4	3	93	65
Navire de réserve	1	24	20	4	2	85	59
Navire d'ancrage	2	64	15	5	4	340	236
Barge-grue	2	64	20	7	5	453	315
Remorqueur	6	80	10	11	7	850	590
Bateau d'équipage	1	90	4	1	0,5	64	44
Navire polyvalent	2	24	25	9	6	212	148
Somme				***40***	***28***	***2 097***	***1 457***

Facteurs (0,3 m^3/personne/jour)	
Eaux grises	Eaux noires
0,177	0,123

FACTEURS D'EAUX USÉES (m^3/personne/jour)

Phase	Eaux grises	Eaux noires	Total
Fermeture - terminal du hub GNL près des côtes	0,177	0,123	0,3
Fermeture - FPSO, SPSM	0,177	0,123	0,3
Installation & Opérations	0,177	0,123	0,3

Notes:

BP mentionne la génération d'eaux usées à 0,3 m^3/personne/jour, maximum

USEPA (1993) mentionne 185 litres/personne/jour - 110 litres (eaux grises)/personne/jour et 75 litres (eaux noires)/personne/jour

0,3 m^3/personne/jour utilisée pour l'installation, les opérations et la fermeture du FPSO and SPSM, cohérant avec la documentation de BP

0,3 m^3/personne/jour utilisée pour la fermeture du terminal du hub GNL près des côtes, corrigeant la documentation de BP

Division des eaux grises et eaux noires (selon USEPA, proportions de 1993) :

Eaux grises : 110/185 = 0,59

Eaux noires : 75/185 = 0,41

Pour 0,3 m^3:

eaux grises : 0,177 m^3/personne/jour (0.3 x 0.59)

eaux noires: 0,123 m^3/personne/jour (0.3 x 0.41)

INSTALLATION ET MISE EN SERVICE DES PIPELINES (Remplissage, test hydraulique, essai d'étanchéité, assèchement; Tableau 2-26)

Ligne de production	2 472	
Ligne de production	210	
Ligne de production	156	
Ligne de production	2,6	
Ligne de production	223	
Ligne de production	13 182	16 246 somme
Pipeline d'exportation du gaz	2 968	
Pipeline d'exportation du gaz	252	
Pipeline d'exportation du gaz	253	
Pipeline d'exportation du gaz	14 842	18 315 somme
Tubes prolongateurs pour l'exportation du gaz	45	45 somme
Pipeline pour monoéthylène glycol	162	
Pipeline pour monoéthylène glycol	14	
Pipeline pour monoéthylène glycol	15	
Pipeline pour monoéthylène glycol	813	1 004 somme

Documents de référence pour les rejets d'effluents et l'utilisation des navires

Les documents de référence suivants ont été utilisés pour compiler cette annexe.

Produits chimiques utilisés pour les forages et fluides/boues de forage :

1. Étude d'impact environnemental pour le forage exploratoire des blocs Saint-Louis Offshore Profond et Cayar Offshore Profond en région offshore du Sénégal; Kosmos, 2015.
2. Drill Cuttings Volume Worksheet Tortue Dev Cenomanian 28th July 2017
3. Drill Cuttings Volume Worksheet Tortue Dev Albian 28th July 2017

Autres produits chimiques :

1. Spécifications fonctionnelles du FPSO, MS002-EM-PE-010-03001 B02
2. Waste_Discharge_Inventory_revGBA.pdf

Rejets d'effluents et déchets :

1. Project Discharges and Waste Inventory B01
2. J7047-BP-TE-T-002 Operations - Effluents and Wastes
3. J7047-BP-TE-T-002 Operations - Effluents and Wastes, Rev1
4. Tortue Concept Select BOD/J7018-BP-TB-B-001, Rev0
5. Produced Water Modelling Report/MS002-EV-REP-000-03001 A01
6. Produced Water Modelling Report/MS002-EV-REP-000-03001 B02
7. J7047-BP-TE-T-006 Commissioning and Start-up - Effluents and Wastes Rev0

Navires et utilisation des navires :

1. Vessel description-04012017
2. Projet, prévisions relatives à la consommation d'énergie et aux émissions atmosphériques, MS002-EV-REP-010-01002 B02

ANNEXE K-2 : RAPPORT DE MODÉLISATION SUR L'EAU PRODUITE

Security Classification: General

bp

Mauritania & Senegal Region

Tortue Phase 1

KBR

PROJET DE DEVELOPPEMENT TORTUE

Rapport de Modélisation d'Eau Produite

B02	Issued for Use	28/03/2018	Paul Page	Richard Pawson /Steve Cousins	David Cowie	KBR DMG
A01	Issued for Review	17/01/2018	Paul Page	Richard Pawson /Steve Cousins	David Cowie	KBR DMG
Rev.	Reason for Issue	Date	Author	Checker	Approver	DMG QA

Refresh Cycle Code (Years):	Not Applicable

Unique Identifier:	Not Applicable	MS002-EV-REP-010-03001	Rev.
RD Type:	Not Applicable		B02

Uncontrolled when printed or stored locally

Utilisation et interprétation du présent document

Le présent document est classé au titre des documents internes de BP. Sa diffusion est exclusivement réservée aux destinataires BP habilités. Le présent document porte sur la propriété intellectuelle de BP dont la protection est exigée par le Code de conduite de BP. Sa diffusion et son utilisation par toute personne extérieure à BP sont assujetties aux conditions générales de l'accord ou du contrat applicable, selon le cas, avec lequel il a été fourni ou reçu.

Le contenu du présent document peut différer ou aller au-delà des exigences légales. Le présent document est sans préjudice de l'obligation de se conformer aux exigences légales et réglementaires en vigueur. Les Exigences BP, les Recommandations BP, ainsi que les Permissive Statements de BP s'appliquent uniquement si elles n'entrent pas en contradiction avec les exigences légales et réglementaires en vigueur. En cas de contradiction manifeste avec les exigences légales et réglementaires en vigueur, le lecteur doit solliciter l'avis de BP Legal.

L'ensemble des documents faisant autorité et comprenant les Exigences BP, les Recommandations BP et les Permissive Statements de BP est disponible en format électronique surhttps://intranet.bp.com/en_gb/group/bp-requirements.html. Les lecteurs sont tenus de vérifier que toute version papier ou autre version du présent document est à jour.

Les Recommandations BP sont mises à la disposition des lecteurs au sein de BP afin de les aider à choisir entre différentes options pouvant s'offrir à eux, par exemple, communiquer une norme supérieure souhaitable (mais non obligatoire) allant au-delà des Exigences BP. Une approche différente peut s'avérer nécessaire ou appropriée.

Le présent document ne vise pas à décrire ou établir une norme ou une pratique du secteur et son contenu peut différer ou aller au-delà de ce qu'un lecteur peut considérer comme étant une bonne pratique ou une pratique exemplaire. Le contenu du présent document a été exclusivement approuvé pour les besoins de BP. Aucune personne extérieure à BP n'est autorisée à se fier à son contenu, et BP décline toute responsabilité quant à cette utilisation.

La version en langue anglaise du présent document est la version originale et a la primauté sur n'importe quelle traduction dans une autre langue en cas de contradiction ou d'incohérence.

Copyright © 2013. BP p.l.c. Tous droits réservés.

Use and Interpretation of this Document

This document is issued by Kellogg Brown & Root Ltd. (KBRL) under contracts entered into with BP Mauritania Investments Ltd. and BP Senegal Investments Ltd. (BP) for the specific purposes connected with the Tortue Project only. It should not be relied upon by any other party or used for any other purpose. KBRL accepts no responsibility for any loss, damage or other consequence (however caused) arising out of this document being relied upon by any other party, or being used for any other purpose. This document / software contains technical information that is subject to EU, U.S. and any other applicable export control regulations, including restrictions on the export, sale or transfer of items (goods, technology or software) to sanctions or embargoed countries, entities or persons. It may not be exported or re-exported except as authorised under applicable export control requirements.

Historique des révisions*

Date de révision	Numéro de révision	Approbateur	Révision
21 décembre 2017	A01	Paul Page	Premier projet publié pour vérification et révision
5 janvier 2018	B01	Paul Sutherland Steve Cousins	Publié pour utilisation
20 mars 2018	B01-01	Paul Page	Publié pour révision - Rapport mis à jour pour inclure le mercure dans les déversements d'eau produite
26 mars 2018	B02	Paul Sutherland Steve Cousins	Publié pour utilisation - Rapport mis à jour pour inclure le mercure dans les déversements d'eau produite

* historique avant la page de couverture.

Système de gestion des opérations (OMS)

Sous-élément OMS	Titre du sous-élément OMS	Section(s) pertinente(s) de ce document
3.6	Environnement	
7.1	Conformité réglementaire	

Références retenues

Référence retenue	Description / Raison de retenue	Section(s) pertinente(s) de ce document
<HOLD01>		
<HOLD02>		

Ce tableau est optionnel et peut être supprimé s'il n'est pas nécessaire. Il est destiné à indiquer tous les éléments retenus dans le document, ainsi que la raison pour laquelle ils sont retenus. Une « retenue » unique peut s'appliquer à plus d'une section du document. Lorsque les retenues sont levées, l'entrée pertinente doit être supprimée du tableau et du corps du texte.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Réviseurs

Nom	Rôle	Type de révision	Date de révision
Steve Cousins	Conseiller environnemental - Mauritanie et Sénégal, GPO - Tortue		

Documents associés

Numéro / Identifiant de document GPO	Identifiant RD (le cas échéant)	Nom du document	Emplacement

Sauf indication contraire dans le contenu de ce document, la référence aux documents ci-dessus est donnée à titre d'information. Des sections spécifiques des documents mentionnés seront données dans le contenu de ce document si les exigences de conformité le requièrent.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Sommaire

Page

1 Synthèse 7

2 Introduction 10

2.1 Contexte 10

3 Méthodologie d'évaluation du risque 12

3.1 Collecte des données 13

3.2 Évaluation des dangers 13

3.2.1 Calcul des valeurs PNEC et utilisation des facteurs d'évaluation (sécurité) 13

3.3 Évaluation de l'exposition 14

3.4 Caractérisation du risque 15

3.4.1 Approche de modélisation DREAM/EIF 15

3.4.2 Avantages et limites des approches fondées sur le risque 19

4 Scénarios de déversements d'eau produite 21

5 Données d'entrées de l'évaluation du risque 22

5.1 Paramètres du point de rejet 22

5.2 Conditions ambiantes 23

5.2.1 Bathymétrie 23

5.2.2 Données hydrodynamiques et sur le vent 23

5.3 Propriétés de l'eau produite -- Contaminants potentiellement préoccupants (COP) 28

5.3.1 Composés naturellement présents 28

5.3.2 Additifs chimiques 29

5.3.3 Paramètres et hypothèses du modèle 31

6 Résultats d'évaluation du risque 32

6.1 Évaluation des substances naturellement présentes uniquement 32

6.2 Évaluation des substances naturellement présentes et des additifs chimiques 39

7 Discussion 47

8 Références 48

Annex A Calcul des valeurs PNEC et facteurs d'évaluation (sécurité) 50

Annex B Valeurs PNEC pour les composants naturellement présents dans l'eau produite 52

Annex C Résultats de modélisation du risque d'exposition environnementale pour chaque scénario de déversement 56

C.1 Scénario 1 56

C.2 Scénario 2 59

C.3 Scénario 3 64

C.4 Scénario 4 68

C.5 Scénario 5 72

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

C.6 Scénario 6 75
C.7 Scénario 7 78
C.8 Scénario 8 83

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

1 Synthèse

Ce rapport décrit les conclusions d'une étude de modélisation réalisée dans le but d'évaluer les risques potentiels d'exposition écologique liés aux différents scénarios de rejet d'eau produite (PW) offshore de l'installation flottante de production, stockage et déchargement en mer (FPSO) du projet de développement Tortue. Conformément au Basis of Design (document d'ingenierie fixant les bases relatives à la conception du projet), il a été supposé que la séparation des hydrocarbures libres a été effectuée à l'aide hydrocyclones / de système de flottation induite au gaz. L'étude a été effectuée en support de l'évaluation de l'impact environnemental et social (ESIA) de la Phase 1A du projet de Tortue.

L'objectif de la modélisation était de :

- Simuler les débits de rejet continu prévus et les compositions des effluents sur une période de 45 jours ;
- Fournir une évaluation quantitative du risque environnemental sur le milieu marin lié aux différents scénarios de déversements ;
- Établir la contribution relative des principaux contaminants au risque d'exposition environnementale ;
- Comprendre la sensibilité du risque aux variations de concentrations des composés hydrocarbures et des additifs chimiques necessaire à la production présents dans le rejet d'eau produite ainsi qu'aux conditions ambiantes (vitesse de courant de fond, etc.).

La méthodologie employée dans cette étude est conforme à la Recommandation OSPAR 2012/5 de l'Approche fondée sur le risque (Risk-Based Approach RBA) relative à la Gestion des rejets d'eau produite des installations offshore [(1)] ainsi qu'aux Directives OSPAR venenat en support à la Recommandation 2012/5 [(2)].

L'approche OSPAR RBA a été spécialement développée pour l'environnement offshore et est conforme aux principes de l'ERA (Environmental Risk Assessment – Evaluation de Risque Environnemental) reconnus à l'échelle internationale, déjà mis en place en Europe (ECHA -- documents du Guide technique [(3,4)]) et actuellement en cours de mise en œuvre dans la région de l'Atlantique du Nord-Est.

Le processus d'évaluation du risque d'OSPAR suit les étapes standards de collecte de données, d'évaluation des dangers, d'évaluation de l'exposition et de caractérisation du risque, qui sont décrites avec de plus amples détails ci-dessous. L'étape de caractérisation du risque est fondée sur le même principe largement accepté qui consiste à comparer la Concentration prévisible dans l'environnement (PEC) pour chaque composé chimique rejetté dans le milieu récepteur à la Concentration prévisible sans effet (PNEC). Lorsque la valeur PEC est superieur au seuil PNEC, il peut y avoir un risque de dommages. Lorsque la valeur PEC est inférieure au seuil PNEC, le risque de dommages est considéré comme étant « acceptable ».

Une approche fondée sur les substances (Substance Based Approach SBA) a été employée pour évaluer la toxicité des effluents d'eau produite associée à chaque scénario de rejet. Cette approche implique une estimation de la concentration de chaque substance naturellement présente (NOS) et de chaque additif chimique de production présent dans le rejet d'eau produite, ainsi qu'une collecte des informations éco-toxicologiques et des données relatives aux propriétés physico-chimiques pour

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

chaque contaminant présent. Les informations éco-toxilogiques sont utilisées pour évaluer les valeurs PNEC pour chaque substance.

Le Modèle d'évaluation des doses, des risques et des effets (DREAM, Dose-related Risk and Effect Assessments Model) a été employé pour calculer la dispersion des déversements d'eau produite et le Facteur d'impact environnemental (EIF). Le facteur EIF représente le regroupement des rapports PEC/PNEC pour tous les contaminants présents dans le rejet dans une valeur de risque intégré unique, qui est liée à la probabilité de dommages. Une unité de l'EIF représente un volume d'eau (défini comme 10^5 m^3) qui a le potentiel d'être nocif pour $\geq$ 5 % des espèces marines dans le milieu récepteur, si elles sont exposées aux substances nocives présentes dans le rejet.

L'approche EIF présente l'avantage de fournir une mesure quantitative des risques environnementaux inhérents aux déversements d'eau produite en mer. De plus, lorsque la caractérisation du risque suit une approche SBA, la méthode EIF permet de quantifier la contribution à l'EIF de chaque contaminant présent dans le déversement et de fournir ainsi une base pour réduire le risque d'exposition de façon systématique et quantitative.

Huit scénarios de rejet d'eau produite ont été modélisés pour examiner la sensibilité du risque écologique aux concentrations de benzène, d'éthylbenzène de toluène et de xylène (BTEX) dans les effluents d'eau produite (Scenario de reference et Scenario de BTEX « élevé »), à la fois avec et sans additifs chimiques de production dans le rejet d'eau produite. L'objectif de cette approche consiste à identifier le changement dans le risque total après l'inclusion des additifs chimiques, car les options de gestion des NOS et des additifs chimiques seront normalement très différentes.

La modélisation DREAM a été effectuée pour une plage de conditions de courant ambiant (les vitesses de courant les plus basses et les plus élevées) sélectionnées dans un ensemble de données hydrodynamiques de simulation 3D sur une période de 3 ans (2009 - 2011) afin d'évaluer la sensibilité du risque d'exposition aux conditions météo-océaniques prévalentes dans les environs de l'emplacement des rejets. Le débit de déversement d'eau produite utilisé dans la modélisation était de 625 bpj.

La modélisation fondée sur l'approche par substance (SBA) à la fois pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques du rejet d'eau produite du FPSO de Tortue a montré que $\geq$ 90 % du risque d'exposition environnementale est attribuable à la présence d'un inhibiteur de corrosion dans le rejet, avec des contributions mineures de benzène (3 à 6 %) et du floculant chimique (2 à 3 %)

Les valeurs EIF maximales et moyennes les plus élevées obtenues lors de la modélisation des profils d'eau produite contenant uniquement des données au niveau des substances NOS étaient de 2,12 et 1,03 respectivement, ce qui indique que la contribution des NOS à la toxicité de l'eau produite est négligeable. Le risque d'exposition maximum le plus élevé moyenné dans le temps et les valeurs EIF moyennes étaient de 64 % et 1,03, respectivement, pour le scenario de concentration BTEX élevée et de vitesse de courant ambiant la plus basse. Un facteur EIF moyen de 1,03 équivaut au volume d'eau maximal qui présente un risque d'exposition de $\geq$ 5 % de 1,03 x 10^{-4} km^3

Pour le cas considérant seulement les substances NOS, la distance maximale depuis le point de rejet pour laquelle le risque d'exposition était $\geq$ 5 % pour tous les stades temporels, était comprise entre 1,93 km et 3,20 km pour les cas de courant ambiant faible et fort, respectivement.

Les scénarios avec BTEX élevé ont donné des valeurs EIF maximales et moyennes supérieures de 51 % à 66 % à celles des scénarios de cas de base BTEX correspondants.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Les valeurs EIF calculées étaient plus élevées lorsque les additifs chimiques de production ont été inclus dans le profil d'eau produite. Les valeurs EIF maximales et moyennes les plus élevées étaient respectivement de39,6 et 15,6. Elles étaient associées au scenario suivant : concentration BTEX élevée + additifs chimiques / vitesse de courant ambiant la plus basse. Un facteur EIF maximal de 39,6 équivaut à un volume d'eau maximal qui présente un risque d'exposition $\geq$ 5 % de 3,96 x 10^{-3} km^3 . Les résultats de la modélisation des scénarios de cas BTEX élevé avec additifs chimiques ont donné des valeurs EIF supérieures de seulement 5 à 6 % à celles des scénarios correspondants du cas de base NOS avec additifs chimiques, ce qui indique encore une fois que la contribution des NOS à la toxicité de l'eau produite est mineure.

Pour tous les scénarios BTEX avec additifs chimiques, l'augmentation de la dispersion dans les conditions de courant ambiant élevées a réduit les valeurs EIF maximales et moyennes de 45% -49 % et 38 %, respectivement.

Pour le cas de base NOS avec additifs chimiques, la distance maximale depuis le point de rejet pour laquelle le risque d'exposition était $\geq$ 5 % pour tous les stades temporels était comprise entre 5,31 km et 8,47 km pour les cas de courant ambiant faible et élevé, respectivement.

Bien que les résultats suggèrent que les produits chimiques ajoutés sont le principal contributeur au risque d'exposition environnementale, il doit être souligné que cela est en partie dû à l'approche associée au facteur d'évaluation/sécurité (AF) comprise dans la méthodologie EIF. La variabilité observée dans la qualité et la quantité des données de toxicité pour les différents groupes de substances entraîne une large gamme des AF appliqués qui est responsable de l'incertitude d'extrapolation. Par exemple, les valeurs PNEC d'éthylbenzène et de benzène ont été dérivées à l'aide d' AF de 10 et 100 respectivement, et ce parce que des données de toxicité chronique complètes sont disponibles (7). En revanche, des AF de 1 000 ont été appliqués aux additifs chimiques, car il existe des données de toxicité aiguës limitées disponibles pour 3 espèces à 3 niveaux trophiques différents (algues, zooplancton et poissons) (3). Il est important que l'incertitude d'extrapolation « cachée » dans les AF soit prise en considération lors de la définition des mesures de réduction des risques ; sinon, cela peut entraîner des options de priorisation et d'atténuation erronées.

Par conséquent, pour le cas du rejet d'eau produite du FPSO de Tortue, avant d'envisager les autres options d'atténuation du risque éventuelles, la priorité doit consister à déterminer si l'acquisition les données de tests de toxicité chronique pour l'inhibiteur de corrosion permettra l'utilisation d'un AF moins conservateur de 100, ou de 50 dans les calculs EIF, ce qui réduirait la valeur EIF globale ainsi que la contribution de l'inhibiteur de corrosion.

Bien qu'il ne soit pas conseillé de comparer les EIF de différentes installations en raison des différences au niveau de la nature et l'échelle des déversements et des conditions environnementales, les valeurs EIF maximales et moyennes les plus élevées de 39,6 et 15,6 calculées pour le rejet d'eau produite du FPSO de Tortue sont faibles en comparaison avec les données limitées publiées sur les valeurs EIF d'eau produite associées aux installations de la Mer du Nord. En 2002, Statoil a publié les données EIF pour le rejet d'eau produite provenant de 25 champs de la Mer du Nord. Les valeurs étaient comprises entre 0 (zéro) et 15 000, avec une valeur EIF de 100 ou moins pour sept champs, une valeur EIF d'environ 1 000 pour la majorité des champs et une valeur EIF >5 000 pour trois champs.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

2 Introduction

Ce rapport décrit les conclusions d'une étude de modélisation réalisée dans le but d'évaluer les risques potentiels d'exposition écologique liés aux différents scénarios de rejets d'eau produite (PW) offshore de l'installation flottante de production, stockage et déchargement en mer (FPSO) du projet de développement de Tortue. Conformément au Basis of Design (document d'ingenierie fixant les bases relatives à la conception du projet),, il a été supposé que la séparation des hydrocarbures libres a été effectuée à l'aide d'hydrocyclones / de système de flottation induite au gaz. Il a également été supposé qu'il n'y aura pas de mélange des effluents thermiques dans le flux de rejet d'eau produite ; cela ne sera donc pas inclus dans la portée de cette étude.

L'étude a été effectuée en support de l'évaluation de l'impact environnemental et social (ESIA) de la Phase 1A du projet de Tortue.

2.1 Contexte

Il est prévu que le développement du champ de Tortue soit effectué par phases. La Phase 1A produira du gaz initialement à partir de 4 puitsdans un certain nombre de centres de forage ; le champ sera progressivement développé avec des puits et des centres de forage supplémentaires. La Phase 1A fournira ~480 mpcs/j de ventes de gaz, génèrera ~2,5 TMPA de GNL et fournira un approvisionnement domestique de 35 mpcs/j à la Mauritanie et au Sénégal.

La FPSO de Phase 1A, située à une profondeur de 100 à 130 m, traitera jusqu'à 505 mpcs/j de gaz enentrée provenant des puits sous-marins en séparant le condensat du flux de gaz et en transférant le gaz conditionné dans un hub dans lequel le GNL sera traité et exporté. Situé en eau peu profonde (30 à 33 m de profondeur) à la frontière maritime de la Mauritanie et du Sénégal, le Hub comprend un brise lames pour protéger les opérations maritimes, notamment le traitement du GNL et le chargement du transporteur.

Une carte montrant l'emplacement du champ est disponible dans la Figure 2.1.

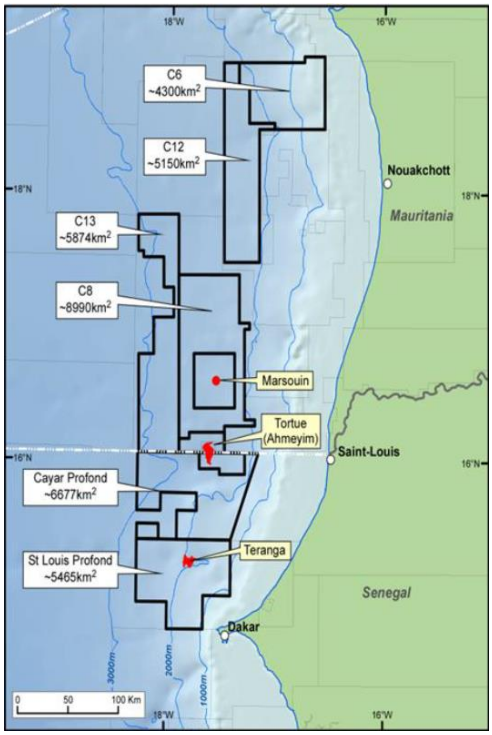
La modélisation des rejets d'eau produite a été réalisée à l'aide du Modèle d'évaluation des doses, des risques et des effets (DREAM, Dose-related Risk and Effect Assessments Model), développé par la Fondation pour la recherche scientifique et industrielle (SINTEF, Scientific and Industrial Research). Le modèle DREAM fait partie du logiciel MEMW (Marine Environmental Modelling Workbench) v8.0 de la SINTEF et constitue un outil utilisé pour prédire la trajectoire, le devenir et les conséquences environnementales des rejets réguliers et planifiés dans le milieu marin.

L'objectif de la modélisation était de :

- Simuler les débits de rejets continu prévus et les compositions des effluents sur une période de 45 jours ;
- Fournir une évaluation quantitative du risque environnemental sur le milieu marin lié aux différents scénarios de rejets ;
- Etablir la contribution relative des principaux contaminants au risque d'exposition environnementale ;
- Comprendre la sensibilité du risque aux variations de concentrations des composéshydrocarbures et des additifs chimiques nécessaires à la production presents dans le déversement d'eau produite ainsi qu'aux conditions ambiantes (vitesse de courant de fond, etc.).

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 2.1 Carte d'emplacement du champ de Tortue



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

3 Méthodologie d'évaluation du risque

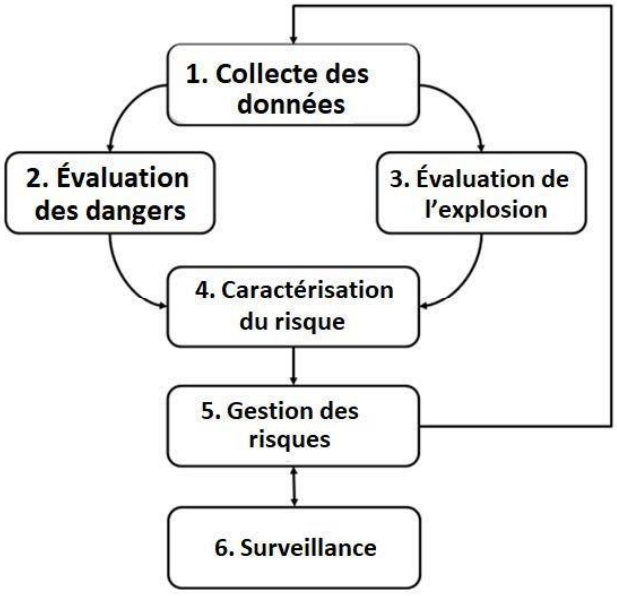
La méthodologie employée dans cette étude est conforme à la Recommandation OSPAR 2012/5 de l'Approche fondée sur le risque (RBA, Risk-Based Approach) relative à la Gestion des déversements d'eau produite dans les installations offshore [(1)] ainsi qu'aux Directives OSPAR venant en support à la Recommandation 2012/5 [(2)].

L'approche OSPAR RBA a été spécialement développée pour l'environnement offshore et est conforme aux principes de l'ERA (Environmental Risk Assessment – Evaluation de Risque Environnemental) reconnus à l'échelle internationale, déjà mis en place en Europe (ECHA -- documents du Guide technique [(3,4)]) et actuellement en cours de mise en œuvre dans la région de l'Atlantique du Nord-Est.

Le processus d'évaluation du risque OSPAR suit les étapes standards de collecte des données, d'évaluation des dangers, d'évaluation de l'exposition et de caractérisation du risque, qui sont décrites avec de plus amples détails ci-dessous. L'étape de caractérisation du risque est fondée sur le même principe largement accepté qui consiste à comparer la Concentration prévisible dans l'environnement (PEC) pour chaque composé chimique rejetté dans le milieu récepteur à la Concentration prévisible sans effet (PNEC). Lorsque la valeur PEC est supérieure au seuil PNEC, il peut y avoir un risque de dommages. Lorsque la valeur PEC est inférieure au seuil PNEC, le risque de dommages est considéré comme étant « acceptable »

La méthodologie comprend les étapes clés résumées dans la Figure 3.1.

Figure 3.1 Schéma résumant l'approche fondée sur le risque pour la gestion des déversements offshore d'eau produite, indiqués dans la Recommandation OSPAR 2012/5



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

3.1 Collecte des données

L'étape initiale consiste à recueillir toutes les informations pertinentes afin de pouvoir définir le modèle conceptuel, c'est-à-dire les caractéristiques des rejets d'eau produite, la composition des effluents d'eau produite, la caractérisation de la toxicité des effluents d'eau produite et les conditions locales du milieu récepteur, notamment les données météorologiques et océanographiques et la sélection des espèces sensibles représentatives.

Une approche fondée sur les substances (SBA, Substance Based Approach) a été employée pour évaluer la toxicité des effluents d'eau produite associée à chaque scénario de rejet. Cette approche implique une estimation de la concentration de chaque substance naturellement présente (NOS) et de chaque additif chimique de production présent dans le rejet d'eau produite, ainsi qu'une collecte des informations éco-toxicologiques et des données relatives aux propriétés physico-chimiques pour chaque contaminant présent. Les informations éco-toxicologiques sont utilisées pour estimer les valeurs PNEC pour chaque substance, comme décrit dans l'étape « Évaluation des dangers » (voir Section 3.2).

Les informations éco-toxicologiques minimales qui doivent être recueillies comprennent les données de toxicité à court terme (aiguës) pour trois niveaux trophiques : les invertébrés (p. ex., crustacés, mollusques, échinodermes), les algues (inhibition de la croissance) et les poissons. Si les données sur les substances individuelles ne sont pas disponibles, les pires valeurs de toxicité du produit sont utilisées.

Les données requises concernant les propriétés physico-chimiques de chaque substance comprennent le poids moléculaire, la densité, la solubilité, la pression de vapeur, les coefficients de partition octanol/eau (log Pow) et les taux de dégradation.

3.2 Évaluation des dangers

Dans cette étape, les concentrations de référence sans effet, c'est-à-dire les valeurs PNEC, sont dérivées des résultats de tests de toxicité en laboratoire (c.-à.-d., EC_{50}, LC_{50} ou NOEC) en utilisant les facteurs d'évaluation (AF) appropriés pour prendre en compte les incertitudes inhérentes. L'application des AF est fondée sur le « principe de précaution », qui doit permettre l'extrapolationd'une estimation conservative de la valeur PNEC.

Les valeurs PNEC sont développées pour protéger l'écosystème marin en utilisant des substituts d' espèces sensibles connues selon le principe suivant :

- La sensibilité de l'écosystème dépend des espèces les plus sensibles
- La protection de la structure de l'écosystème permet de protéger la fonction communautaire

3.2.1 Calcul des valeurs PNEC et utilisation des facteurs d'évaluation (sécurité)

Les Directives OSPAR venant en support à la Recommandation 2012/5 pour une Approche Fondée sur le Risque de la Gestion de l'Eau Produite recommande d'utiliser en continu les facteurs d'évaluation définis dans le document Guide technique ECB EC 1996 sur l'évaluation des risques environnementaux[3] (voir Tableau 3.1 et Annexe A). Ces facteurs d'évaluation ont été utilisés pour contrôler les déversements chimiques liés aux installations offshore pendant un certain nombre d'années, et les études de surveillance ont indiqué qu'elles fournissent un niveau de protection approprié à la fonction de l'écosystème.

Les Directives OSPAR indiquent que les facteurs d'évaluation définis plus récemment dans le Guide technique (TGD) ECB EC 2003 [4] et le Guide ECHA ultérieur (2008) pour l'évaluation de la sécurité

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

chimique [5] sont trop conservateurs et peuvent éventuellement surestimer la contribution des additifs chimiques de production à la toxicité de l'eau produite, ce qui peut masquer la contribution des composants naturels. Il s'agit d'une conséquence de l'introduction d'un facteur supplémentaire de 10 dans les facteurs d'évaluation dérivés du milieu marin. Lors d'un examen de la littérature scientifique soutenant le facteur supplémentaire, le Comité scientifique des risques sanitaires et environnementaux (SCHER [6]) a indiqué qu'il n'acceptait pas le facteur de sécurité supplémentaire de 10 comme valeur par défaut pour les écosystèmes marins, tel qu'il est généralement justifié. D'après le comité SCHER, l'utilisation d'approches différentes pour les écosystèmes d'eau douce et marin doit être scientifiquement justifiée au cas par cas. Par conséquent, pour respecter les recommandations OSPAR, un facteur d'évaluation maximal de 1 000 a été utilisé dans cette étude, car le guide ECHA a été développé pour les eaux côtières, et un facteur de 10 000 est considéré comme étant trop conservateur pour les eaux offshore.

Tableau 3.1 Facteurs d'évaluation pour dériver les valeurs PNEC (source : Bureau européen des substances chimiques, document Guide technique - Partie II, 1996 (3))

	Facteur d'évaluation
Au moins un L(E)C_{50} à court terme pour chacun des trois niveaux trophiques du lot de base (poissons, daphnies et algues)	1000 [a]
Un NOEC à long terme (poissons ou daphnies)	100 [b]
Deux NOEC à long terme des espèces représentant deux niveaux trophiques (poissons et/ou daphnies et/ou algues)	50 [c]
Des NOEC à long terme dérivés d'au moins trois espèces (normalement, poissons, daphnies et algues) représentant trois niveaux trophiques	10 [d]
Données de terrain ou de modèles d'écosystèmes	Révisé au cas par cas[e]

Pour les substances les plus communes dans l'eau produite, OSPAR a établi et maintenu un ensemble harmonisé de valeurs PNEC[7] (voir Annexe B). Ces valeurs PNEC sont fondées sur la priorisation suivante :

i. Les normes de qualité environnementale (EQS) dérivées de la Directive-cadre sur l'eau (WFD) établie pour les substances prioritaires

ii. Les valeurs PNEC fiables dérivées des Rapports d'évaluation des risques (RAR) de l'UE.

iii. Les valeurs PNEC ou EQS dérivées des sources publiquement disponibles.

3.3 Évaluation de l'exposition

Dans cette étape, le devenir prévisible de l'eau produite dans le milieu récepteur autour du navire est déterminé en calculant les valeurs PEC de tous les composés susceptibles d'influencer le biote dans le milieu récepteur à l'aide du modèle DREAM, qui est un modèle tridimensionnel de dilution/dispersion.

Le résultat de l'évaluation de l'exposition basée sur les substances est la concentration de chaque substance rejetée avec l'eau produite dans tout emplacement du milieu récepteur (PEC (i) pour chaque composant, i).

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

3.4 Caractérisation du risque

La caractérisation du risque est la comparaison de la valeur PEC d'une substance avec la concentration de référence sans effet (PNEC), c.-à.-d. le calcul du rapport PEC/PNEC, ou Rapport de caractérisation du risque (RCR). Lorsque la valeur PEC est inférieure au seuil PNEC, le risque de dommages attribuable à la substance concernée est considéré comme étant « acceptable ». Lorsqu'elle est supérieure, il y a un risque de dommages biologiques.

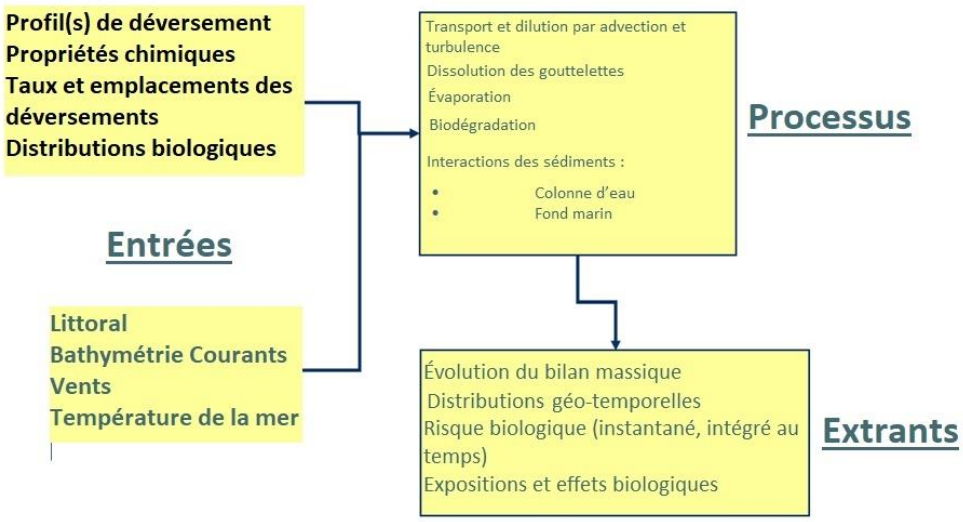
3.4.1 Approche de modélisation DREAM/EIF

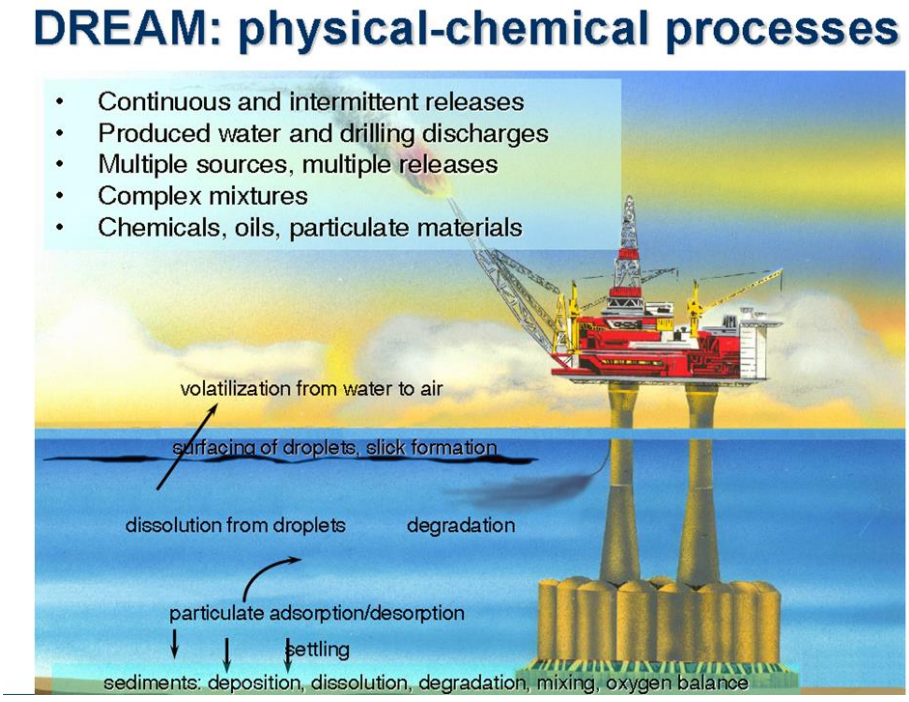
Comme mentionné ci-dessus dans la Section 3.3, l'évaluation de l'exposition pour prédire la trajectoire et le devenir de l'eau produite dans le milieu récepteur a été menée à l'aide du modèle DREAM.

DREAM est modèle tridimensionnel et lié au temps pour l'évaluation du transport, de l'exposition, des doses et des effets de produits chimiques multiples. Le modèle DREAM peut prendre en compte jusqu'à 200 composants chimiques simultanément, avec des profils de rejet différents pour 50 sources différentes ou plus (Reed et.al., 2000 [8]). Chaque composant chimique du mélange qu'est l'effluent est décrit par un ensemble de paramètres physiques, chimiques et toxicologiques. Le modèle DREAM comprend différents algorithmes pour modéliser les processus qui régissent le devenir et les effets des polluants dans la colonne d'eau, comme indiqué dans le schéma affiché dans la Figure 3.2.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 3.2 Schéma général de la structure du modèle DREAM et des processus physico-chimiques régissant le comportement des polluants.





Le modèle est entièrement tridimensionnel et variable dans le temps. Il calcule le devenir de chaque composé pris en considération dans le milieu récepteur sous l'influence des éléments suivants :

- Courants (marée, résiduel et forçage météorologique)
- Mélange par turbulence (horizontal et vertical)
- Évaporation à la surface de la mer
- Réduction de la concentration à cause de la biodégradation

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Les algorithmes utilisés dans les calculs et les tests de vérification du code résultant sont présentés dans Reed et al., 2002[9]. Le modèle a également été vérifié par rapport aux mesures sur le terrain (Neff et al., 2006[10] ; Durrell et al., 2006[11]).

Le champ de courant océanique utilisé dans la modélisation DREAM a été fondé sur le modèle de courant global (HYCOM) sur lequel les courants de marée horaires ont été surimposés ; il est décrit avec de plus amples détails dans la Section 5.2.2. Cet ensemble de données de simulation du courant a été considéré comme étant de qualité suffisante pour la modélisation initiale du rejet d'eau produite effectuée pour informer l'EISE.

a. **Risque d'exposition environnementale et facteur EIF**

Le modèle DREAM comprend une méthodologie d'évaluation des risques, la méthode du facteur d'impact environnemental (EIF) (Johnsen et al., 2000[12]). Le développement de la méthode EIF est fondé sur une approche PEC/PNEC qui donne une indication sur la probabilité d'effets indésirables induits par le niveau d'exposition prévu à une substance toxique. Le rapport PEC/PNEC est lié à la probabilité de dommages biologiques conformément à une méthode développée par Karman et al. [13] (et publiée par Karman et Reerink, 1997 [14]). Lorsque le rapport PEC/PNEC est égal à 1, il y a une probabilité de dommages potentiels pour 5 % des espèces marines dans le milieu récepteur. La Figure 3.3 montre la relation entre le rapport PEC/PNEC et la probabilité de dommages.

La méthodologie a été guidée par le principe selon lequel les zones d'incertitude doivent être résolus de façon favorable à la protection de l'environnement (c.-à.-d. que des suppositions environnementales conservatives sont invoquées). La méthodologie est donc conservative, ce qui implique une surprotection, et non une sous-protection, de l'environnement.

Par rapport aux autres méthodes d'évaluation des risques, la méthode EIF offre l'avantage de calculer les contributions de risque liées à l'exposition à des produits chimiques multiples et/ou à des composés naturels dans le milieu récepteur. Pour le risque total associé aux produits chimiques multiples et aux facteurs de stress non toxiques provenant des rejets d'eau produite, le risque total est calculé à partir de la somme des probabilités indépendantes. Pour les deux facteurs de stress A et B, le risque total est calculé en supposant une action indépendante utilisant l'équation suivante :

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(A) * P(B) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Où P(A) et P(B) représentent les probabilités du risque pour chaque facteur de stress à un temps particulier et dans un emplacement donné. Pour les risques limités (lorsque P(A) et P(B) sont tous les deux faibles), ou les risques des produits chimiques dont l'activité est similaire d'un point de vue toxicologique, les risques peuvent être considérés comme étant linéairement additifs, approximativement. La méthode ne prend pas en compte les interactions entre les produits chimiques.

Pour un grand nombre de facteurs de stress, la formule généralisée pour la somme des probabilités est donnée par l'équation :

$$P_{total} = 1.0 - \prod_i^n \quad (1.0 - Pi) \qquad \text{(Eq. 2)}$$

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Un facteur EIF représente un volume d'eau défini ou une surface de sédiments qui a le potentiel d'être nocif(ve) pour ≥ 5 % des espèces dans le milieu récepteur, si elles sont exposées aux substances nocives et/ou aux facteurs de stress non toxiques présents dans le rejet.

Pour la colonne d'eau, une unité EIF est définie comme un volume d'eau de 100 m x 100 m x 10 m (c.-à.-d., 10^5 m^3, voir Figure 3.4). Le risque total résultant de tous les contaminants présents dans un rejet est calculé par le modèle DREAM dans un espace et un temps tridimensionnel dans le domaine du modèle en additionnant les risques (à chaque point dans un espace et un temps donnés) pour chaque contaminant, en utilisant l'Équation 3 pour convertir d'abord les valeurs PEC/PNEC en probabilités de risques, comme illustré dans la Figure 3.3 :

$$Risk\ (\%) = \int_{y=0}^{\ln(PEC:PNEC)} \left\{ \frac{1}{S_m * \sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-(\ln PEC:PNECy - x_m)^2}{2 * S_m{}^2}} \right\} \qquad \text{(Eq. 3)}$$

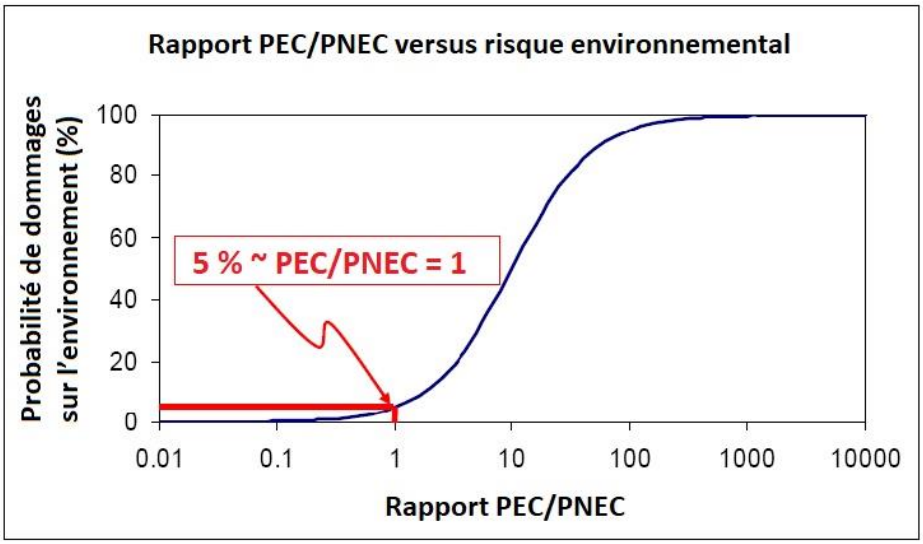
Où :

Risque (%) = probabilité qu'une espèce sera affectée

x_m = moyenne de distribution pour la valeur PEC : Rapport PNEC = 1 ; risque = 5 %

S_m = déviation standard des données logarithmiquement transformées

Figure 3.3 La relation entre le niveau PEC/PNEC et le niveau de risque (en %) pour les dommages sur le biote. Selon Karmann et al.[13]. Un PEC/PNEC = 1 correspond à un niveau de risque pour lequel il existe une possibilité de dommage de 5 % des espèces sélectionnées de façon aléatoire.

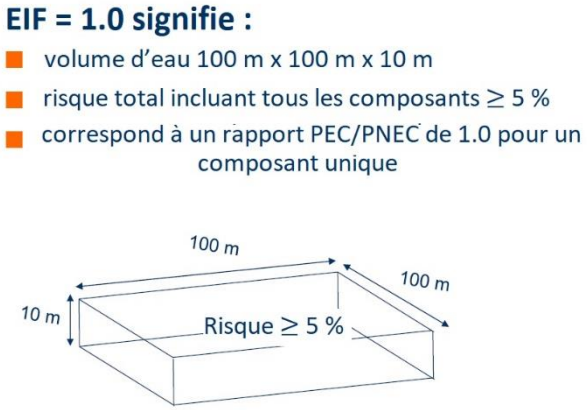


Les champs de risque tridimensionnel obtenus peuvent alors êtvisualisés sous forme de carte des risques chronologique (en pourcentage).

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Veuillez noter que bien que le facteur EIF d'un composant unique ou d'un groupe de composants soit lié au volume d'eau recepteur pour lequel le rapport PEC/PNEC dépasse l'unité, dans un système à composants multiples, les rapports PEC/PNEC pour chaque composant/facteur de stress individuel dans le déversement peuvent être <1, mais si les rapports de risque agrégés de tous les facteurs de stress dépassent 1 (probabilité de risque de 5 %), le facteur EIF résultant est > 0.

Figure 3.4 Définition du facteur d'impact environnemental (EIF) dans la colonne d'eau



L'approche EIF présente l'avantage de fournir une mesure quantitative des risques environnementaux lors des déversements opérationnels (p. ex., eau produite, boues et déblais de forage, etc.) dans la mer. Elle peut donc fournir une base pour réduire le risque d'exposition de façon systématique et quantitative.

Lorsque la caractérisation du risque est fondée sur une approche SBA, la méthode EIF permet de distinguer les différents facteurs contribuant au risque environnemental. Cette capacité fournit des informations utiles lors de la comparaison des méthodologies alternatives proposées pour réduire les risques environnementaux associés à un déversement. Il est donc possible d'isoler les constituants d'un produit chimique et de calculer la contribution EIF de chaque substance présente dans le produit. Les résultats du calcul peuvent alors être utilisés pour améliorer le produit en remplaçant les constituants qui contribuent le plus au facteur EIF.

3.4.2 Avantages et limites des approches fondées sur le risque

Il est important de noter que la méthodologie EIF repose sur le « principe de précaution » et sur des hypothèses conservatives pour le traitement des domaines d'incertitude, et ce afin de protéger 95 % des espèces présentes dans le milieu récepteur. Elle reflète un niveau de risque d'exposition environnementale et s'avère être un outil très utile de soutien aux décisions en matière de gestion environnementale afin d'évaluer et de comparer les avantages relatifs de différentes options de réduction et d'atténuation des risques, ce qui permet de définir les mesures supplémentaires justifiées.

L'approche SBA permet d'identifier les composés les plus nocifs potentiellement présents, ce qui facilite l'évaluation et la mise en œuvre des mesures d'atténuation lors du processus de conception et de planification. Il est donc possible d'isoler les constituants d'un produit chimique et de calculer la contribution EIF de chacun d'entre eux.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Les résultats des calculs peuvent ensuite être utilisés pour améliorer le produit en remplaçant les constituants présents dans le produit ayant les contributions les plus importantes au facteur EIF. Cette capacité fournit également des informations utiles lors de la comparaison de méthodologies alternatives proposées pour réduire les risques environnementaux associés à un rejet.

L'une des limites de l'approche SBA est qu'elle ne prend pas en compte les réactions chimiques et la formation de produits dérivés que peuvent subir les additifs chimiques nécessaires à production après le dosage, ni les effets synergiques/antagonistes susceptibles d'affecter la toxicité. Cette approche considère que chaque composant dans le déversement est une entité individuelle qui n'interagit pas avec les autres composants. De plus, les additifs chimiques de production sont des mélanges complexes et certains composants du produit chimique peuvent avoir une solubilité différente dans l'huile et l'eau, ce qui fait que de grandes parties du produit chimique modélisé peuvent au final ne pas se retrouver dans le flux d'eau produite (PW). Cela peut à son tour entraîner une surestimation de la concentration et du risque associés à ces composants.

Les données météo-océaniques utilisées dans la modélisation ont été choisies pour inclure les conditions donnant lieu à la dispersion minimale des substances des déversements et sont à ce titre conservatrices et non représentatives de l'année entière lorsque les conditions de dispersion et de mélange sont améliorées.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

4 Scénarios de déversements d'eau produite

Les scénarios de déversements d'eau produite modélisés dans cette étude sont présentés dans le Tableau 4.1.

Huit scénarios de déversement d'eau produite ont été modélisés pour examiner la sensibilité du risque écologique aux concentrations de benzène, d'éthylbenzène de toluène et de xylène (BTEX) dans les effluents (Cas de base et Cas de BTEX « élevé »), à la fois avec et sans additifs chimiques de production dans le rejet d'eau produite. L'objectif de cette approche consiste à identifier les variations du risque total après l'inclusion de d'additifs chimiques, car les options de gestion des NOS et des additifs chimiques seront normalement très différentes.

Tableau 4.1 Scénarios de déversements d'eau produite dans la FPSO de Tortue

Scénario	Concentration des composants BTEX dans le déversement d'eau produite	Courant/conditions météo-océaniques ambiantes	Taux de déversement d'eau produite		Durée de déversement (jours)	Type de profil d'eau produite	Diamètre de caisson (m)	Profondeur de déversement sous la surface de la mer (m)	Température du déversement (degrés C)	Salinité du déversement (ppt)
			(bpj)	(m3/jour)						
1	Cas de base	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	1.000	0	40	0
2	Cas de base	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	1.000	0	40	0
3	Cas élevé	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	1.000	0	40	0
4	Cas élevé	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	1.000	0	40	0
5	Cas de base	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + additifs chimiques	1.000	0	40	0
6	Cas de base	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + additifs chimiques	1.000	0	40	0
7	Cas élevé	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + additifs chimiques	1.000	0	40	0
8	Cas élevé	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + additifs chimiques	1.000	0	40	0

La toxicité de l'eau produite et le risque calculé d'exposition environnementale dépendent fortement des conditions météo-océaniques considérées dans la modélisation. Les conditions de courant faible (bénin) peuvent augmenter le risque d'exposition environnementale, car l'eau produite n'est pas diluée et dispersée pour atteindre les niveaux PNEC. En revanche, dans les périodes de courants forts (énergiques), la dispersion et la dilution de l'eau produite peuvent se produire plus rapidement, ce qui réduit le risque environnemental. Par conséquent, la modélisation a été effectuée dans une plage de conditions de courant ambiant (les vitesses de courant les plus basses et les plus élevées) sélectionnées dans un ensemble de données hydrodynamiques de simulation 3D sur une période de 3 ans (2009 - 2011) afin d'évaluer la sensibilité du risque d'exposition aux conditions météo-océaniques prévalentes dans les environs de l'emplacement des rejets.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

5 Données d'entrées de l'évaluation du risque

Cette section décrit les données d'entrées du modèle utilisées pour caractériser les scénarios de rejet d'eau produite.

5.1 Paramètres du point de rejet

Les coordonnées géographiques du site de rejet du FPSO de Tortue et les autres hypothèses relatives au point de rejet sont résumées dans le Tableau 5.1. Il est supposé que l'eau produite sera déversée par-dessus bord à la surface de la mer par un tuyau de sortie de 1 m de diamètre.

Tableau 5.1 Paramètres du déversoir

Champ :	**FPSO de Tortue**
Emplacement du site de déversement :	
Latitude géographique - deg.	16
min	4
sec	0,072
Nord / Sud	Nord
Longitude géographique - deg.	16
min	53
sec	9,226
Est / Ouest	Ouest
Profondeur de l'eau :	
pi	394
m	120
Profondeur du tuyau de sortie au point de rejet :	Sous la surface de la mer
pi	0
m	0
Diamètre du tuyau de sortie au point de rejet :	
m	1,000
ins	39,370
Angle à partir du nord (0 = nord, 180 = sud, etc.) deg	0
Angle à partir de la verticale (0=en haut, 180 = vers le bas etc.) deg	180
Température du rejet à la sortie du tuyau deg C	40.0
Salinité du rejet à la sortie du tuyau ppt	0.0

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

5.2 Conditions ambiantes

5.2.1 Bathymétrie

La base de données relative à la profondeur de l'océan incluse avec le système MEMW utilise plusieurs sources de données de profondeur internes pour construire des grilles de profondeur. (Sea Topo 8.0 [15], IBCAO [16])

5.2.2 Données hydrodynamiques et sur le vent

Les données de simulation météo-océanique utilisées pour intégrer le transport des contaminants dans le modèle DREAM ont été fournies par le modèle HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model). Les courants HYCOM quotidiens ont été combinés aux vitesses de courants de marée afin de générer les vecteurs de courants horaires à 31 niveaux de profondeur allant de 0 à 5 500 m, avec une résolution spatiale de 1/12 degré (à 9 km x 9 km) dans toute la zone concernée, sur une période de 3 ans (1er janvier 2009 - 31 décembre 2011). Les informations sur les courants de marée fournies par BMT Argoss ont été obtenues par l'intégration d'environ 5 000 stations marégraphiques et de 15 ans d'altimétrie radar par satellite dans des modèles de marées mondiales et régionales par rapport à la profondeur de l'eau (modèle 2DH). Le modèle de marée fournit les courants de marée (composants u, v) ainsi que l'élévation de la surface. La structure verticale de la composante du courant de marée a été établie à l'aide d'un profil logarithmique qui fournit une représentation fiable des courants de marée à différentes profondeurs.

L'ensemble de données 3D générées sur les courants couvre la région située entre les latitudes nord 10° - 20° et les longitudes ouest 14,3° - 20°.

Pour compléter les données tridimensionnelles sur les courants, l'ensemble de données CFSR (NCEP Climate System Forecast Reanalysis) a été interpolé pour fournir un ensemble de données sur le vent couvrant la même région, la même grille spatiale et résolution temporelle que l'ensemble de données sur les courants (voir Tableau 5.2).

Les données sur le vent sont utilisées dans le modèle DREAM pour générer les informations sur la hauteur des vagues et leur période en utilisant des calculs de récupération, lesquelles données sont ensuite utilisées pour calculer le mélange par turbulence à la surface de la mer.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Tableau 5.2 Données HYCOM / NCEP sur les courants et les vents

Données hydrodynamiques	**HYCOM**
Années	2009 - 2011
Résolution horizontale	1/12 deg (@ 9 km x 9 km)
Profondeur	Les ensembles de données 3D se composent de 31 couches de profondeur, depuis la surface jusqu'au fond de la mer (0 à 5 500 m) et réparties au sein de la colonne d'eau.
Fréquence de sortie	Interpolé quotidiennement à 1 toutes les heures
Marées	Les informations sur les courants de marée sont obtenues à partir de l'intégration d'environ 5 000 stations marégraphiques et de 15 ans d'altimétrie radar par satellite dans des modèles de marées mondiales et régionales (modèle 2DH). Le modèle de marée fournit les courants de marée (composants u, v) ainsi que l'élévation de la surface. La structure verticale de la composante du courant de marée a été établie à l'aide d'un profil logarithmique qui fournit une représentation fiable des courants de marée à différentes profondeurs.
Domaine	10°N- 20°N, 14.3°O-20°O
Données sur la vitesse du vent	**NCEP**
Années	2009 - 2011
Résolution horizontale	0.5 deg x 0.5 deg (@ 22 km x 22 km)
Hauteur	10 m au-dessus de la surface de la mer
Fréquence de sortie	1 toutes les heures
Domaine	10°N-40°N, 5°O-30°O

5.2.2.1 Courants prévus à l'emplacement du rejet du FPSO de Tortue

La Figure 5.1 présente Les prédictions des séries temporelles du modèle ROMS concernant les vitesses moyennes journalières du courant à la surface de la mer et à des profondeurs d'eau BSL de -25 m au niveau de l'emplacement proposé du rejet d'eau produite du FPSO de Tortue..

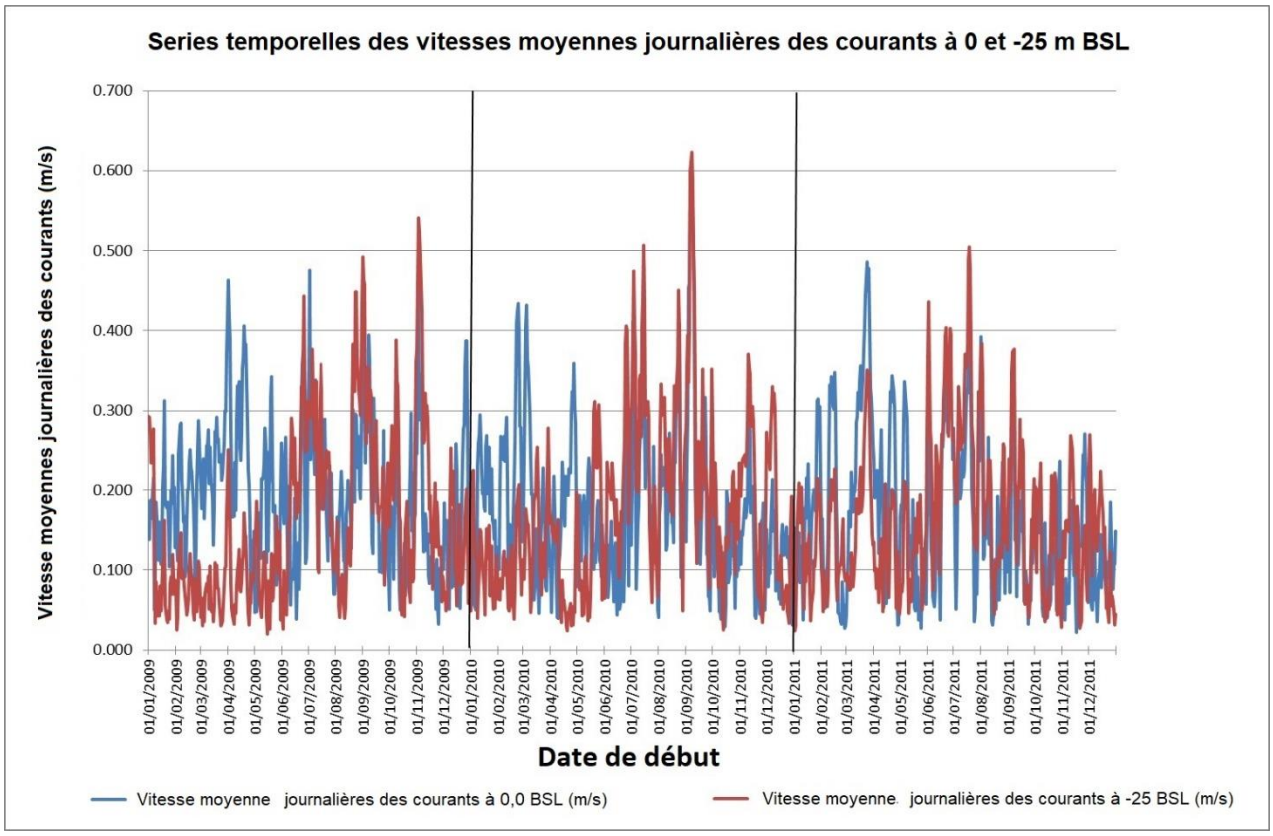
Les courants aident à la dispersion thermique et physique d'un effluent dans la colonne d'eau par advection et mélange. Par conséquent, la toxicité de l'eau produite et le risque calculé d'exposition environnementale dépendent fortement des conditions météo-océaniques considérées dans la modélisation. Les périodes de courant faible (bénin) peuvent augmenter le risque d'exposition environnementale, car l'eau produite n'est pas diluée et dispersée à des niveaux de concentrations de contaminants inférieures aux PNEC, tandis que pendant les périodes de courant fort (énergique), la dispersion et la dilution de l'eau produite peuvent reduire plus rapidement les concentrations à des niveaux inférieurs aux PNEC, ce qui permet de réduire le risque environnemental.

Par conséquent, l'ensemble des données de simulation sur les courants HYCOM sur 3 ans a été analysé pour trouver les conditions météo-océaniques les plus bénignes (risque le plus élevé) et les plus énergiques (risque le plus bas) à l'emplacement de déversement d'eau produite en moyenne sur une période de 45 jours et les dates de début associées à ces périodes. Le choix d'une période de

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

simulation de 45 jours a pour but de permettre au panache de rejet continu d'atteindre un état relativement stable dans la colonne d'eau. La plupart des résultats présentés dans le rapport concernent les conditions les plus bénignes, car il est prudent d'évaluer le risque d'exposition de façon conservative.Ces conditions représentent un degré de dispersion minimal, qui peut être atteint dans des conditions relativement calmes avec des vitesses de courant lentes. Cependant, la modélisation a été également effectuée dans les conditions de courant ambiant les plus élevées afin d'évaluer la sensibilité du risque d'exposition aux conditions météo-océaniques prévalentes autour de l'emplacement des rejets.

Figure 5.1 Series temporelles des vitesses moyenne journalière des courant du modèle HYCOM à des profondeurs de 0 m BSL et -25 m BSL au point de rejet d'eau produite du FPSO de Tortue entre le 1er janvier 2009 et le 31 décembre 2011.



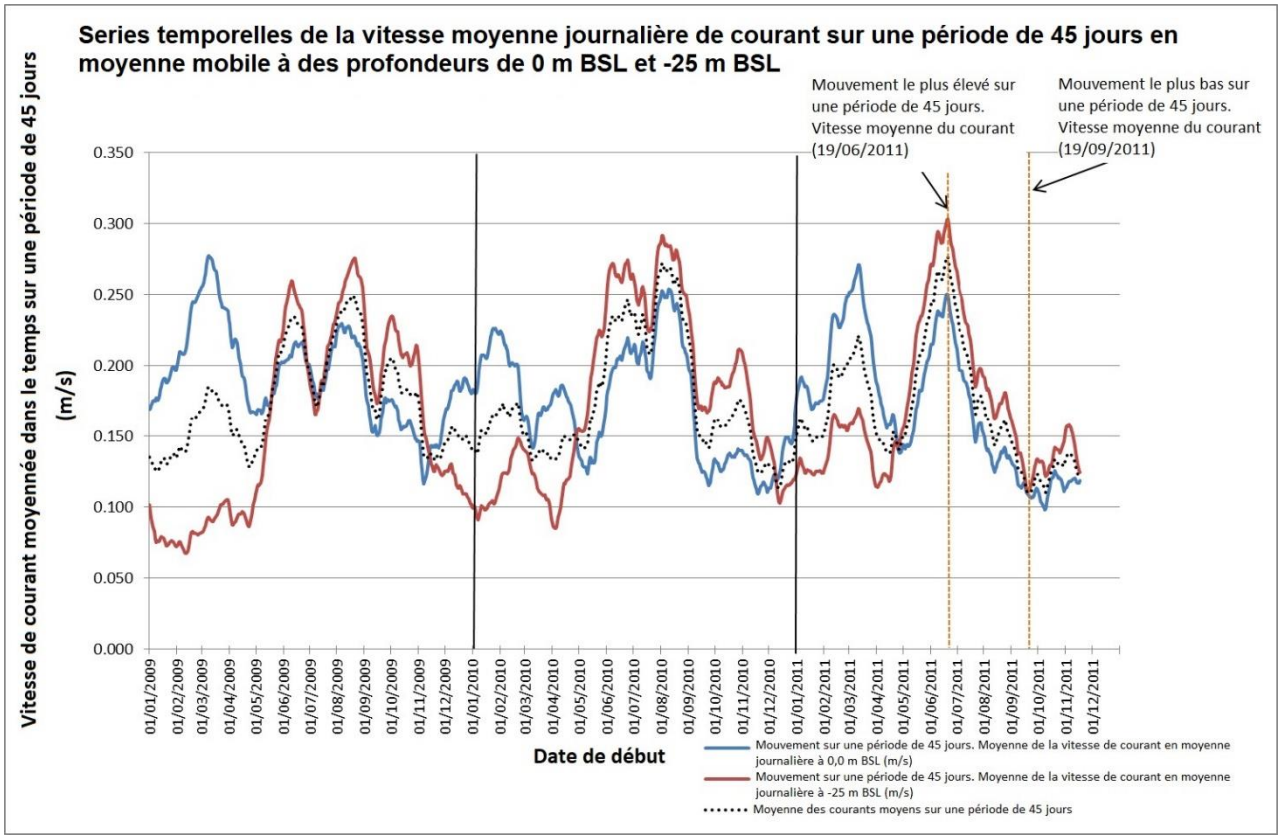
Ces dates de début et les conditions de courant associées utilisées dans la modélisation sont décrites ci-dessous dans la Tableau 5.3. La Figure 5.2 affiche les series temporelles des vitesses moyennes journalieres des courants à 0 m BSL et -50 m BSL au point de rejet d'eau produite du FPSO de Tortue pour une période de 45 jours en moyenne mobile . Il convient de noter que les périodes de courant le plus fort et de courant le plus faible ont été dérivées sur la base de la moyenne mobile sur une période de 45 jours de la moyenne journaliere des courants à 0 m BSL et -25 m BSL.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Tableau 5.3 Date de début et conditions de courant pour les périodes de courants minimum (dispersion minimale) et maximum (dispersion maximale) en moyenne journalière sur une période de 45 jours au point de rejet d'eau produite du FPSO de Tortue.

Date de début	Conditions météo-océaniques	Vitesse de courant journalière moyennée dans le temps sur une période de 45 jours à : 0 m BSL (surface) (m/s)	Vitesse de courant journalière moyennée dans le temps sur une période de 45 jours à -25 m BSL (m/s)
19/09/2011	Vitesses de courant les plus basses	0.109	0.111
19/06/2011	Vitesses de courant les plus élevées	0.251	0.303

Figure 5.2 Séries temporelles de la vitesse moyenne journalière de courant sur une période de 45 jours en moyenne mobile à des profondeurs de 0 m BSL et -25 m BSL au point de rejet d'eau produite du FPSO de Tortue entre le 1er janvier 2009 et le 31 décembre 2011.



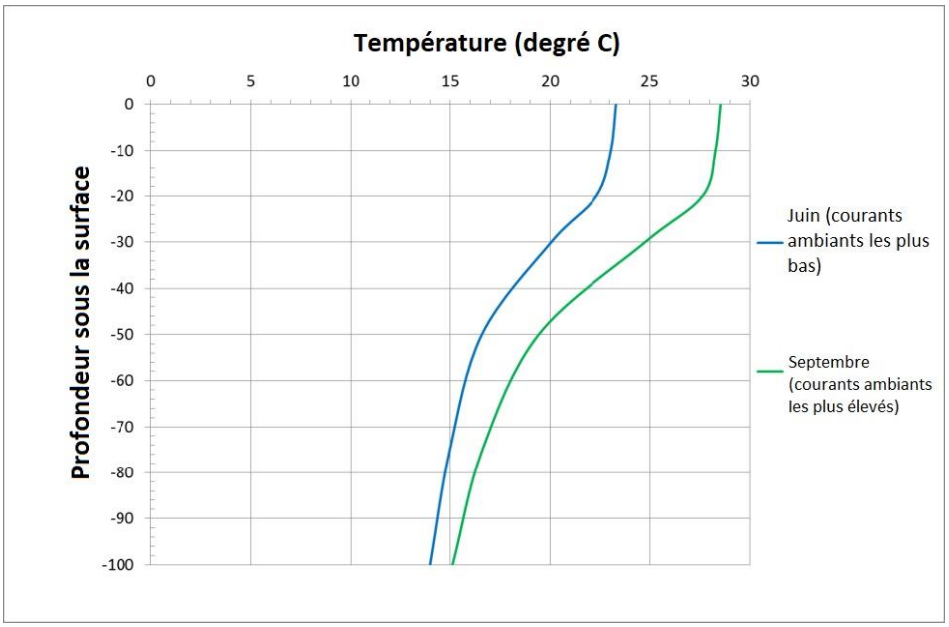
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

5.2.2.2 Données de température et de salinité

Les données de température et de salinité sont utilisées dans le modèle DREAM pour calculer la flottabilité et la trajectoire du panache de l'effluent.

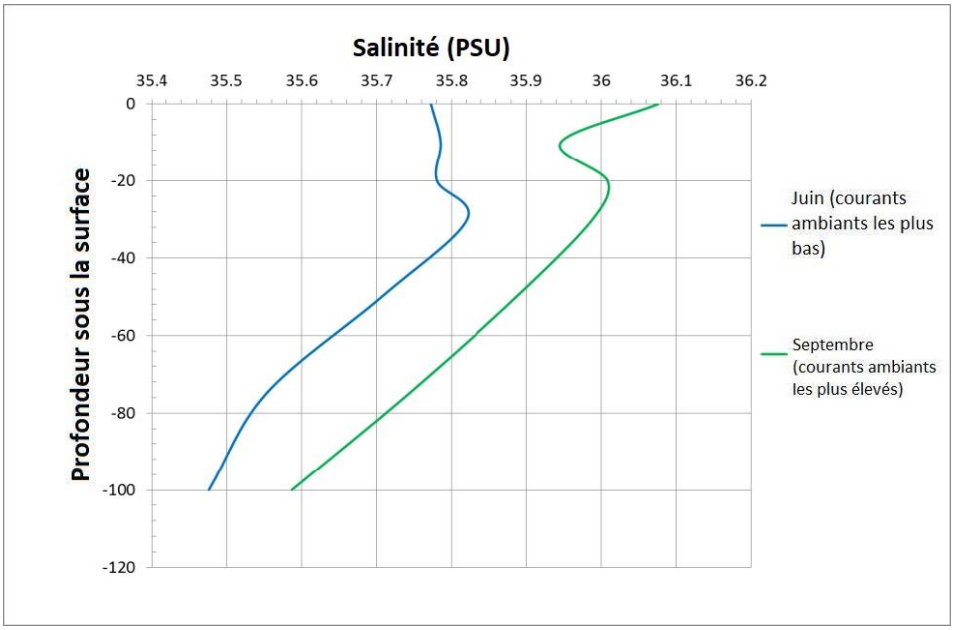
La température et la salinité mensuelles moyennes par rapport aux profils de profondeur de la zone du FPSO de Tortue ont été extraites du serveur NVODS (National Virtual Ocean Data System) en utilisant les ensembles de données sur les ressources mensuelles du World Ocean Atlas 2005 1x1 degré[17] (voir Figures 6.3 - 6.4).

Figure 5.4 Températures mensuelles moyennes de l'eau de mer par rapport au profil de profondeur pour l'emplacement du FPSO de Tortue, extraites des ensembles de données sur les ressources mensuelles du World Ocean Atlas 2005 1x1 degré



© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 5.5 Salinité mensuelle moyennes de l'eau de mer par rapport au profil de profondeur pour l'emplacement de déversement d'eau produite au FPSO de Tortue, extraite des ensembles de données sur les ressources mensuelles du World Ocean Atlas 2005 1x1 degré



5.3 Propriétés de l'eau produite -- Contaminants potentiellement préoccupants (COP)

Les simulateurs de processus chimique ProMax et HYSIS ont été utilisés pour simuler la performance des équipements de traitement des liquides du FPSO de Tortue en utilisant les données de flux d'arrivée à la surface. La régénération du monoéthylène glycol (MEG) a été modélisée conformément à l'exigence de régénération du MEG à une spécification 90:10. Les retours de liquide « flash-gas » et les systèmes de compression du gaz n'ont pas été considérés, car ils ont un impact limité sur la spécification de l'eau produite. Le flux global de rejet d'eau produite a été simulé à 625 barils/jour, avec une separation des hydrocarbures libres effectuée à l'aide d'un hydrocyclone / système de flottation induite au gaz, sans traitement tertiaire supplémentaire pour réduire les composants hydrocarbures dissous.

5.3.1 Composés naturellement présents

Il a été supposé que les groupes de substances suivants sont présents dans le déversement d'eau produite :

- Hydrocarbures aromatiques (BTEX).
- Hydrocarbures dispersés
- Phénols
- Mercure

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Le Tableau 5.4 présente la concentration estimée de ces composants dans le déversement d'eau produite pour les scénarios Cas de base et Cas BTEX « élevé ». Il a été supposé que la concentration d'hydrocarbures dispersés dans le rejet d'eau produite après la séparation sera conforme à la valeur guide de rejet pour l'eau produite de l'International Finance Corporation (World Bank Group) de 29 mg/l [(18)]. Le Tableau montre également les valeurs PNEC recommandées correspondantes de chaque composant naturellement présent, telles qu'établies par OSPAR[(7)], qui ont été utilisées pour l'évaluation du danger.

Tableau 5.4 Liste des substances naturellement présentes prévues dans le déversement d'eau produite au FPSO de Tortue

Composant	Concentration dans l'eau produite (Cas de base) (mg/l)	Concentration dans l'eau produite (Cas BTEX élevé) (mg/l)	PNEC (µg/L) - OSPAR	Groupe de composants
Benzène	**637**	**973**	8.00	**BTEX**
Toluène	**56**	**25**	7.40	
Éthylbenzène	**3**	**3**	10.00	
Xylène	**3**	**2**	8 (PNEC Benzène)	
Hydrocarbures dispersés	**29.00**	**29.00**	70.5	**Hydrocarbures dispersés**
Mercure	**0.32**	**0.32**	0.047+Cb2	**Métaux**
Phénol (représentant les alkylphénols C0-C3)	**20**	**20**	7.7	**Phénols C0-C3**

5.3.2 Additifs chimiques

Le Tableau 6.5 présente la concentration estimée, les propriétés environnementales et les valeurs PNEC des additifs chimiques nécessaires à la production prévus dans l'effluent d'eau produite .

Bien que le fournisseur d'additifs chimiques soit sélectionné à un stade ultérieur de la phase de construction du projet, les produits chimiques utilisés dans les simulations sont des représentants typiques du rôle fonctionnel de chaque additif (inhibiteur de corrosion, agent antitartre, etc.).

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Tableau 5.5 Liste des additifs chimiques et de leurs concentrations estimées dans le déversement d'eau produite au FPSO de Tortue

Désémulsifiants										
Nom du produit	Pourcentage de composants chimiques dans le produit (%)	Fonction	Concentration du produit (mg/l)	Pas de FW -- Pas de MPPE Concentration supposée dans le rejet d'eau produite (mg/l)	Densité relative	Solubilité (mg/l))	Bioaccumulation (Log P_{ow})	Biodégradation. % 28 jours	Données d'écotoxicité	
									Plus mauvais resultat du Test de toxicité aquatique (mg/l)	PNEC (ppj)
Cortron RN-629	7.01	**Inhibiteurs de corrosion**	200	14.02	0.92	Complète	N/A	62% (28 jours)	1.02	1.02
EC6157A	36.2	**Agent antitartre**	20	7.24	1	Complète	-0.1	41% (21 jours)	1000	1000
EC6029A	100	**Coagulant floculant**	10	10	1.16	Complète	N/A	80% (28 jours)	1.3825	1.3825

1-Agent antitartre : suppose que 100 % du produit chimique injecté se retrouvent dans l'eau produite.

2-Inhibiteur de corrosion : suppose que 18 %du produit chimique injecté se retrouvent dans l'eau produite et un taux d'injection de 32 l/h. La partition de l'inhibiteur de corrosion est supposée 10:1 eau:condensat. Aucune autorisation n'est accordée à la persistance Cl dans MEG pendant la régénération

3- polyacrylamides ou co-polymère d'ammonium quartenaire –t supposé 100 % dans l'eau produite

© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

5.3.3 Paramètres et hypothèses du modèle

Les paramètres de configuration du modèle utilisés dans la modélisation sont résumés dans le Tableau 5.6. Les résolutions spatiales des cellules de la grille étaient comprises entre 20 m x 20 m et 50 m x 50 m à l'horizontale et 10 m à la verticale, selon les exigences requises pour realiser une cartographie exacte du champ de dilution

Tableau 5.6 Paramètres de configuration du modèle utilisés dans les simulations DREAM

Paramètres de configuration du modèle		
Nombre de particules	Particules liquides / solides	5,000
	Particules dissoutes	5,000
La résolution spatiale de la grille d'habitat	Résolution dans la direction x (longitude)	20 ou 50 m
	Résolution dans la direction y (latitude)	20 ou 50 m
La résolution spatiale de la grille de concentration à l'horizontale et à la verticale	Résolution dans la direction x (longitude)	20 ou 50 m
	Résolution dans la direction y (latitude)	20 ou50 m
	Résolution dans la direction z (profondeur)	5 m
La résolution spatiale de la grille de surface	Résolution dans la direction x (longitude)	20 ou 50 m
	Résolution dans la direction y (latitude)	20 ou 50 m
Profondeur de la grille de concentration	Min:	0 m
	Max	50 m
Limite de concentration inférieure :		0.01 ppb
Pas de temps du calcul et pas de temps du résultat	Pas de temps	5 min
	Intervalle de résultat	12 h
Période de simulation :		45 jours

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

6 Résultats d'évaluation du risque

Cette section résume les principales conclusions des étapes « évaluation de l'exposition » et « caractérisation du risque » de l'approche RBA effectuée en utilisant le modèle DREAM. Les ensembles complets des résultats de la modélisation sont présentés dans l'Annexe C.

6.1 Évaluation des substances naturellement présentes uniquement

Le Tableau 6.1 résume les résultats EIF maximum et moyens pour les scénarios de rejet d'eau produite 1 à 4 (ce qui exclut les additifs chimiques, voir Section 4 - Tableau 4.1). Les résultats EIF donnent donc une indication de la contribution des NOS à la toxicité globale et au risque écologique associé aux déversements d'eau produite du FPSO de Tortue.

Les facteurs EIF calculés pour les 4 scénarios étaient très faibles, allant de 1,21 à 2,12 pour les valeurs EIF maximales et de 0,62 à 1,03 pour les valeurs EIF moyennes, ce qui indique que la contribution des NOS à la toxicité de l'eau produite est négligeable. Le risque d'exposition maximum le plus élevé moyenné dans le temps et les valeurs EIF moyennes étaient de 64 % et 1,03 respectivement (Scénario 3). Ils etaients associés au scenario concentration BTEX élevée / vitesse de courant ambiant la plus basse. Un facteur EIF moyen de 1,03 équivaut à un volume d'eau maximal qui présente un risque d'exposition $\geq$ 5 % de 1,03 x 10^{-4} km^3.

Les scénarios de cas BTEX élevé (Scénarios 3 et 4) ont donné des valeurs EIF maximales et moyennes supérieures de 51 % à 66 % à celles des scénarios de cas de base BTEX correspondants (Scénarios 1 et 2).

Dans les conditions de courant ambiant élevé (Scénarios 2 et 4), le panache d'eau produite a été transporté loin du point de rejet avant que le risque ne soit réduit à <5 %, ce qui a augmenté l'étendue spatiale maximale de l'empreinte du risque d'exposition au cours de la simulation de 45 jours. Cela représente une augmentation de 66 % (Scénario 2) et 42 % (Scénario 4) de la distance par rapport aux scénarios de courant ambiants faible respectifs (Scénarios 1 et 3).

La Figure 6.1 montre des cartes instantanées du risque d'exposition environnementale maximale $\geq$5 % dans l'eau à n'importe quel emplacement et aumoment du facteur EIF maximal pour le cas de base NOS dans les conditions de vitesse du courant ambiant basse et élevée (Scénarios 1 et 2). Les résultats ont montré que les distances maximales depuis le point de rejet pour lesquelles le risque d'exposition est $\geq$5 % au moment du facteur EIF maximal sont de 0,81 km et 2,46 km pour les cas de courant ambiant faible et fort, respectivement.

Si tous les pas de temps sont pris en considération, la Figure 6.2 montre le risque d'exposition environnementale maximum prévu pour n'importe quel emplacement dans la colonne d'eau sur la période de simulation de 45 jours pour les Scénarios 1 et 2. Les distances maximales depuis le site de rejet pour lesquelles le risque d'exposition maximal est $\geq$ 5 % sont de 1,93 km et 3,20 km pour les cas de courant ambiant faible et fort, respectivement. Ces cartes montrent également une section transversale verticale du risque dans la colonne d'eau le long du vecteur A-B.

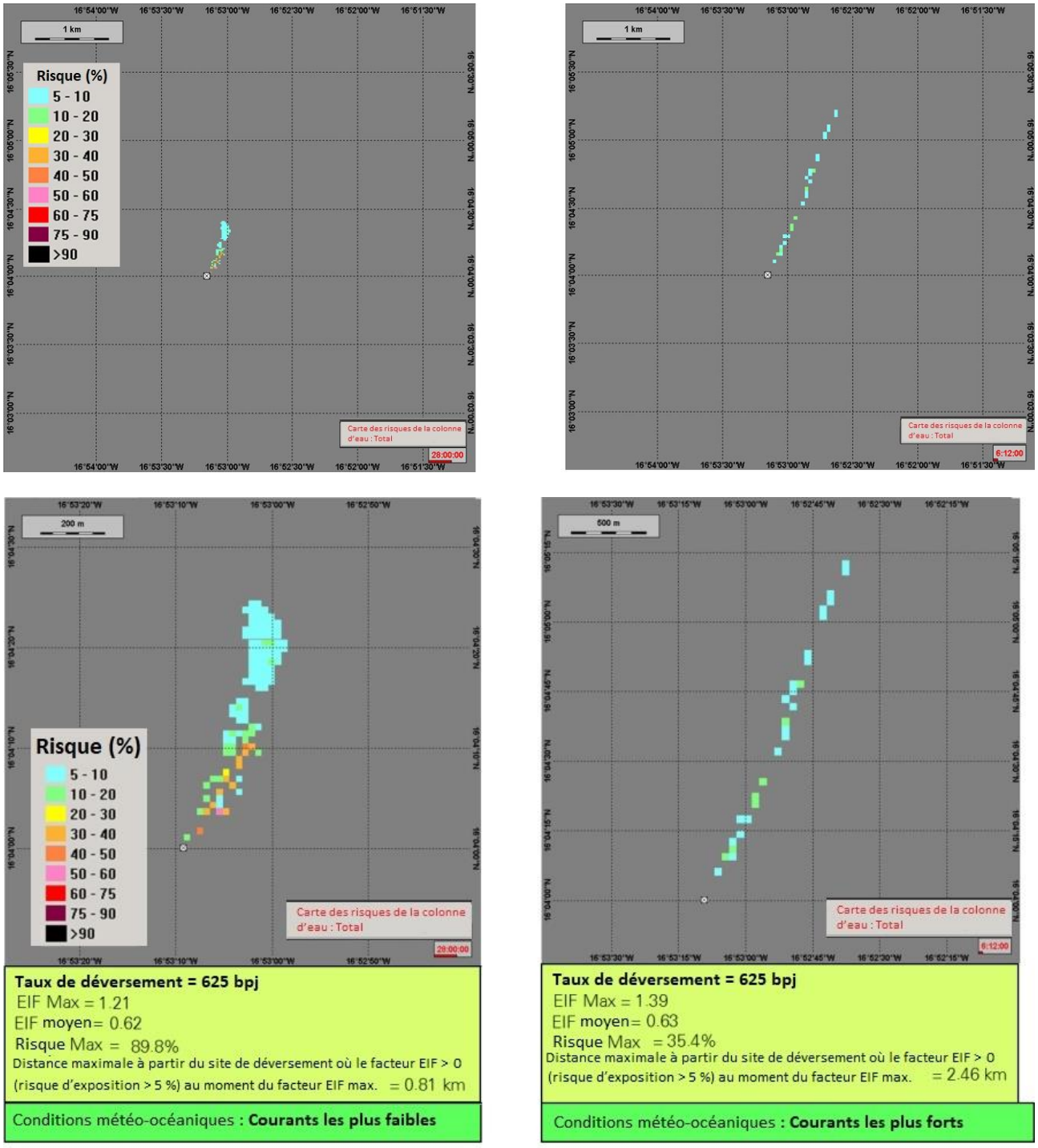
La variation dans le facteur EIF et le risque maximum dans la colonne d'eau au cours de la période de simulation pour le cas de base NOS d'eau produite sont presentés dans la Figure 6.3. L'augmentation de la dispersion dans les conditions de courant ambiant élevé a réduit le risque d'exposition maximal moyenné dans le temps calculé de 75 % par rapport au scénario de faible courant ambiant.

La Figure 6.4 montre la contribution de chaque contaminant NOS de l'eau produite au facteur EIF pour le Scénario 1 (cas de base NOS, faibles courants ambiants). Le diagramme circulaire montre que 96 % du risque EIF dans la colonne d'eau est attribuable au benzène (75 %), au mercure (15 %) et au

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

toluène (6 %). Des résultats similaires ont été obtenus dans les conditions de courant ambiant élevé (Scénario 2). Cependant, pour les scénarios de cas BTEX « élevés » (Scénarios 3 et 4), la contribution relative du benzène a augmenté à 85 %, tandis que les contributions du mercure et du toluène ont diminué à 10 % et 2 %, respectivement.

Figure 6.1 Cartes instantanées affichant le risque d'exposition environnementale maximum ≥5 % dans l'eau à n'importe quel emplacement et au moment du facteur EIF maximal pour le cas de base NOS dans les conditions de vitesse du courant ambiant basse et élevée (Scénarios 1 et 2). Haut - cartes à la même échelle, bas - cartes agrandies).



© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Tableau 6.1 Résumé du risque d'exposition environnementale calculé provenant des NOS dans les scénarios de rejet d'eau produite du FPSO de Tortue.

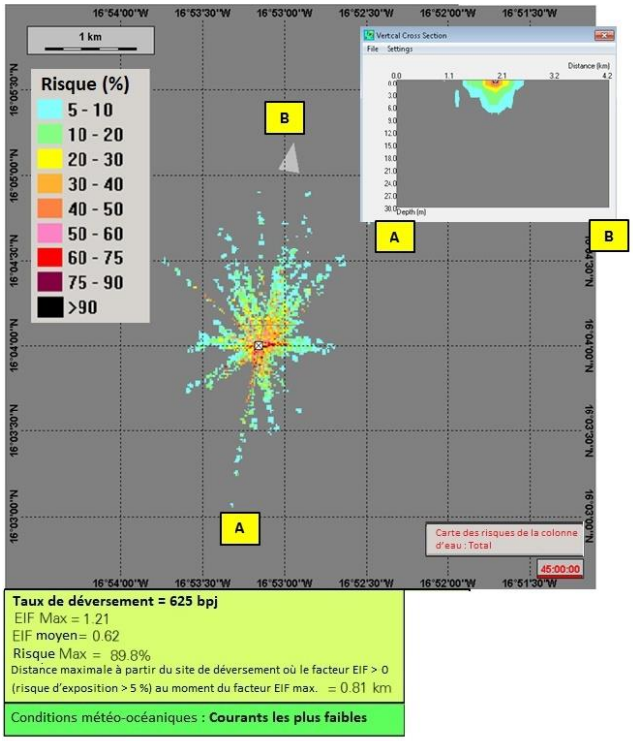
Scénario	Concentration des composants BTEX dans le déversement d'eau produite	Courant/conditions météo-océaniques ambiantes	Taux de déversement d'eau produite		Durée de déversement (jours)	Type de profil d'eau produite	EIF de la colonne d'eau									
			(bpj)	(m3/jour)			Risque d'exposition maximal dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	Risque d'exposition maximal moyenné dans le temps dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	Risque d'exposition maximal le plus bas dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	EIF instantané maximumWC sur la durée de la simulation.	Volume d'eau maximal dont le risque d'exposition dépasse 5 % (EIFWC>0) sur la durée de la simulation (km3).	Temps passé depuis le début du déversement au moment du facteur EIFWC (jours)	Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) au moment du facteur EIFwc instantané maximal (km).	EIFWC moyen sur la durée de la simulation.	Volume d'eau moyen dont le risque d'exposition dépasse 5 % (EIFWC>0) sur la durée de la simulation (km3).	Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) sur la période de simulation de 45 jours (km).
1	Cas de base	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	89.8%	48.8%	20.6%	1.21	0.000121	28.0	0.81	0.62	0.000062	1.93
2	Cas de base	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	35.4%	12.1%	4.7%	1.39	0.000139	6.5	2.46	0.63	0.000063	3.20
3	Cas élevé	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	97.4%	64.2%	20.3%	2.01	0.000201	4.5	0.31	1.03	0.000103	2.27
4	Cas élevé	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présentes	47.8%	18.1%	8.2%	2.12	0.000212	35.5	0.43	0.95	0.000095	3.23

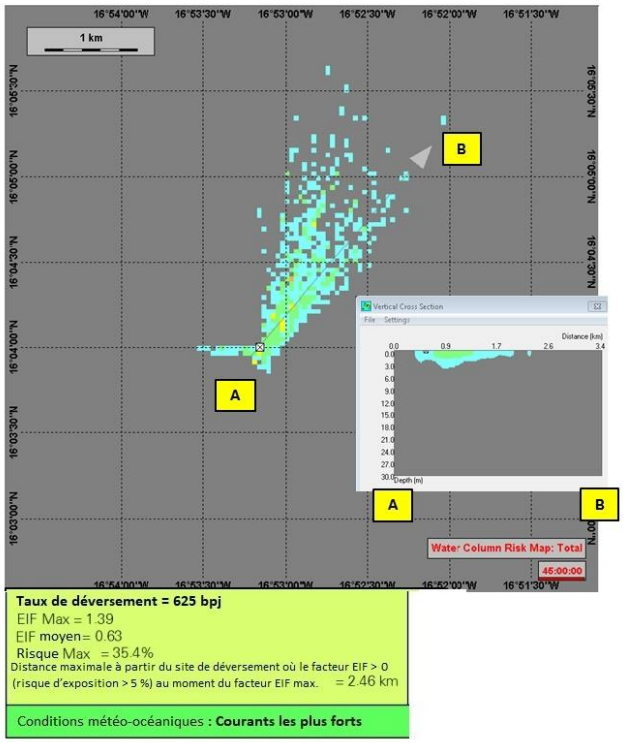
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Type de profil d'eau produite	EIF de la colonne d'eau																							
	Risque d'exposition maximal moyenné dans le temps dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	Changement de pourcentage dans le risque d'exposition maximum moyenné dans le temps (%)				EIF instantané maximum WC sur la durée de la simulation.	Changement de pourcentage dans le facteur EIF WC (%)				Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) au moment du facteur EIFwc instantané maximal (km)..	Changement de pourcentage (%)				EIFWC moyen sur la durée de la simulation	Changement de pourcentage dans le facteur EIF wc(%) moyen				Maximum distance from release point where WC exposure risk exceeded 5% (i.e. EIF_{wc} > 0) over the 45 day simulation (km).	Changement de pourcentage (%)			
Substances naturellement présentes	48.8%	0%		0%		1.21	0%		0%		0.81	0%		0%		0.62	0%		0%		1.93	0%		0%	
Substances naturellement présentes	12.1%	-75%			0%	1.39	15%			0%	2.46	205 %			0%	0.63	2%			0%	3.20	66%			0%
Substances naturellement présentes	64.2%		0%	32%		2.01		0%	66%		0.31		0%	-61%		1.03		0%	66%		2.27		0%	17%	
Substances naturellement présentes	18.1%		-72%		50%	2.12		5%		53%	0.43		37%		-83%	0.95		-8%		51%	3.23		42%		1%

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

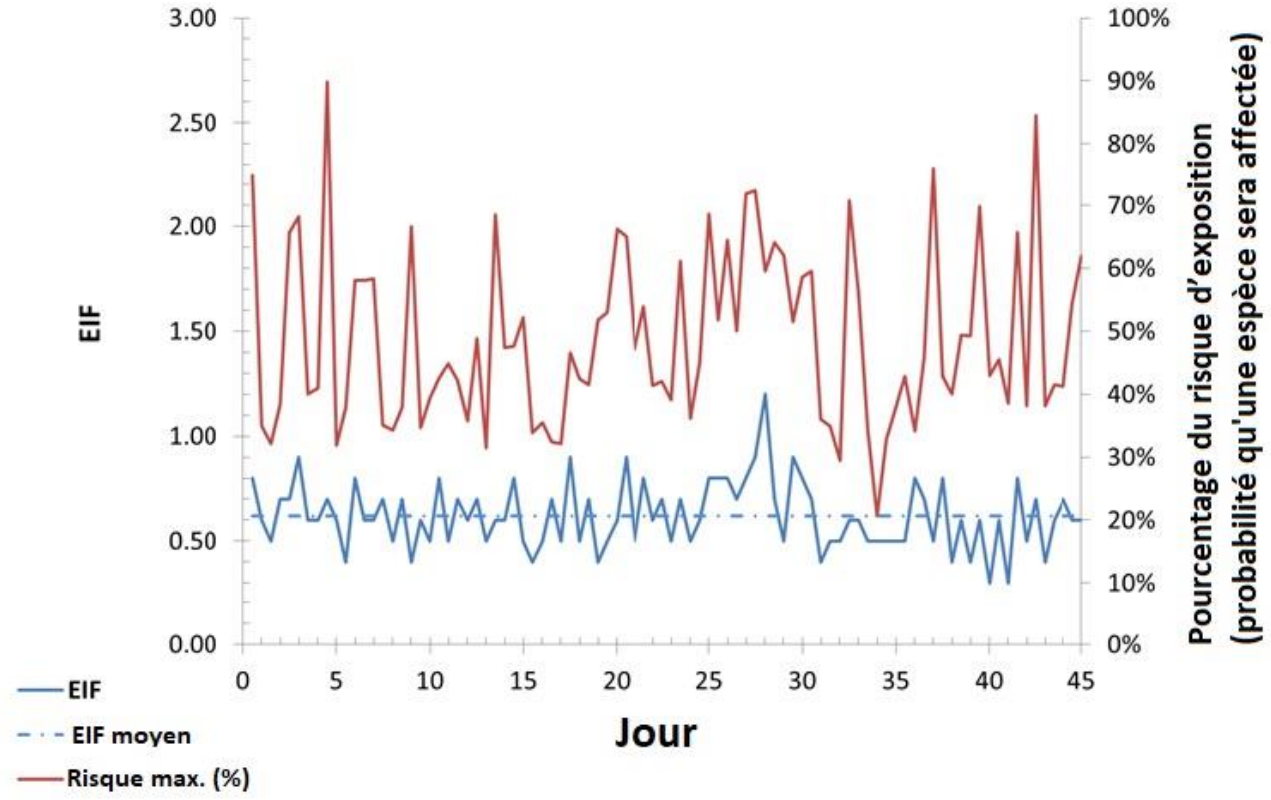
Figure 6.2 Cartes affichant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum≥5 % calculé à n'importe quel emplacement de la colonne d'eau sur la période de simulation de 45 jours pour le cas de base NOS dans les conditions de vitesse de courant ambiant basse et élevée (Scénarios 1 et 2).

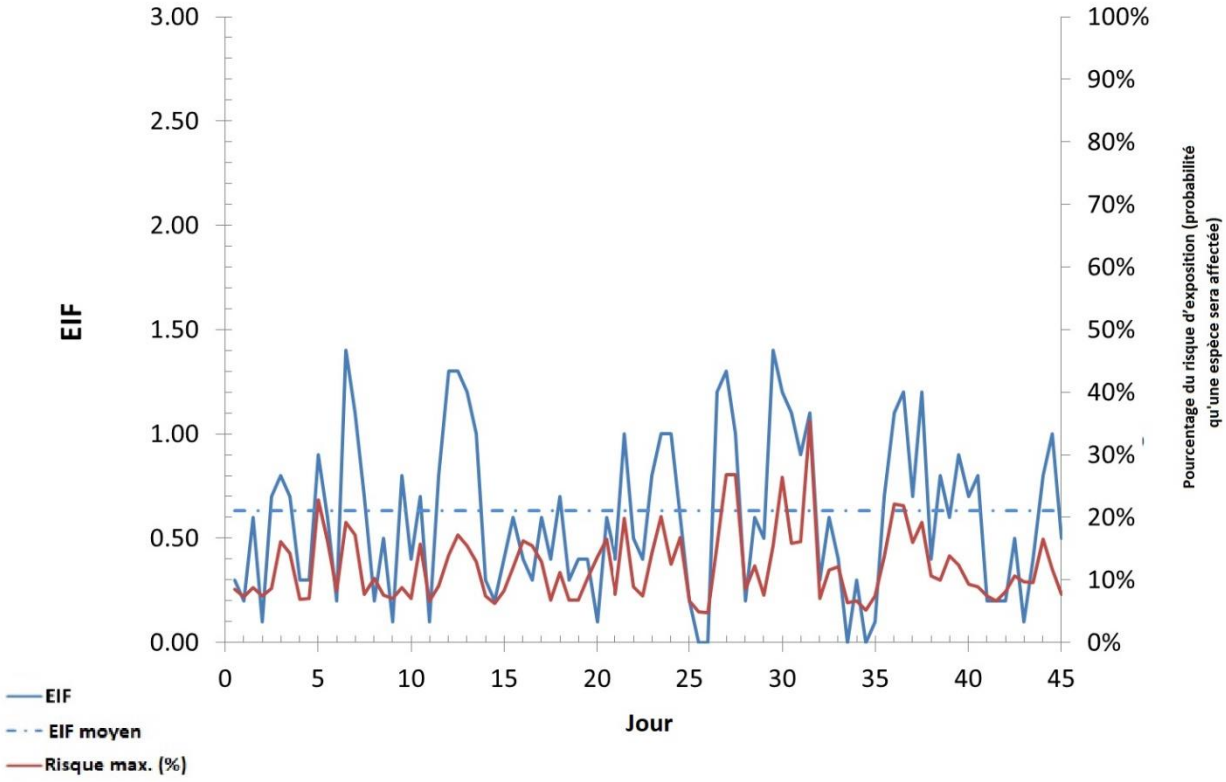




© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

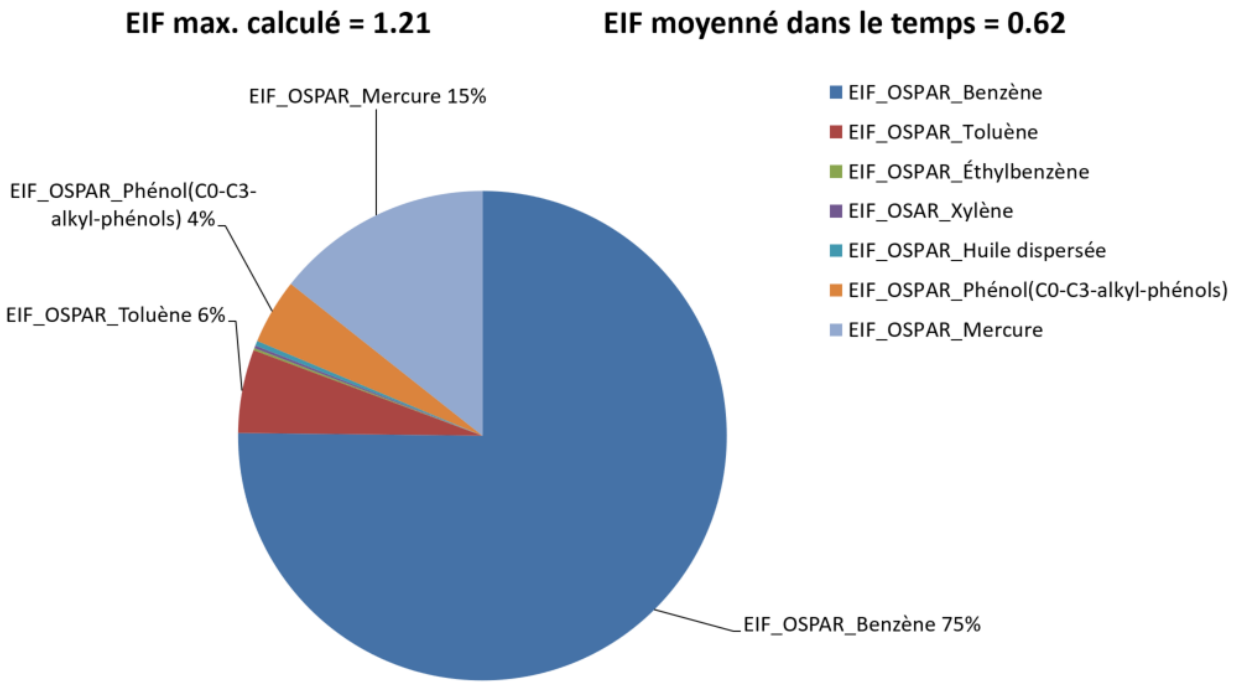
Figure 6.3 Series temporelles du risque maximum et EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau sur la période de simulation de 45 jours pour le cas de base NOS dans les conditions de vitesse de courant ambiant basse (Scénario 1, haut) et élevée (Scénario 2, bas).





© BP p.l.c. BP interne
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 6.4 Diagramme circulaire montrant la contribution de chaque contaminant naturellement présent au facteur EIF pour le cas de base NOS d'eau produite seulement (Scénario 1, faibles courants ambiants)



© BP p.l.c. BP interne
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

6.2 Évaluation des substances naturellement présentes et des additifs chimiques

Le Tableau 6.2 résume les résultats EIF maximum et moyens pour les scénarios de rejet d'eau produite 5 à 8 (ce qui inclut les additifs chimiques, voir Section 4 - Tableau 4.1).

Les valeurs EIF pour les 4 scénarios ont été beaucoup plus élevées que les scénarios prenant en compte uniquement les composants NOS qui indiquent que la contribution des NOS à la toxicité de l'eau produite est mineure. Les valeurs EIF étaient comprises entre 18,9 et 39,6 pour le facteur EIF maximum et de 9,2 à 15,6 pour les valeurs EIF moyennes. Les valeurs EIF maximales et moyennes les plus élevées de 39,6 et 15,6 respectivement (Scénario 7) ont été associées au scenario concentration BTEX élevée + additifs chimiques de production / scénario de vitesse de courant ambiant la plus basse. Un facteur EIF maximal de 39,6 équivaut à un volume d'eau maximal qui présente un risque d'exposition $\geq$ 5 % de 3,96 x 10^{-3} km^3.

Les scénarios de cas BTEX élevé avec additifs chimiques inclus (Scénarios 7 et 8) ont donné des valeurs EIF moyennes supérieures de 5 à 6 % à celles des scénarios de cas de base correspondants avec additifs chimiques (Scénarios 5 et 6). Pour tous les scénarios BTEX avec additifs chimiques, l'augmentation de la dispersion dans les conditions de courant ambiant élevées a réduit les valeurs EIF maximales et moyennes de 45 à 49 % et 38 %, respectivement.

La Figure 6.5 montre des cartes instantanées au moment du facteur EIF maximal dans la colonne d'eau pour le cas de base NOS avec des additifs chimiques dans les deux conditions de vitesse de courant ambiant basse et élevée (Scénarios 5 et 6). Les résultats ont montré que les distances maximales depuis le site de déversement pour lesquelles le risque d'exposition est $\geq$5 % au moment du facteur EIF maximal sont de 1,78 km et 1,90 km pour les cas de courant ambiant faible et fort, respectivement.

© BP p.l.c. BP interne
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Tableau 6.2 Résumé du risque d'exposition environnementale calculé pour les scénarios de rejet d'eau produite du FPSO de Tortue avec NOS et additifs chimiques.

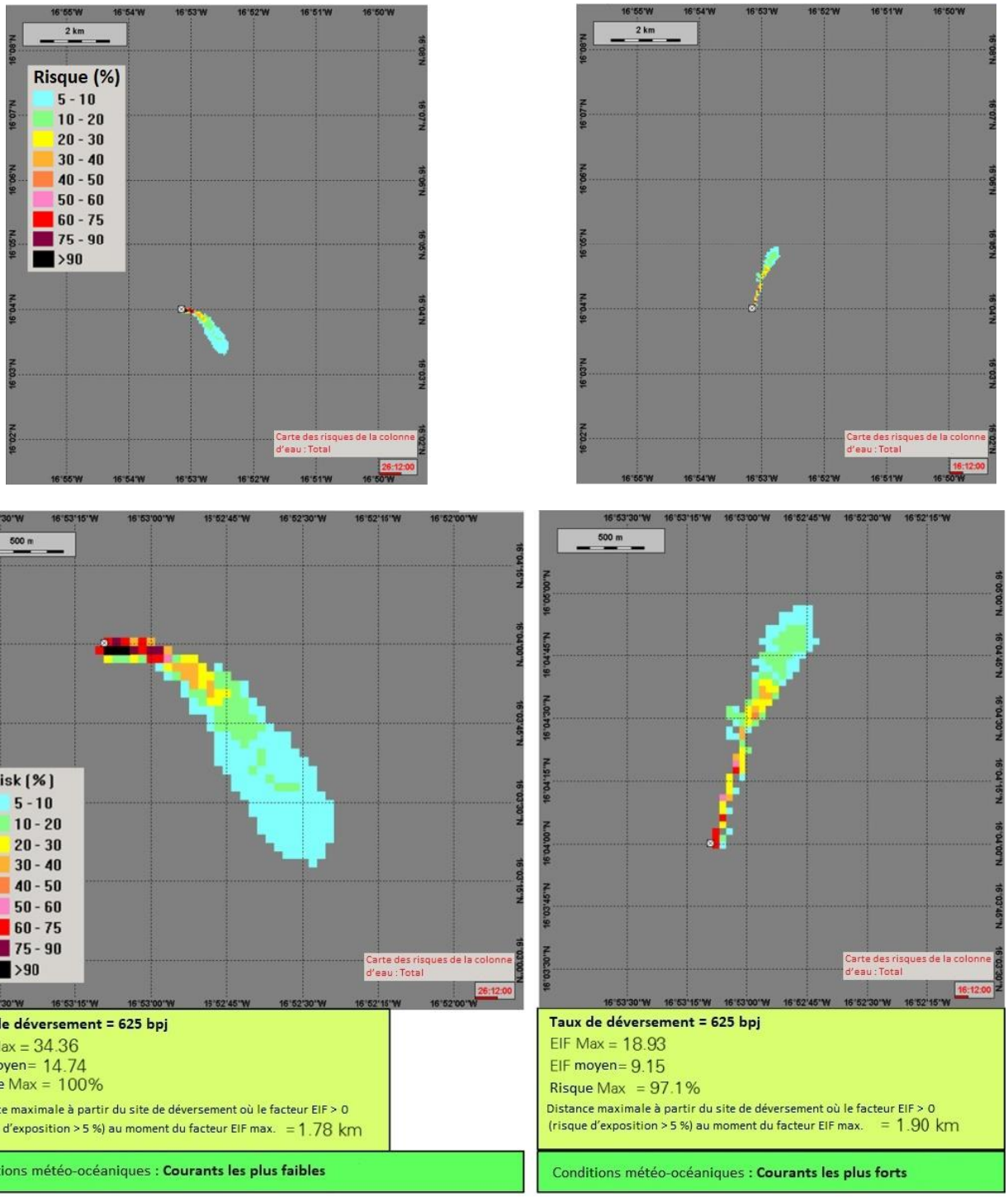
Scénario	Concentration des composants BTEX dans le déversement d'eau produite	Courant/conditions météo-océaniques ambiantess	Taux de déversement d'eau produite (bpj)	Taux de déversement d'eau produite (m3/jour)	Durée de déversement (jours)	Type de profil d'eau produite	EIF de la colonne d'eau: Risque d'exposition maximal dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	Risque d'exposition maximal moyenné dans le temps dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	Risque d'exposition maximal le plus bas dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	EIF instantané maximumWC sur la durée de la simulation.	Volume d'eau maximal dont le risque d'exposition dépasse 5 % (EIFWC>0) sur la durée de la simulation (km3).	Temps passé depuis le début du déversement au moment du facteur EIFWC (jours)	Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) au moment du facteur EIFwc instantané maximal (km).	EIFWC moyen sur la durée de la simulation.	Volume d'eau moyen dont le risque d'exposition dépasse 5 % (EIFWC>0) sur la durée de la simulation (km3).	Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) sur la période de simulation de 45 jours (km).
5	Cas de base	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	100.0%	83.1%	45.8%	34.4	0.003436	26.5	1.78	14.7	0.001474	5.31
6	Cas de base	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	97.1%	70.3%	52.2%	18.9	0.001893	16.5	1.90	9.2	0.000915	8.47
7	Cas élevé	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	100.0%	84.4%	45.8%	39.6	0.003955	26.5	1.76	15.6	0.001563	4.00
8	Cas élevé	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	97.2%	72.6%	61.6%	20.1	0.002010	16.5	2.08	9.6	0.000963	8.35

© BP p.l.c.
de BP
Informations internes
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Scénario	Concentration des composants BTEX dans le déversement d'eau produite	Courant/conditions météo-océaniques ambiantes	Taux de déversement d'eau produite (bpj)	Taux de déversement d'eau produite (m³/jour)	Durée de déversement (jours)	Type de profil d'eau produite	EIF de la colonne d'eau													
							Risque d'exposition maximal moyenné dans le temps dans la colonne d'eau sur la durée de la simulation (%).	Changement de pourcentage dans le risque d'exposition maximum			EIF instantané maximumWC sur la durée de la simulation.	Changement de pourcentage dans le facteur EIFWC (%)			Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) au moment du facteur EIFwc instantané maximal (km).	Changement de pourcentage (%)			EIFWC moyen sur la durée de la simulation.	Changement de pourcentage dans le facteur EIF wc(%) moyen			Distance maximale depuis le point de déversement où le risque d'exposition WC dépasse 5 % (c'est-à-dire EIFWC > 0) sur la période de simulation de 45 jours (km).	Changement de pourcentage (%)			
5	Cas de base	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	84.5%	0%		0%	34.4	0%		0%	1.78	0%		0%	14.7	0%		0%	5.31	0%		0%	
6	Cas de base	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	71.0%	-16%			0%	18.9	-45%			0%	1.90	7%			0%	9.2	-38%			0%	8.47	59%			0%
7	Cas élevé	Courants les plus faibles	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	82.9%		0%	-2%		39.6		0%	15%		1.76		0%	-1%		15.6		0%	6%		4.00		0%	-25%	
8	Cas élevé	Courants les plus forts	625	99	Continue (45 jours)	Substances naturellement présente + Désémulsifiants	71.5%		-14%		1%	20.1		-49%		6%	2.08		18%		9%	9.6		-38%		5%	8.35		109%		-1%

© BP p.l.c.
de BP
Informations internes
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 6.5 Cartes instantanées affichant le risque d'exposition environnementale maximum ≥5 % dans l'eau à n'importe quel emplacement et au moment du facteur EIF maximal pour le cas de base NOS avec additifs chimiques dans les conditions de vitesse du courant ambiant basse et élevée (Scénarios 1 et 2). Haut - cartes à la même échelle, bas - cartes agrandies).



© BP p.l.c. BP interne

BP interne
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Si tous les pas de temps sont pris en considération, la Figure 6.6 montre le risque d'exposition environnementale calculé dans n'importe quel emplacement de la colonne d'eau sur la période de simulation de 45 jours pour les Scénarios 5 et 6. Les distances maximales depuis le site de déversement pour lesqueslles le risque d'exposition maximal est ≥ 5 % sont de 5,31 km et 8,47 km pour les cas de courant ambiant faible et fort, respectivement. Ces cartes présentent également une section transversale verticale du risque dans la colonne d'eau le long du vecteur A-B.

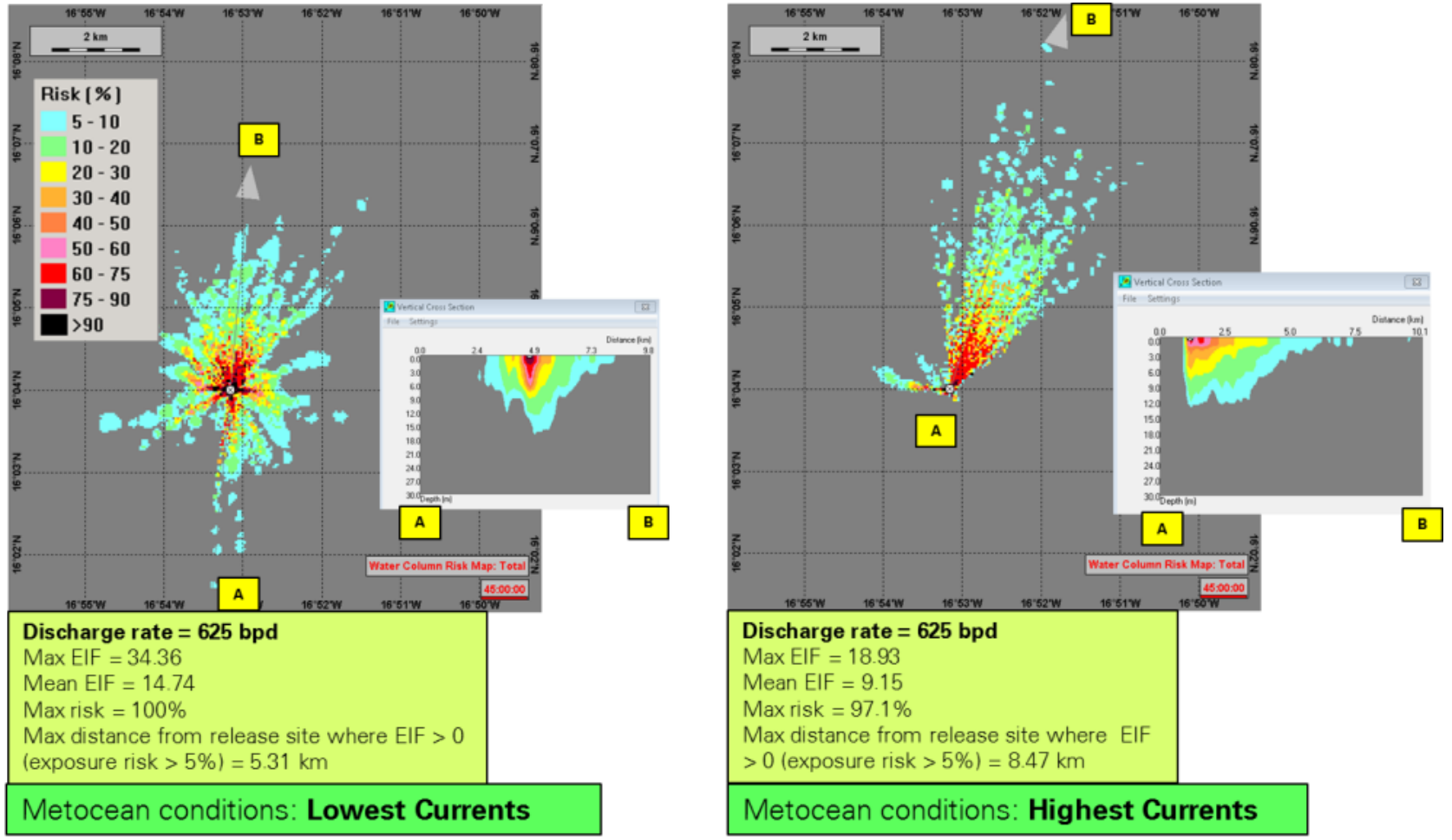
Les variations du facteur EIF et du risque maximum dans la colonne d'eau au cours de la période de simulation pour le cas de base NOS d'eau produite avec additifs chimiques sont affichés dans la Figure 6.7. L'augmentation de la dispersion dans les conditions de courant ambiant élevé a réduit le risque d'exposition maximal moyenné dans le temps calculé de 16 % par rapport au scénario de faible courant ambiant.

La Figure 6.4 montre la contribution de chaque contaminant NOS de l'eau produite au facteur EIF pour le Scénario 1 (cas de base NOS + additifs chimiques, faibles courants ambiants). Le diagramme circulaire montre que 93 % du risque EIF dans la colonne d'eau est attribuable à l'inhibiteur de corrosion (Cortron RN629) avec des contributions mineures du benzène (3 %) et du floculant chimique (EC6029A, 3 %). Des résultats similaires ont été obtenus pour les autres scénarios, bien que la contribution du benzène ait augmenté de quelques points pour les scénarios de cas BTEX « élevé » (voir Annexe C.7, Figure V35, et Annexe C.8, Figure C40).

© BP p.l.c. BP interne

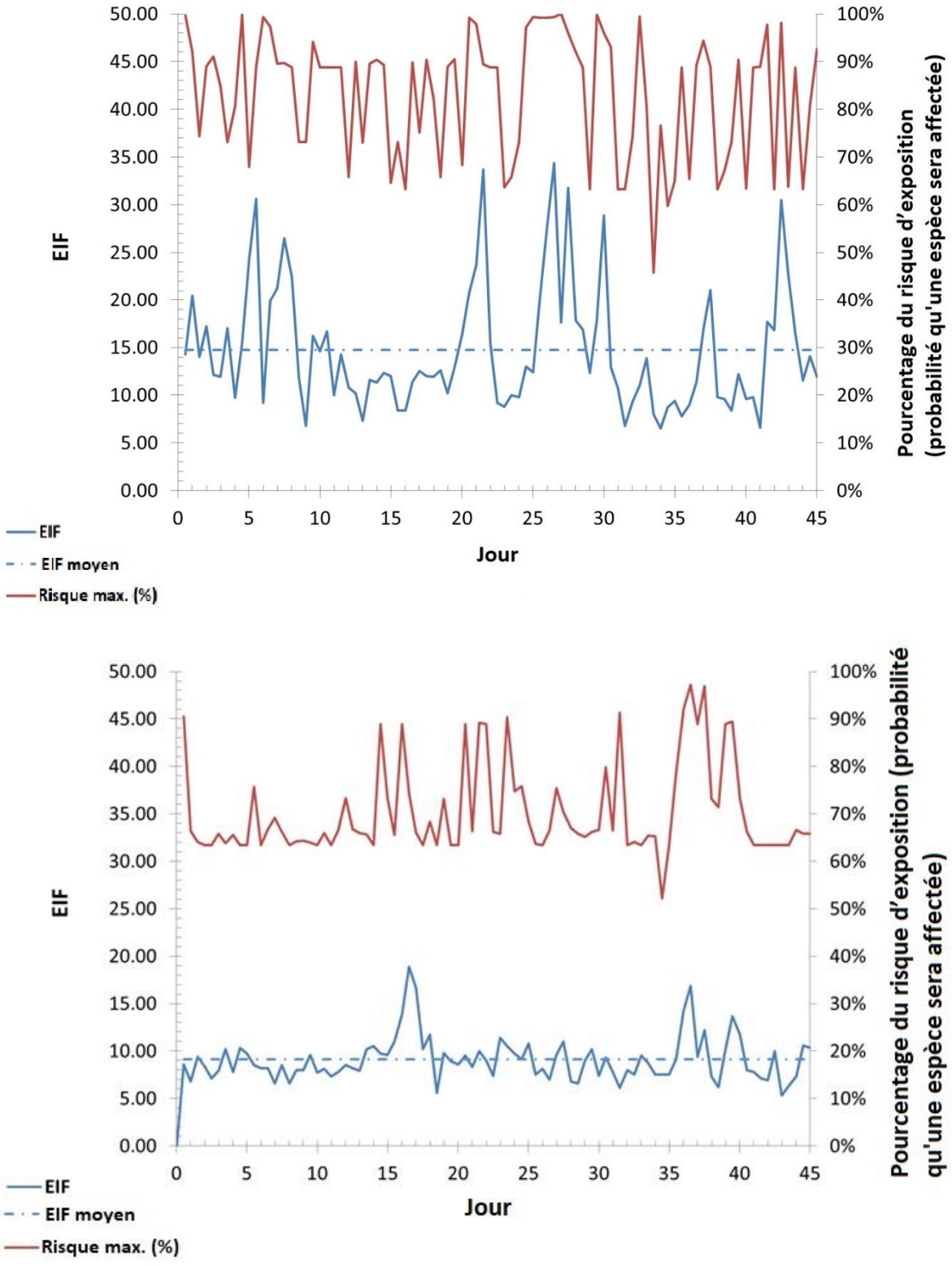
BP interne
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 6.6 **Cartes affichant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum ≥5 % calculé à n'importe quel emplacement de la colonne d'eau sur la période de simulation de 45 jours pour le cas de base NOS avec additifs chimiques dans les conditions de vitesse de courant ambiant basse et élevée (Scénarios 5 et 6).**



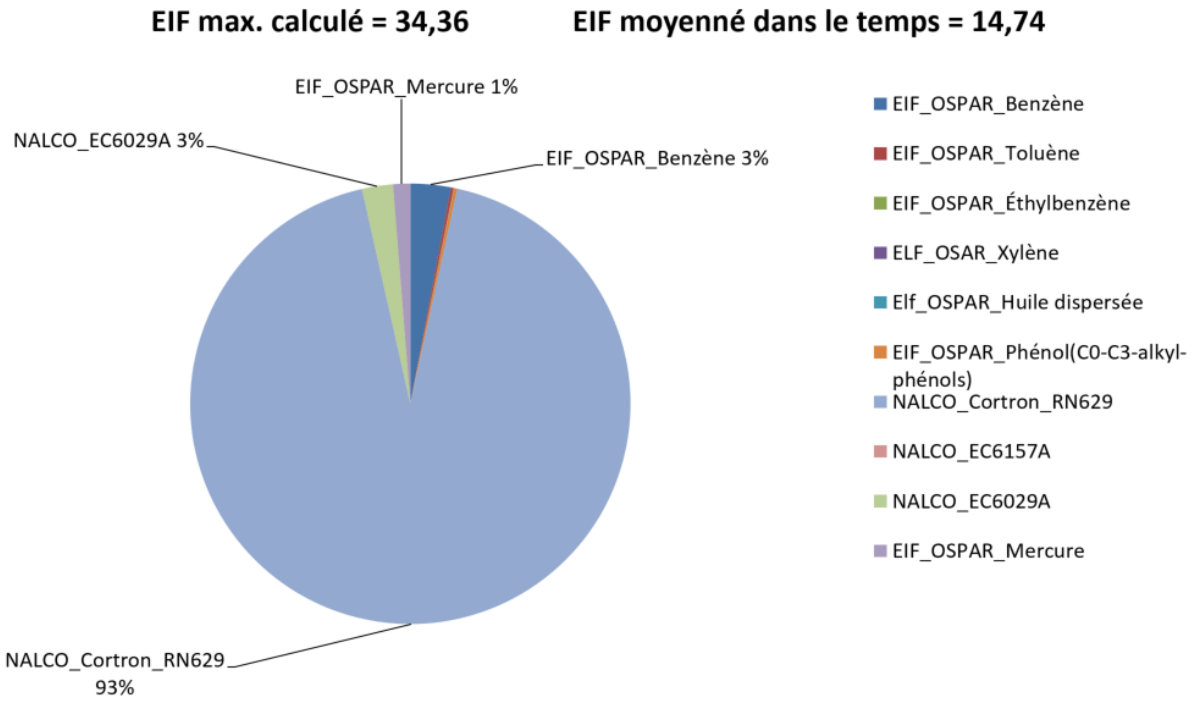
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 6.7 Series temporelles du risque maximum et EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau sur la période de simulation de 45 jours pour le cas de base NOS avec additifs chimiques dans les conditions de vitesse de courant ambiant basse (Scénario 1, haut) et élevée (Scénario 6, bas).



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure 6.8 Diagramme circulaire montrant la contribution de chaque contaminant naturellement présent au facteur EIF pour le cas de base NOS avec additifs chimiques (Scénario 5, faibles courants ambiants)



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

7 Discussion

De façon globale, les résultats montrent une variabilité importante dans les valeurs EIF calculées, qui dépendent des conditions météo-océaniques ambiantes, de la concentration des composants BTEX dans l'eau produite et de la présence d'additifs chimiques dans les profils de rejet d'eau produite.

Bien que les valeurs EIF calculées aient été plus élevées lorsque des additifs chimiques ont été introduits dans le profil d'eau produite, ce qui suggère que les produits chimiques ajoutés sont le principal contributeur au risque d'exposition environnementale, il doit être souligné que cela est en partie dû à l'approche associée facteur d'évaluation (AF) (sécurité) comprise dans la méthodologie EIF. La variabilité observée dans la qualité et la quantité des données de toxicité pour les différents groupes de substances entraîne une large gamme des AF appliqués qui est responsable de l'incertitude d'extrapolation. Par exemple, les valeurs PNEC d'éthylbenzène et de benzène ont été dérivées à l'aide d' AF de 10 et 100 respectivement, et ce parce que les données de toxicité chronique complètes sont disponibles [7]. En revanche, des AF de 1 000 ont été appliqués aux produits chimiques de production, car il existe des données de toxicité aiguës limitées disponibles pour 3 espèces à 3 niveaux trophiques différents (algues, zooplancton et poissons) [3]. Il est important que l'incertitude d'extrapolation « cachée » dans les AF soit prise en considération lors de la définition des mesures de réduction des risques ; sinon, cela peut entraîner des options de priorisation et d'atténuation erronées.

Par conséquent, pour le cas des rejets d'eau produite du FPSO de Tortue, avant d'envisager les autres options d'atténuation du risque éventuelles, la priorité doit consister à déterminer si l'acquisition de données de tests de toxicité chronique pour l'inhibiteur de corrosion permettra l'utilisation d'un AF moins conservateur de 100, ou de 50 dans les calculs EIF, ce qui réduirait la valeur EIF globale ainsi que la contribution du produit chimique inhibiteur de corrosion.

Bien qu'il ne soit pas conseillé de comparer les EIF de différentes installations en raison des différences au niveau de la nature et de l'échelle des déversementset des conditions environnementales, les valeurs EIF maximales et moyennes les plus élevées de 39,6 et 15,6 calculées pour le rejet d'eau produite du FPSO de Tortue sont faibles en comparaison avec les données limitées publiées sur les valeurs EIF de l'eau produite dans les installations de la Mer du Nord. En 2002, Statoil a publié des données EIF pour le rejet d'eau produite provenant de 25 champs de la Mer du Nord. Les valeurs étaient comprises entre 0 (zéro) et 15 000, avec une valeur EIF de 100 ou moins pour sept champs, une valeur EIF d'environ 1 000 pour la majorité des champs et une valeur EIF >5 000 pour trois champs[12].

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

8 Références

[1] La recommandation 2012/5 OSPAR pour une approche fondée sur le risque pour la gestion des déversements d'eau produite dans les installations offshore.

[2] OSPAR 12/22/1 Annexe 19 de l'Accord OSPAR 2012/7, Directives OSPAR en soutien de la Recommandation 2012/5 pour une Approche fondée sur le risque pour la gestion des déversements d'eau produite dans les installations offshore.

[3] CE (1996). Guide technique en soutien à la Directive de la commission 93/67/EEC sur l'évaluation du risque des substances récemment notifiées et Réglementation de la commission (CE) N° 1488/94 sur l'évaluation du risque des substances existantes. Partie II -- Évaluation du risque environnemental Bureau des publications officielles de la CE, Luxembourg.

[4] CE (2003) : Guide technique sur l'évaluation du risque en soutien à la Directive de la commission 93/67/EEC sur l'évaluation du risque des substances récemment notifiées et Réglementation de la commission (CE) N° 1488/94 sur l'évaluation du risque des substances existantes, et Directive 98/8/CE du Parlement et du Conseil européens concernant le placement des produits biocides sur le marché. Partie II -- Évaluation du risque environnemental

[5] [10] Guide ECHA des exigences d'informations et évaluation de la sécurité chimique. Chapitre R.10 : Caractérisation de la dose [concentration]-réponse pour l'environnement, mai 2008. http://echa.europa.eu/web/guest/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment

[6] SCHER (Comité scientifique des risques sanitaires et environnementaux), opinion sur la directive-cadre sur les produits chimiques et l'eau : Guide technique pour la définition des normes de qualité environnementale, octobre 2010.

[7] Accord OSPAR 2014/5, Établissement d'une liste de concentrations prévisibles sans effet (PNEC) pour les substances naturellement présentes dans l'eau produite.

[8] Reed, M. et. al., 2001: "DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model. Technical Description of Physical-Chemical Fates Components. Proceedings 5th Int. Marine Environmental Modelling Seminar, New Orleans, USA, Oct. 9-11 2001.

[9] Reed, M., B. Hetland, 2002. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical Description of Physical-Chemical Fates Components. SPE 73856.

[10] Neff, J., S. Johnsen, T. K. Frost, T. I. R. U., G. S. Durell, 2006. Oil well produced water discharges to the North Sea. Part II: Comparison of deployed mussels (Mytilus edulis) and the DREAM model to predict ecological risk. Marine Environmental Research 62 (2006) 224–246.

[11] Durell, G., T. R. Utvik , S. Johnsen, T. Frost, J. Neff., 2006. Oil well produced water discharges to the North Sea. Part I: Comparison of deployed mussels (Mytilus edulis), semi-permeable membrane devices, and the DREAM model predictions to estimate the dispersion of polycyclic aromatic hydrocarbons. Marine Environmental Research 62 (2006) 194–223.

[12] Johnsen, S., T.K. Frost, M. Hjelsvold and T.R. Utvik, 2000: "The Environmental Impact Factor – a proposed tool for produced water impact reduction, management and regulation". SPE paper 61178 presented at the SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production held in Stavanger, Norway, 26 – 28 June 2000.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

[13] Karman, C., 1994: "Eco toxicological Risk of Produced Water from Oil Production Platforms in the Statfjord and Gullfax Fields". TNO Environmental Sciences. Laboratory for Applied Marine Research, den Helder, The Netherlands. Report TNO-ES, February 1994.

[14] Karman, C. and Reerink, H.G., 1997: "Dynamic Assessment of the Ecological Risk of the Discharge of produced Water from Oil and Gas producing Platforms". Paper presented at the SPE conference in 1997, Dallas, USA. SPE paper No. SPE 37905.

[15] Smith, W.H.F, Sandwell, D.T., Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry, NOAA Geosciences Laboratory and Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego.https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/announcements/announce_predict.html, http://topex.ucsd.edu/WWW_html/mar_topo.html

[16] International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean, https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/arctic.html

[17] National Virtual Ocean Data System (NVODS) server - World Ocean Atlas 2005 1x1 degree Monthly means dataset (http://ferret.pmel.noaa.gov/nvods/las/)

[18] International Finance Corporation of the World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Offshore Oil and Gas Development, June 2015.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Annex A Calcul des valeurs PNEC et facteurs d'évaluation (sécurité)

La sélection du facteur d'évaluation pour la définition de la valeur PNEC dans l'évaluation de l'approche totale des effluents est fondée sur la méthodologie CE 1996 [3] (Voir Tableau A1 ci-dessous).

Tableau A 1 - Facteurs d'évaluation pour définir une valeur PNEC dans un milieu aquatique, extraits du Guide technique CE 1996 en soutien à la Directive de la commission 93/67/EEC sur l'évaluation du risque des substances récemment notifiées et Réglementation de la commission (CE) N° 1488/94 sur l'évaluation du risque des substances existantes.

	Facteur d'évaluation
Au moins un L(E)C_{50} à court terme pour chacun des trois niveaux trophiques du lot de base (poissons, daphnies et algues)	1000 [a]
Un NOEC à long terme (poissons ou daphnies)	100 [b]
Deux NOEC à long terme des espèces représentant deux niveaux trophiques (poissons et/ou daphnies et/ou algues)	50 [c]
Des NOEC à long terme dérivés d'au moins trois espèces (normalement, poissons, daphnies et algues) représentant trois niveaux trophiques	10 [d]
Données de terrain ou de modèles d'écosystèmes	Révisé au cas par cas[e]

REMARQUES :

(a) L'utilisation d'un facteur de 1 000 sur les données de toxicité à court terme est un facteur conservateur et protecteur, qui vise à s'assurer que les substances susceptibles d'avoir des effets secondaires sont identifiées dans l'évaluation des effets. Elle suppose que chacune des incertitudes identifiées ci-dessus apporte une contribution importante à l'incertitude globale.

Pour toute substance donnée, il peut y avoir des preuves que ce n'est pas le cas, ou qu'un composant particulier de l'incertitude est plus important qu'un autre. Dans ces circonstances, il peut s'avérer nécessaire de changer ce facteur. Ce changement peut donner lieu à un facteur d'évaluation plus élevé ou plus bas, selon les preuves disponibles. Sauf pour les substances ayant un déversement intermittent (voir Section 3.3.2), aucun facteur inférieur à 100 ne doit être utilisé pour dériver une valeur $PNEC_{eau}$ des données de toxicité à court terme.

Les preuves relatives au changement du facteur d'évaluation peuvent inclure une ou plusieurs des preuves suivantes :

- Preuves de composés structurellement similaires (une preuve d'un composé étroitement lié peut démontrer qu'un facteur supérieur ou inférieur peut être approprié) ;
- Connaissances sur le modèle d'action. (Certaines substances, en vertu de leur structure, peuvent être connues pour leur action de façon non spécifique. Un facteur inférieur peut donc être envisagé. De même, un mode d'action spécifique peut donner lieu à un facteur supérieur) ;
- La disponibilité des données provenant d'une large sélection d'espèces couvrant des groupes taxinomiques supplémentaires autres que celles représentées par les espèces du dossier de base ;
- La disponibilité des données provenant d'une variété d'espèces couvrant les groupes taxinomiques des espèces de dossier de base à trois niveaux trophiques au moins.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Dans ce cas, les facteurs d'évaluation peuvent être seulement réduits si ces points de données multiples sont disponibles pour le groupe taxinomique le plus sensible. Il y des causes pour lesquelles le dossier de base n'est pas complet : p. ex., pour les substances produites à <1 t/a (notifications conformes à l'Annexe VII B de la Directive 92/32/EEC). Tout au plus, la toxicité aiguë pour les daphnies est déterminée. Dans ces cas exceptionnels, la valeur PNEC doit être calculée avec un facteur de 1 000.

La variation d'un facteur de 1 000 ne doit pas être considérée comme étant normale et doit être justifiée par des preuves à l'appui.

(b) Un facteur d'évaluation de 100 s'applique à un NOEC unique à long terme (poissons ou daphnies) si le NOEC a été généré pour le niveau trophique affichant le $L(E)C_{50}$ le plus bas dans les tests à court terme. Si le seul NOEC à long terme disponible provient d'une espèce (standard ou organisme non standard) qui n'a pas le $L(E)C_{50}$ le plus bas provenant des tests à court terme, il ne peut pas être considéré comme protecteur des autres espèces plus sensibles en utilisant les facteurs d'évaluation disponibles. Par conséquent, l'évaluation des effets est fondée sur les données à court terme avec un facteur d'évaluation de 1 000. Cependant, les valeurs PNEC résultantes basées sur les données à court terme ne peuvent pas être supérieures aux valeurs PNEC basées sur les NOEC à long terme disponibles. Un facteur d'évaluation de 100 s'applique également aux NOEC à long terme les plus bas couvrant deux niveaux trophiques lorsque ces NOEC n'ont pas été générés à partir de la valeur affichant le $L(E)C_{50}$ le plus bas des tests à court terme.

(c) Un facteur d'évaluation de 50 s'applique à la valeur la plus basse des deux NOEC couvrant deux niveaux trophiques lorsque ces NOEC ont été générés à partir de la valeur affichant le $L(E)C_{50}$ le plus bas des tests à court terme. Il s'applique également à la valeur la plus basse des trois NOEC couvrant trois niveaux trophiques lorsque ces NOEC n'ont pas été générés à partir du niveau affichant le $L(E)C_{50}$ le plus bas des tests à court terme.

(d) Un facteur d'évaluation de 10 n'est normalement appliqué que lorsque les NOEC de toxicité à long terme sont disponibles pour au moins trois espèces sur les trois niveaux trophiques (p. ex., daphnies et algues ou un organisme non standard au lieu d'un organisme standard).

Lors de l'examen des résultats des études de la toxicité à long terme, la valeur $PNEC_{eau}$ doit être calculée à partir de la concentration sans effet observé (NOEC) la plus basse disponible. L'extrapolation des effets sur l'écosystème peut être effectuée avec une confiance beaucoup plus grande. Par conséquent, une réduction du facteur d'évaluation à 10 est possible. Ceci n'est toutefois suffisant que si les espèces testées peuvent être considérées comme représentant l'un des groupes plus sensibles. Ceci ne serait normalement possible que pour déterminer si les données étaient disponibles pour au moins trois espèces sur les trois niveaux trophiques.

Il peut parfois être possible de déterminer avec une haute probabilité que les espèces les plus sensibles ont été examinées, c'est-à-dire qu'un NOEC supplémentaire à long terme provenant d'un autre groupe axonomique ne serait pas inférieur que les données déjà disponibles. Dans ces circonstances, un facteur de 10 appliqué à la valeur NOEC la plus basse dérivée de deux espèces seulement serait également approprié. C'est particulièrement important si la substance n'a pas un potentiel de bioaccumulation. S'il n'est pas possible de faire ce jugement, un facteur d'évaluation de 50 doit être appliqué pour prendre en compte toute variation entre espèces en matière de sensibilité. Un facteur de 10 ne peut pas être réduit sur la base des études en laboratoire.

(e) Le facteur d'évaluation à utiliser dans les études du mésocosme ou dans les données de (semi-)terrain doit être examiné au cas par cas.

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Annex B Valeurs PNEC pour les composants naturellement présents dans l'eau produite

En soutien aux directives OSPAR 2012/7 [(2)], l'accord OSPAR 2014/5 [(7)] fournit les PNEC pour les composants naturellement présents dans l'eau produite inclus dans l'évaluation RBA. Une liste de valeurs PNEC sélectionnées fournies dans l'accord OSPAR 2014/5 est disponible ci-dessous dans le Tableau B1. Le document comprend une liste plus détaillée des composants naturellement présents et des informations plus détaillées sur les propriétés chimiques, et les facteurs d'évaluation (sécurité) utilisés pour développer les valeurs PNEC.

Tableau N.1 Liste sélectionnée des constituants naturellement présents principaux dans l'eau produite et leurs valeurs PNEC associées (Accord OSPAR 2014/5)

Substance	PNEC (µg/L)	Source	Renseignements complémentaires
BTEX			
Benzène (et xylène)	8	CE, 2013	Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le benzène afin de représenter la toxicité du xylène
Toluène	7.4	EU RAR, 2003	
Éthylbenzène	10	EU RAR, 2007	
Naphtalènes			
Naphtalène (et homologues alkyles)	2	CE, 2013	Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le naphtalène pour représenter la toxicité des homologues alkyles C1-C3 du naphtalène
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (PAH)			
PAH à 2-3 anneaux			
Acénaphthène	0.38	EU RAR CTPHT, 2008	
Acénaphtylène	0.13	EU RAR CTPHT, 2008	
Fluorène	0.25	EU RAR CTPHT, 2008	
Anthracène (et dibenzothiophène et homologues alkyles)	0.1	CE, 2013	Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour l'anthracène pour représenter la toxicité du dibenzothiophène et des homologues alkyles C1-C3 du dibenzothiophène
Phénanthrène (et homologues alkyles)	1.3	EU RAR CTPHT, 2008	Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le phénanthrène pour représenter la toxicité des homologues alkyles C1-C3 du phénanthrène
PAH à 4 anneaux			
Fluoranthène	0.0063	CE, 2013	La valeur $PNEC_{eau}$ est recalculée à partir de la norme alimentaire en appliquant le facteur de bioaccumulation [1)]
Pyrène	0.023	EU RAR CTPHT, 2008	
Benz(a)anthracène	0.0012	EU RAR CTPHT, 2008	
Chrysène	0.007	EU RAR CTPHT, 2008	

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

PAH à 5-6 anneaux			
Dibenzo(a,h)anthracène	0.00014	EU RAR CTPHT, 2008	
Substance	**PNEC (µg/L)**	**Source**	**Renseignements complémentaires**
Benzo(a)pyrène[2] (et benzo(g,h,i)pérylène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène et Indéno[1,2,3-cd]pyrène)	0.00017	CE, 2013	Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le benzo(a)pyrène afin de représenter la toxicité du benzo(g,h,i)pérylène, du benzo[b]fluoranthène, du benzo[k]fluoranthène et de l'indéno[1,2,3-cd]pyrène. La valeur $PNEC_{eau}$ est recalculée à partir du benzo(a)pyrène en appliquant le facteur de bioconcentration pour les mollusques [1)]
Valeur/sources PNEC alternatives basées sur la toxicité aquatique (µg/l)			
Benzo(a)pyrène	1) 0,022 (projet de fiche d'informations EQS PAH à 5-6 anneaux ; dossier 20101221) 2) 0,022 (EU RAR CTPHT, 2008) 3) 0,010 (Verbruggen, 2012).		
Benzo[b]fluoranthène,	1) 0,017 (projet de fiche d'informations EQS PAH à 5-6 anneaux ; dossier 20101221 2) 0,0017 (EU CTPHT RAR, 2008) 3) 0,017 (Verbruggen, 2012).		
Benzo[k]fluoranthène	1) 0,017 (projet de fiche d'informations EQS PAH à 5-6 anneaux ; dossier 20101221) 2) 0,017 (EU RARCTPHT, 2008) 3) 0,017 (Verbruggen, 2012)		
Indéno[1,2,3-cd]pyrène)	1) 0,00027 (EU RAR CTPHT, 2008) 2) 0,00027 (Verbruggen, 2012		
Benzo(g,h,i)pérylène,	1) 0,00082 (projet de fiche d'informations EQS PAH à 5-6 anneaux ; dossier 20101221) 2) 0,00082 (EU RAR CTPHT, 2008) 3) 0,00082 (Verbruggen, 2012)		
Hydrocarbures dispersés			
Hydrocarbures dispersés	70.5	Smit et al., 2009	Aucune norme officielle disponible
Métaux			
Arsenic	0,6 +Cb[3]	UKTAG, 2007	Aucune norme UE disponible.,
Cadmium	0,2+Cb[3]	CE, 2013	
Chrome	0,6+ Cb	UKTAG, 2007	Aucune norme UE disponible
Cuivre	2.6	EU RAR, 2008	
Nickel	8,6 +Cb	CE, 2013	
Mercure[4]	0,05+Cb[3]	WFD, 2008	La valeur PNEC ne prend pas en compte la bioaccumulation[1]
Plomb	1.3	CE, 2013	
Zinc	3,4+Cb[3]	UKTAG, 2012	
Alkylphénols			
Phénol (et C1-C3 alkylphénols)	7.7	EU RAR, 2006	Des valeurs PNEC fiables ne sont pas disponibles pour les alkylphénols C0-C3 individuels. Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le phénol pour

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

			représenter la toxicité de tous les alkylphénols C1-C3
Butylphénol (et les autres alkylphénols C4)	0.64	EU RAR, 2008	Des valeurs PNEC fiables ne sont pas disponibles pour les alkylphénols C4 individuels. Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le butylphénol pour représenter la toxicité de tous les alkylphénols C4
Substance	**PNEC (µg/L)**	**Source**	**Renseignements complémentaires**
Pentylphénol (et les autres alkylphénols C5)	0.2	EA RAR, 2008	Des valeurs PNEC fiables ne sont pas disponibles pour les alkylphénols C5 individuels. Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le pentylphénol pour représenter la toxicité de tous les alkylphénols C5
Octylphénol (et alkylphénols C6-C8)	0.01	CE, 2013	Des valeurs PNEC fiables ne sont pas disponibles pour les alkylphénols C6-C8 individuels. Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour l'octyphénol pour représenter la toxicité de tous les alkylphénols C6-C8
Nonylphénol (et les autres alkylphénols C9)	0.3	CE, 2013	Des valeurs PNEC fiables ne sont pas disponibles pour les alkylphénols C9 individuels. Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le nonylphénol pour représenter la toxicité de tous les alkylphénols C9

1) Pour les substances prioritaires selon le WFD avec un potentiel de bioaccumulation important ou des effets sur la santé humaine dus à la consommation de produits de la pêche (p. ex., pour certains HAP), la valeur PNECeau est dérivée des normes alimentaires qui s'appliquent aux facteurs de bioconcentration.

2) Les HAP à 5-6 anneaux comprennent des substances cancérigènes : benzo[a]pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène et indéno[1,2,3-cd]pyrène. Il est proposé d'appliquer la valeur PNEC pour le benzo[a]pyrène pour les 5-6 HAP cancérigènes.

3) Cb : Concentration dans l'environnement (µg/l). Les concentrations dans l'environnement spécifiques au site sont préférées. Si elles ne sont pas disponibles, les plages de concentrations dans l'environnement peuvent être trouvées dans le document de référence OSPAR (OSPAR, 2004).

4) Pour le mercure, qui a un potentiel de bioaccumulation,le recalcul basé sur les normes alimentaires n'est pas possible parce que les facteurs de bioconcentration sont très variables. Par conséquent, une valeur PNECeau pour le mercure basé sur la toxicité aquatique est proposée (WFD, 2008). La valeur PNEC ne prend pas en compte la bioaccumulation/les effets secondaires et n'est donc pas protectrice pour les mammifères marins et les oiseaux.

Bibliographie, sources et informations complémentaires :

Baars A.J., Theelen R.M.C., Janssen P.J.C.M., Hesse J.M., van Apeldoom M.E., Meijerink M.C.M., Verdam L. and Zeilmaker M.J. (2001). Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. RIVM report 711701 025. RIVM, Bilthoven. http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf.

CE (2011). Projet de fiche d'information EQS PAH à 5-6 anneaux (dossier 20101221), 13/12/2011 https://circabc.europa.eu/sd/d/4e13a4c4-07b9-4e55-a43d-823e7cd4ce82/PAH%20EQS%20dossier%202011.pdf

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

CE (2013). DIRECTIVE 2013/39/EU DU PARLEMENT ET DU CONSEIL EUROPÉENS
du 12 août 2013, amendant les Directives 2000/60/EC et 2008/105/EC concernant les substances prioritaires dans le domaine de la politique sur l'eau.
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:EN:PDF

ECHA (2009). Member State Committee Support Document for identification of *Coal Tar Pitch, High Temperature as a substance of very high concern because of its PBT and CMR properties, December* 2009.
http://echa.europa.eu/documents/10162/13638/svhc_supdoc_pitch_publication_en.pdf

EU RAR CTPHT (2008). European Union Risk Assessment Report for Coal-Tar Pitch, High Temperature (CAS-No.: 65996-93-2, EINECS-No.: 266-028-2)(Final report, Environment). Institut pour la santé et la protection des consommateurs - Bureau européen des substances chimiques. Mai 2008.

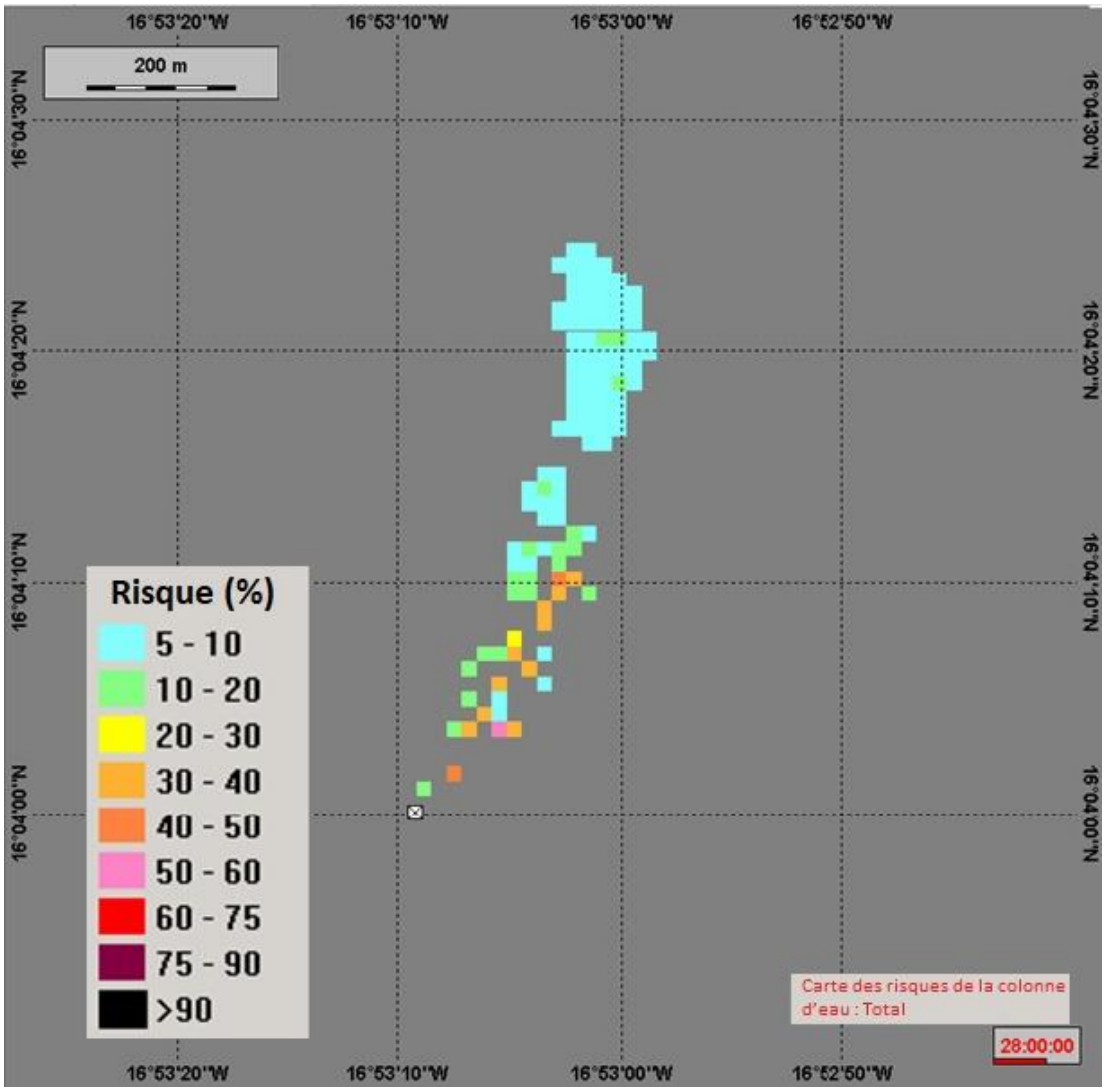
Liste OSPAR des produits chimiques devant faire l'objet de mesures prioritaires (révisée en 2011).
http://www.ospar.org/content/content.asp?menu=00120000000050_000000_000000

© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Annex C Résultats de modélisation du risque d'exposition environnementale pour chaque scénario de déversement

C.1 Scénario 1

Figure C.1 Scénario 1 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximumdans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 1,21, 1,21 x 10^{-4} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentration BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.2 Scénario 1 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant du rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de déversement d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.

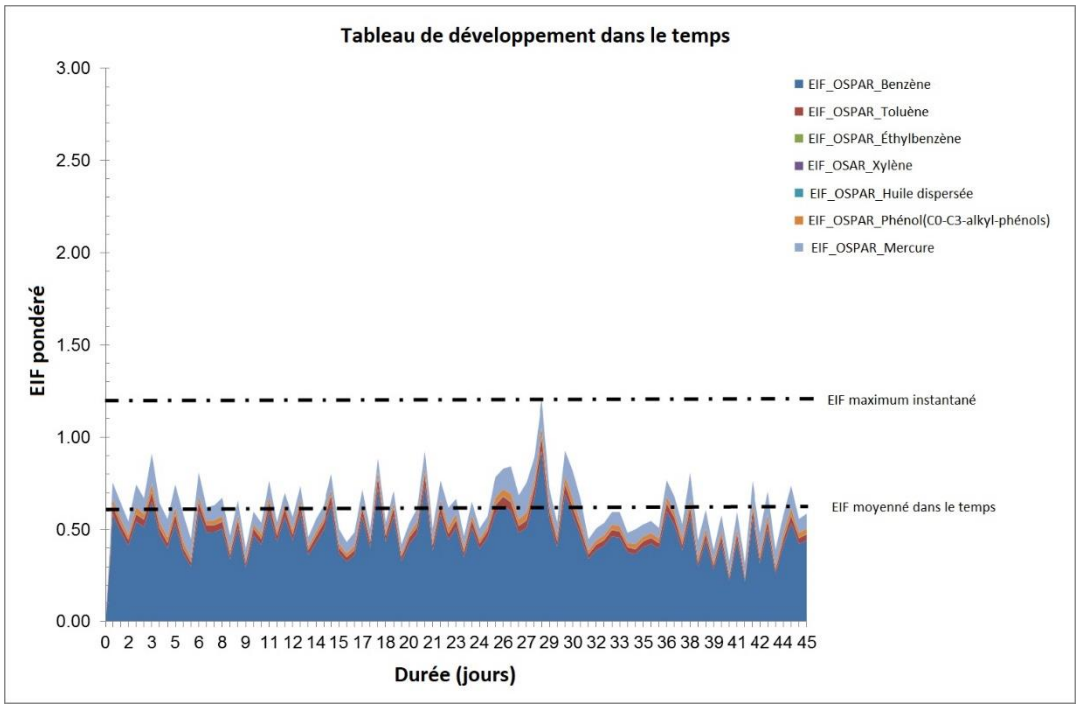
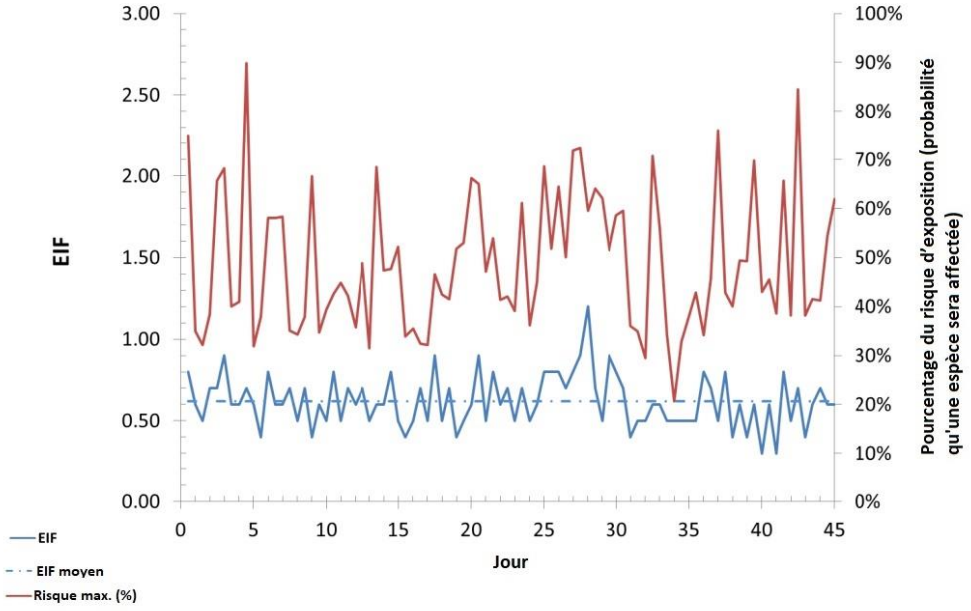


Figure C.3 Scénario 1 - Series temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.4 **Scénario 1 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement dans la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse**

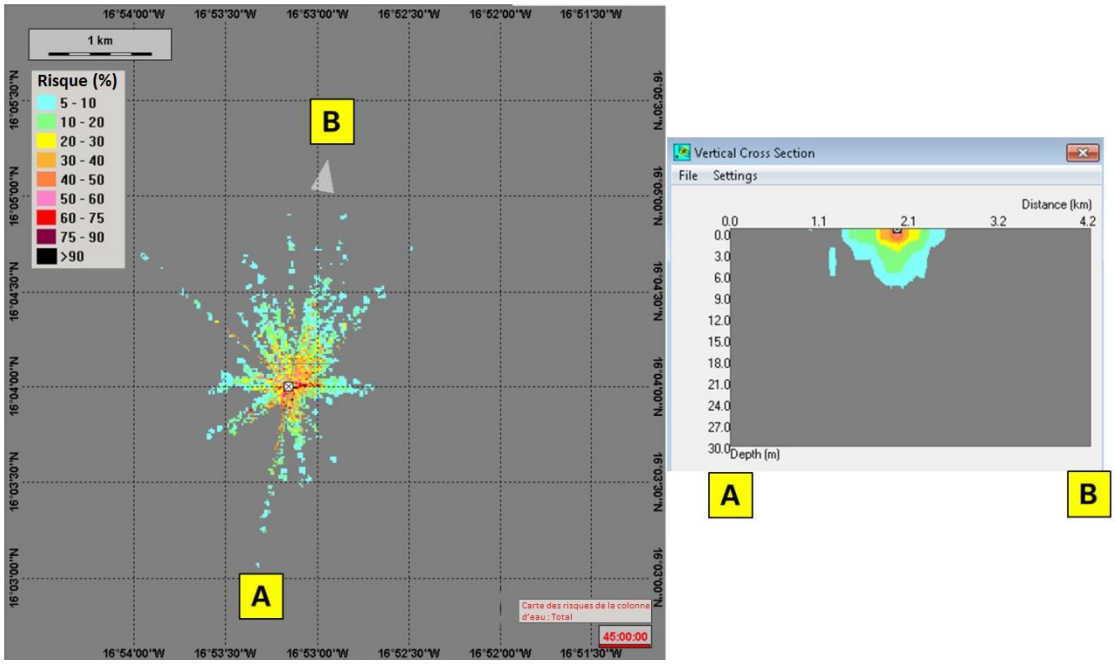
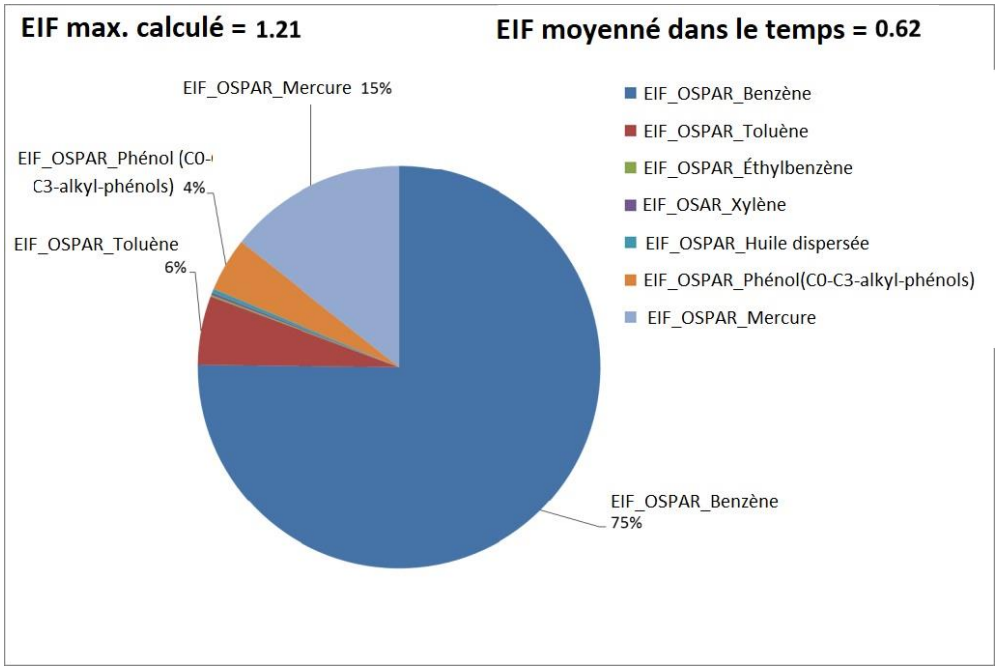


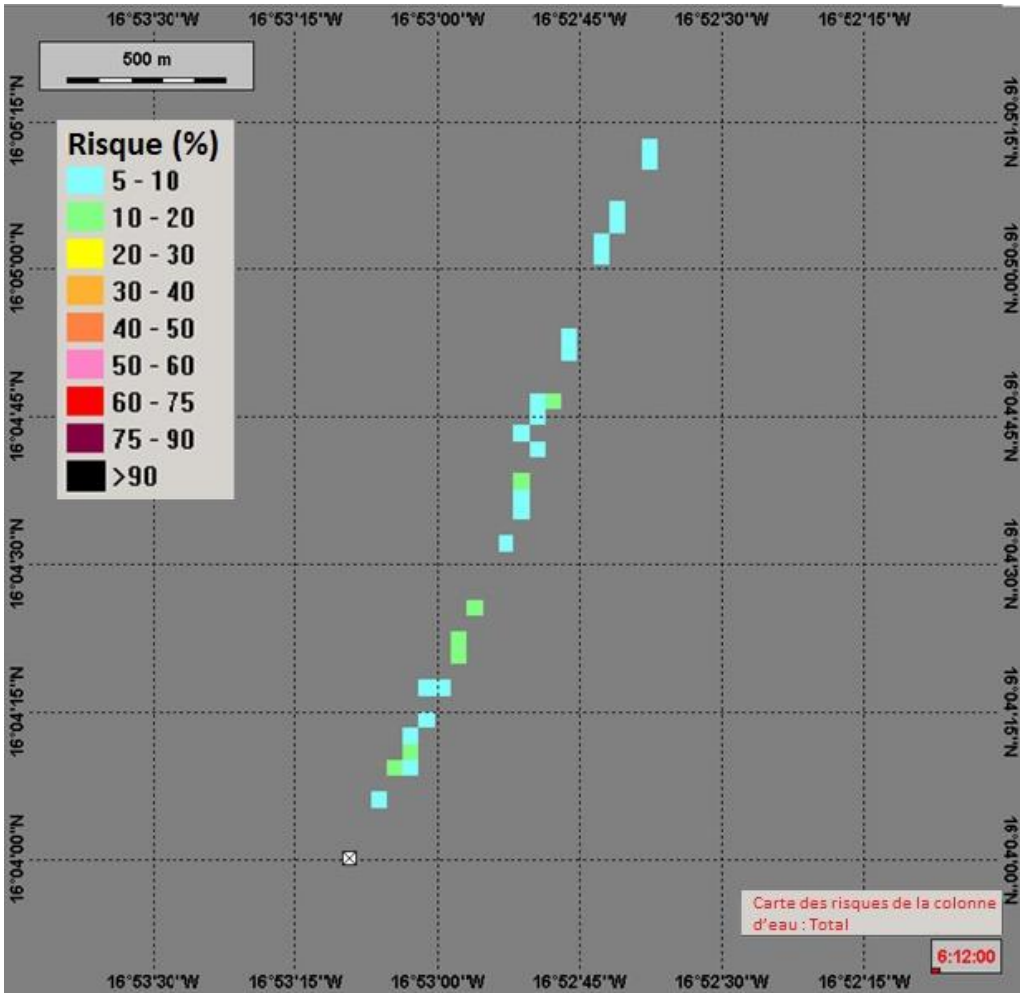
Figure C5 **Scénario 1 - Diagramme circulaire montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum suite au rejet continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.**



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

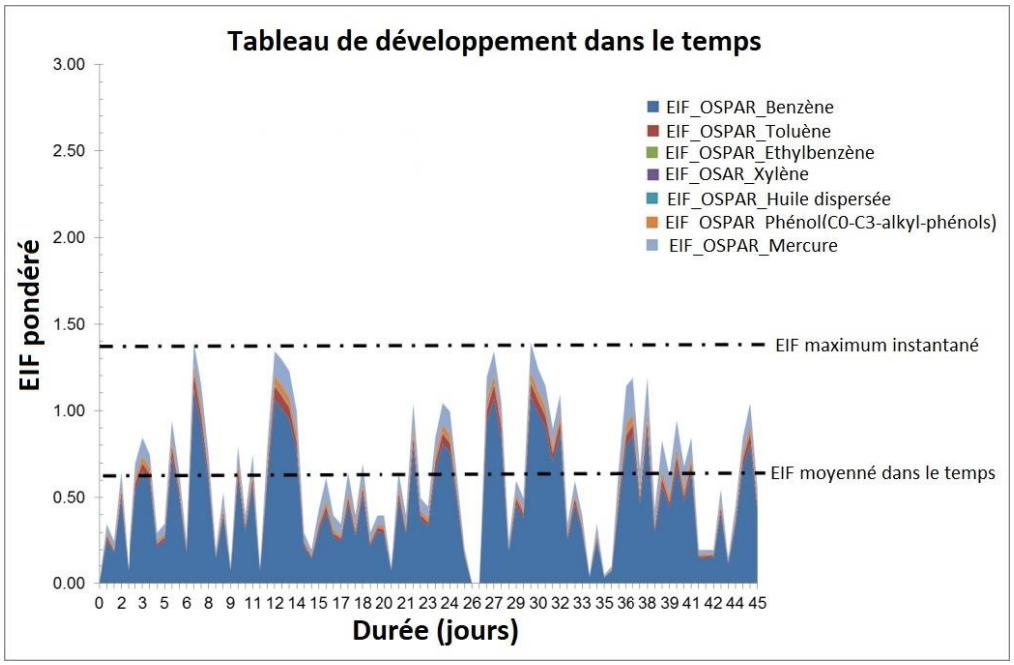
C.2 Scénario 2

Figure C.6 Scénario 2 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 1,39, 1,39 x 10^{-4} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentration BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée



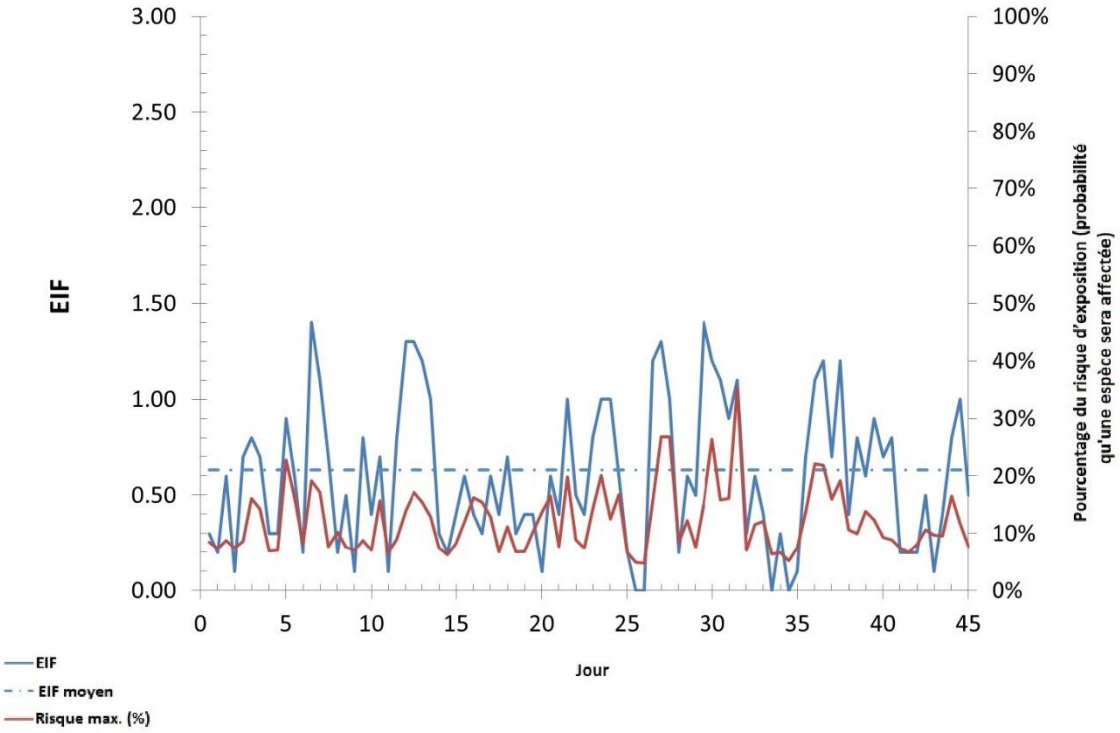
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.7 Scénario 2 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant dans le déversement continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



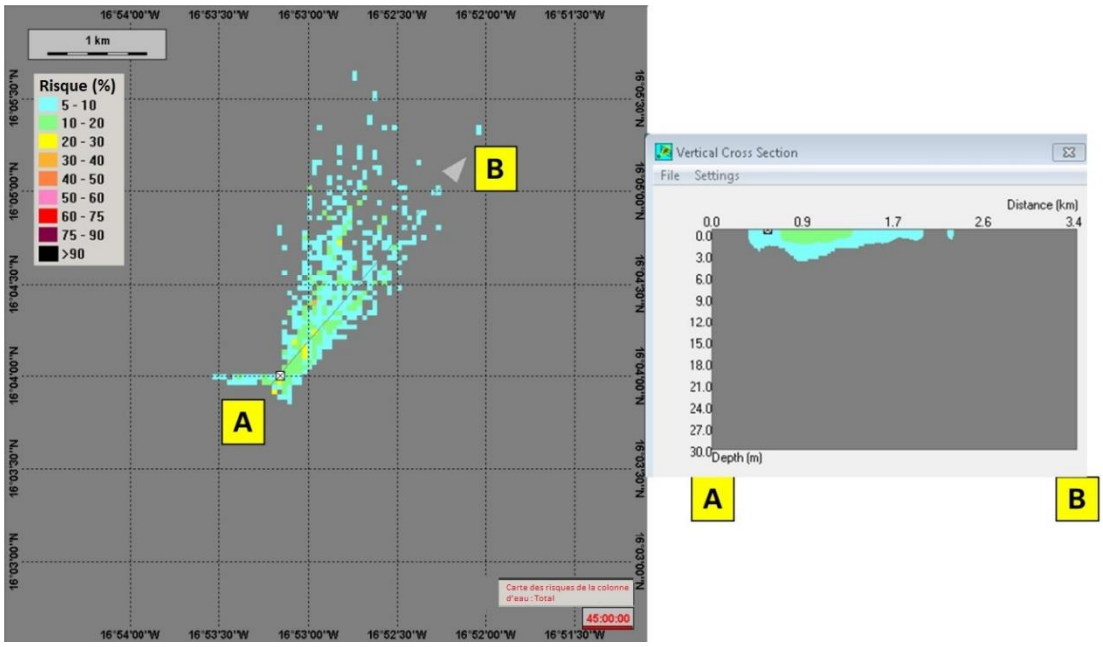
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.8 **Scénario 2 - Series temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.**



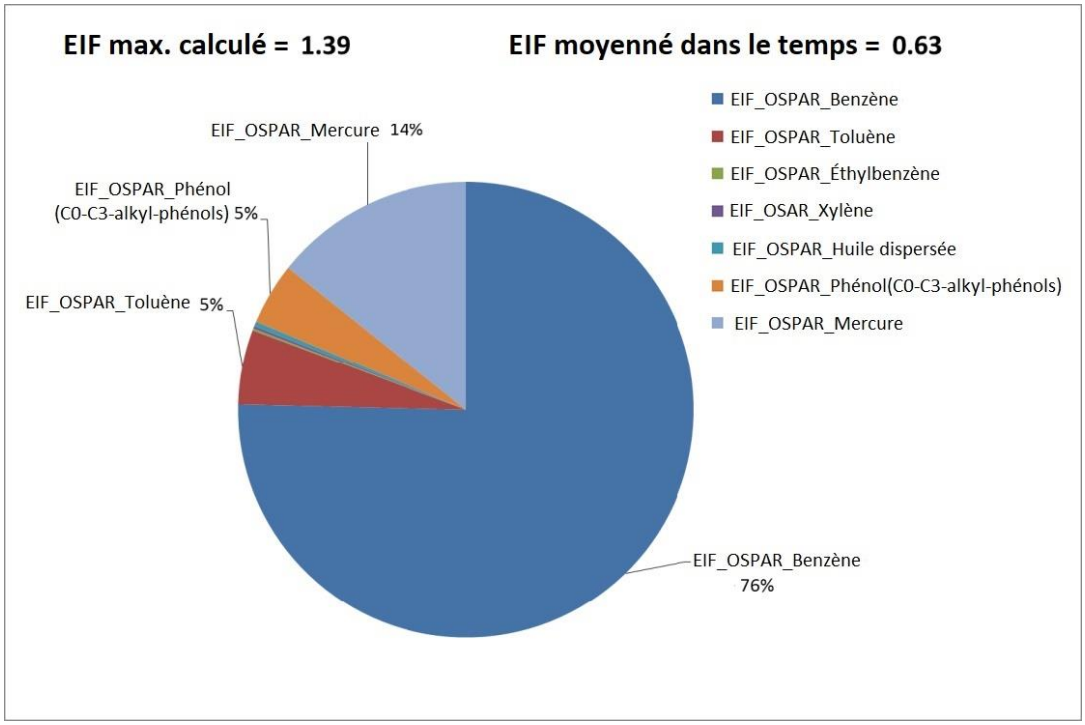
© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.9 Scénario 2 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement de la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

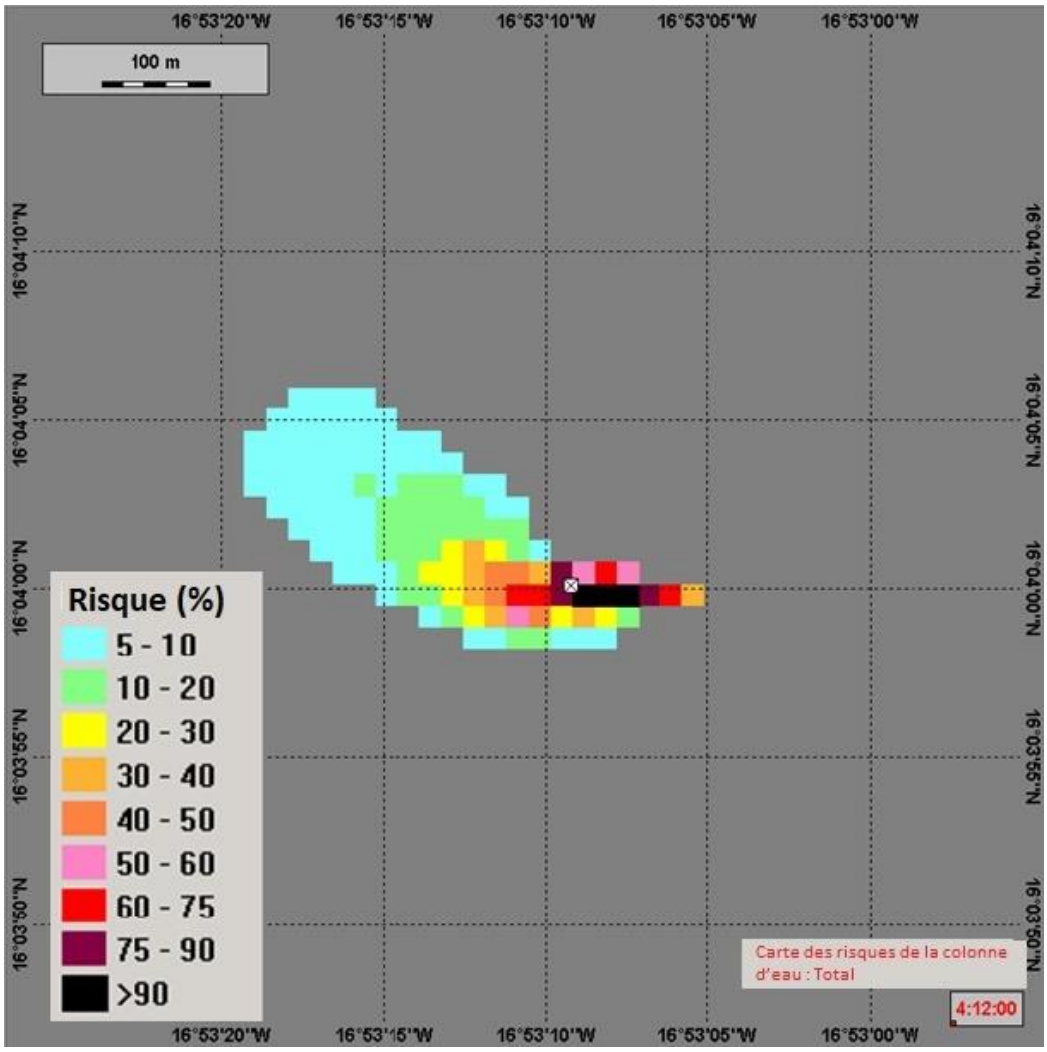
Figure C10 Scénario 2 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum suite au rejet continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

C.3 Scénario 3

Figure C.11 Scénario 3 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 2,01, 2,01 x 10^{-4} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.12 Scénario 3 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant du rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.

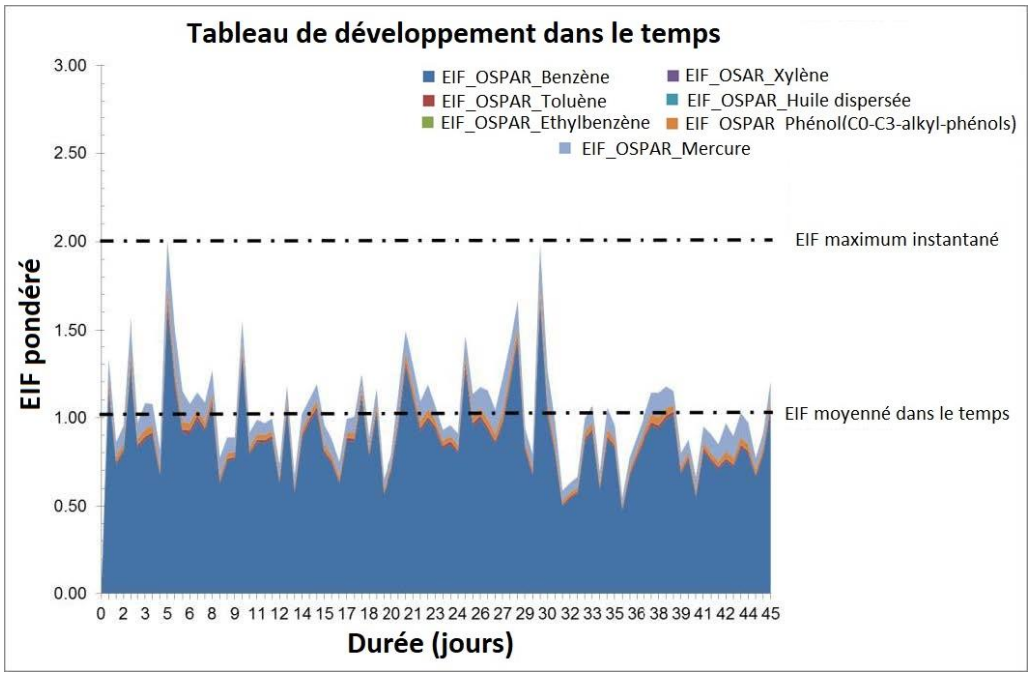
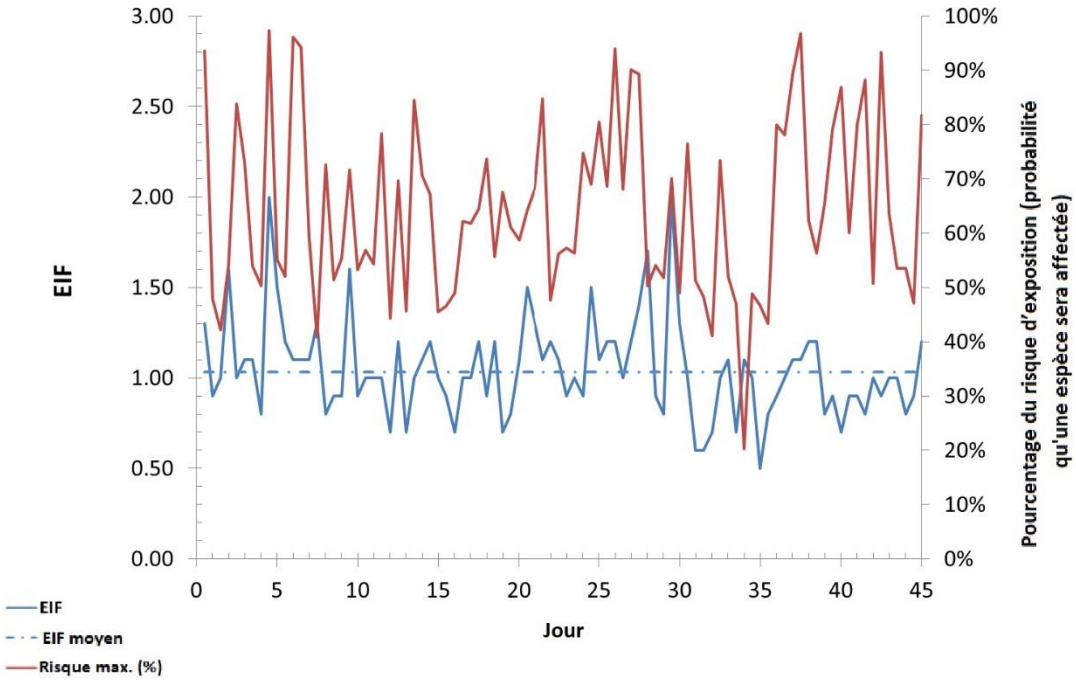
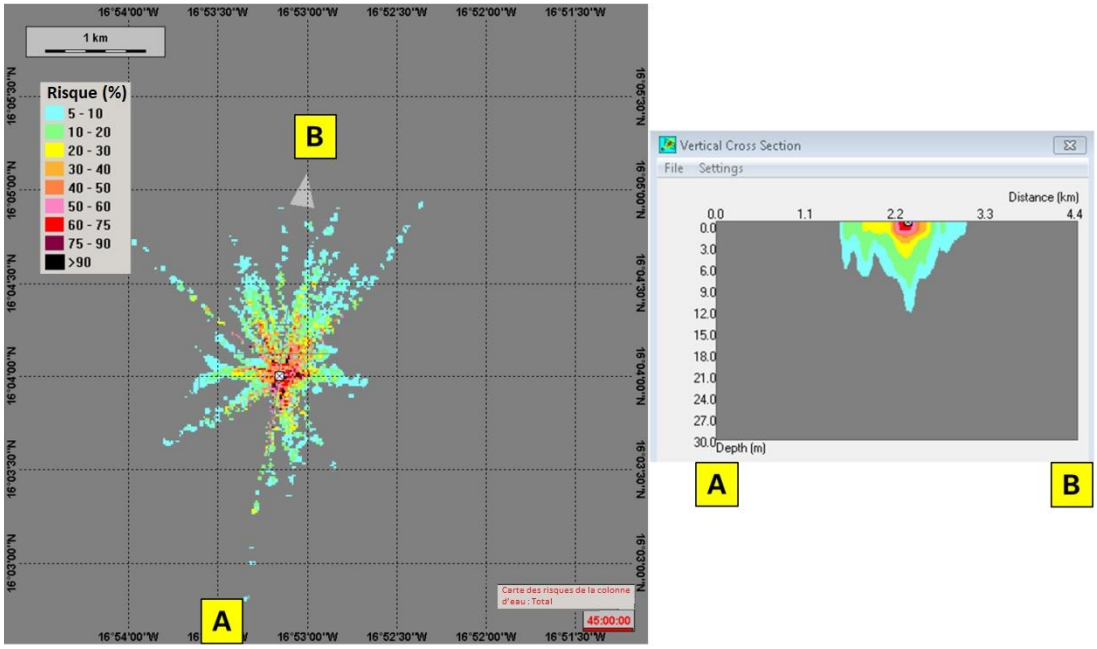


Figure C.13 Scénario 3 - Series temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



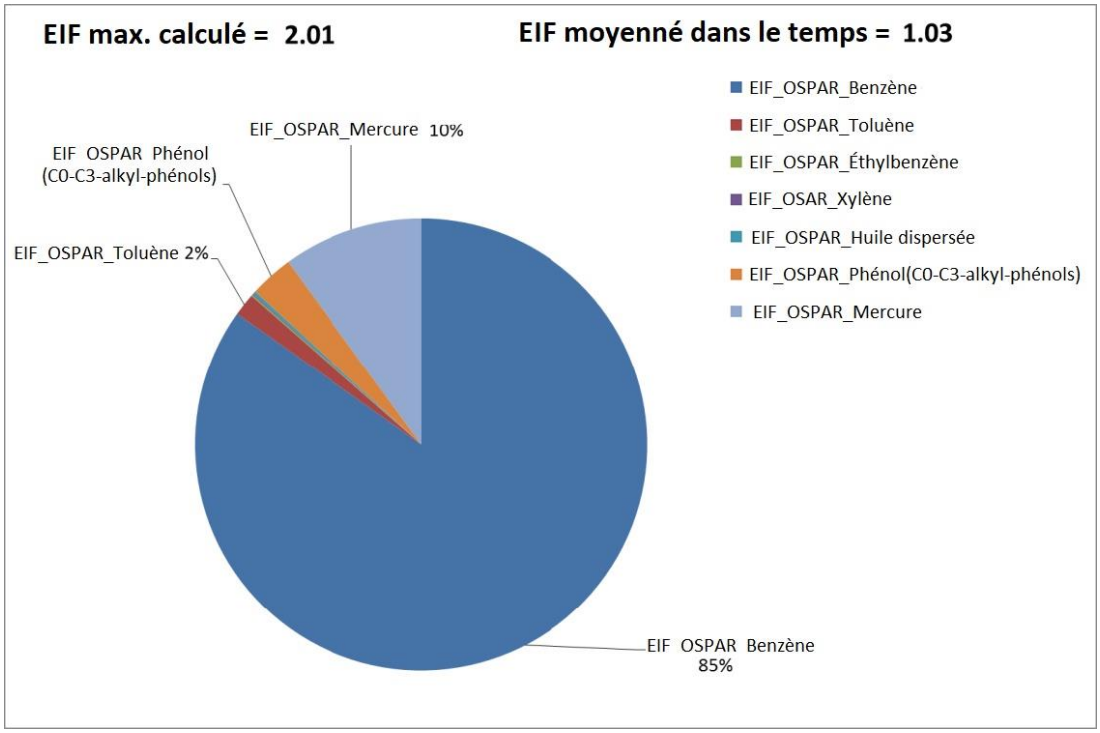
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.14 Scénario 3 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement de la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

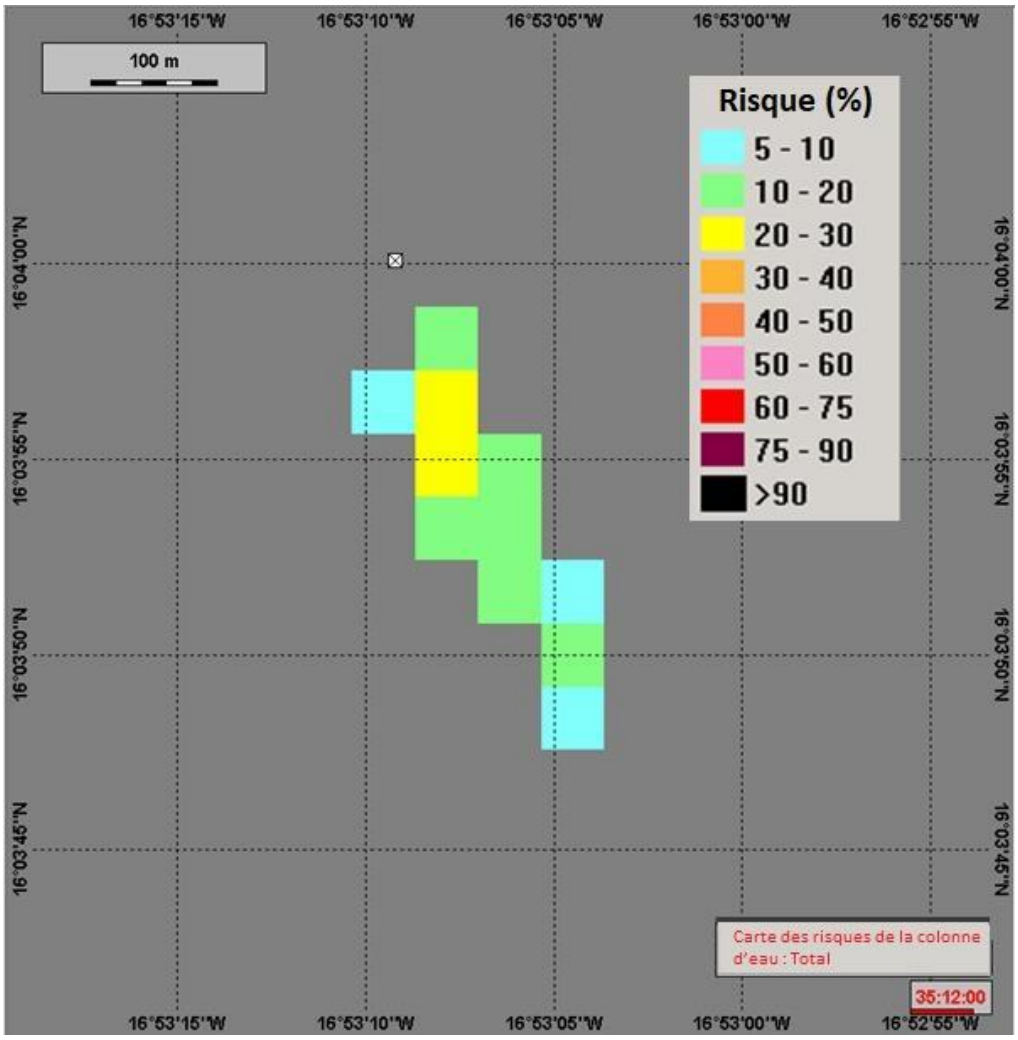
Figure C15 Scénario 3 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum suite au rejet continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

C.4 Scénario 4

Figure C.16 Scénario 4 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 2,12, 2,12 x 10^{-4} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée



© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.17 Scénario 4 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant du rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

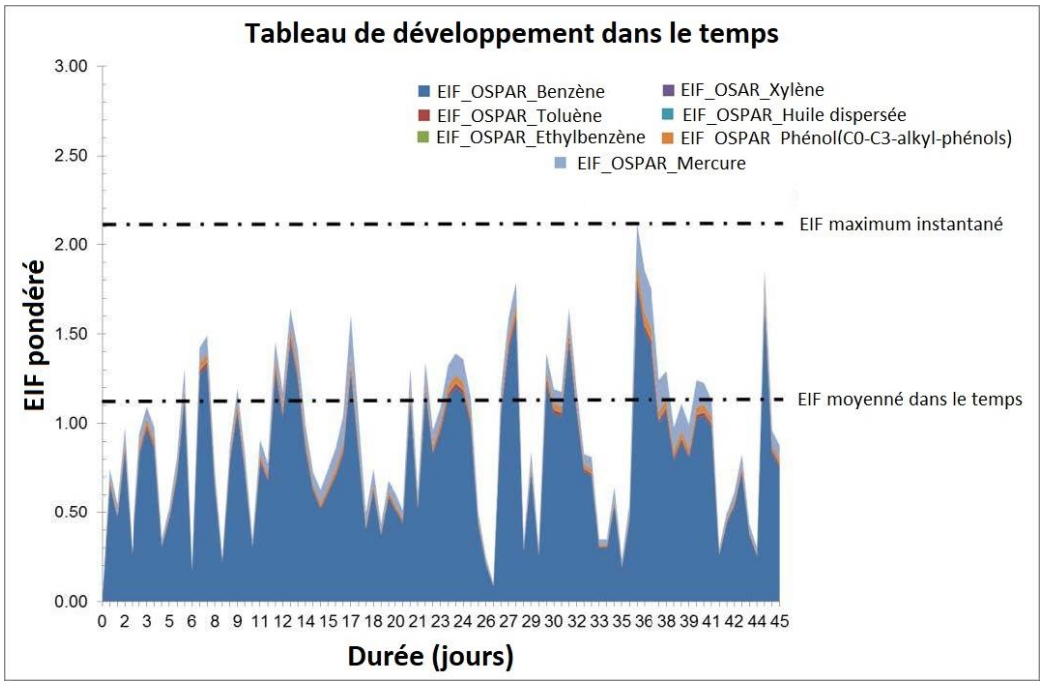


Figure C.18 Scénario 4 - Chronologie du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

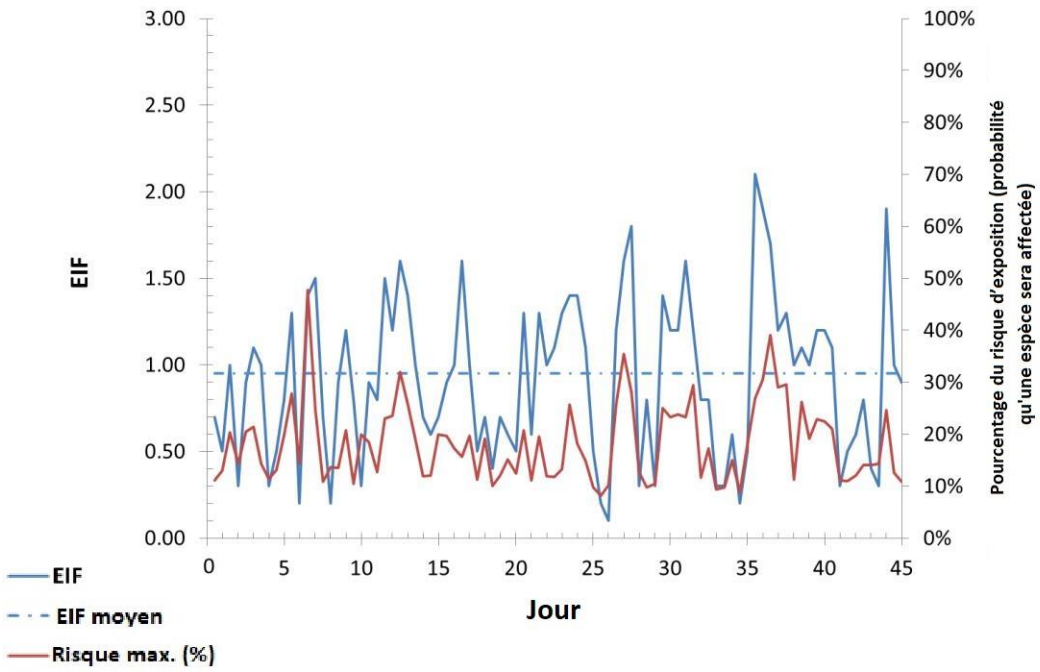


Figure C.19 Scénario 4 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement de la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} > 0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

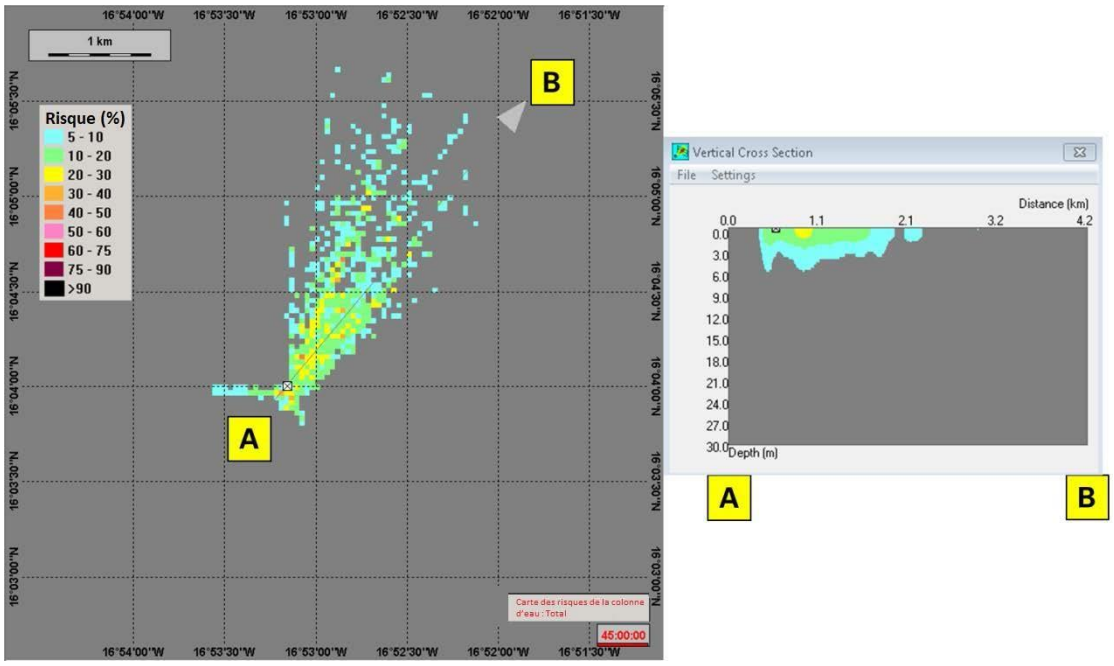
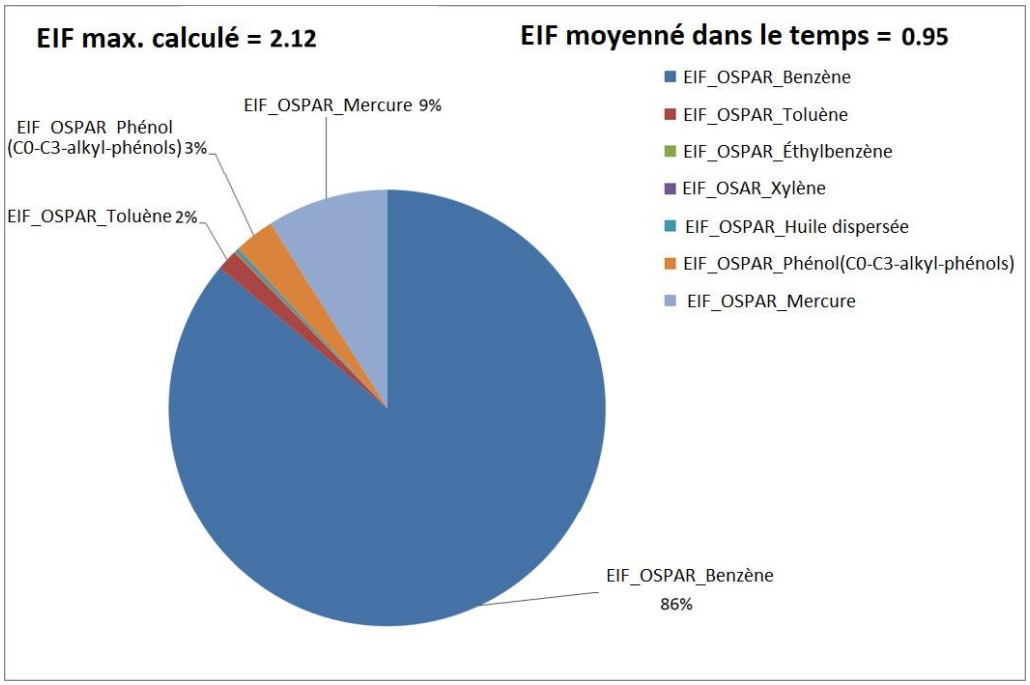


Figure C20 Scénario 4 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum suite au rejet continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes seulement (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

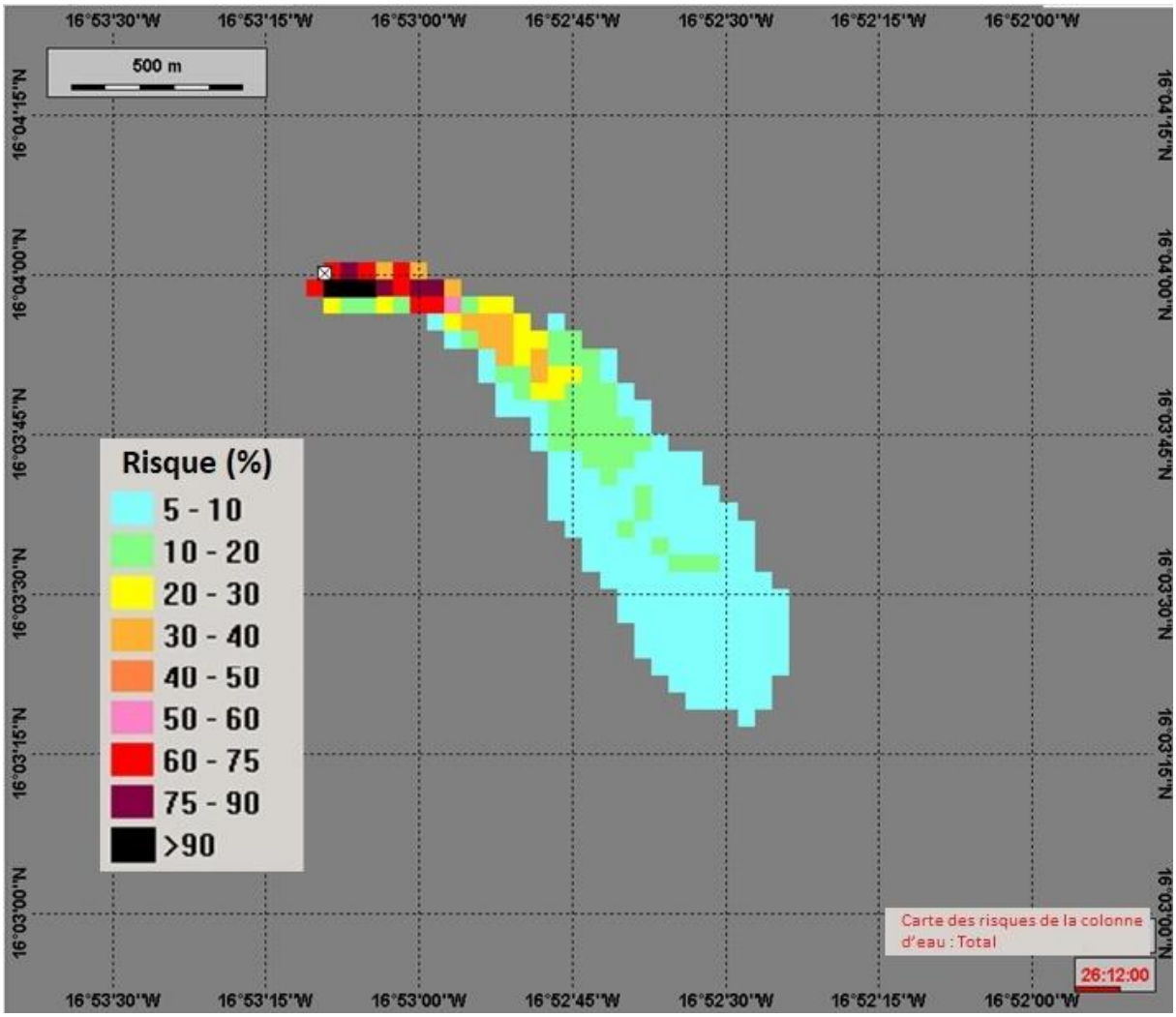
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

C.5 Scénario 5

Figure C.21 Scénario 5 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 34,36, 3,436 x 10^{-3} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse



© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.22 Scénario 5 - Séries temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant du rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.

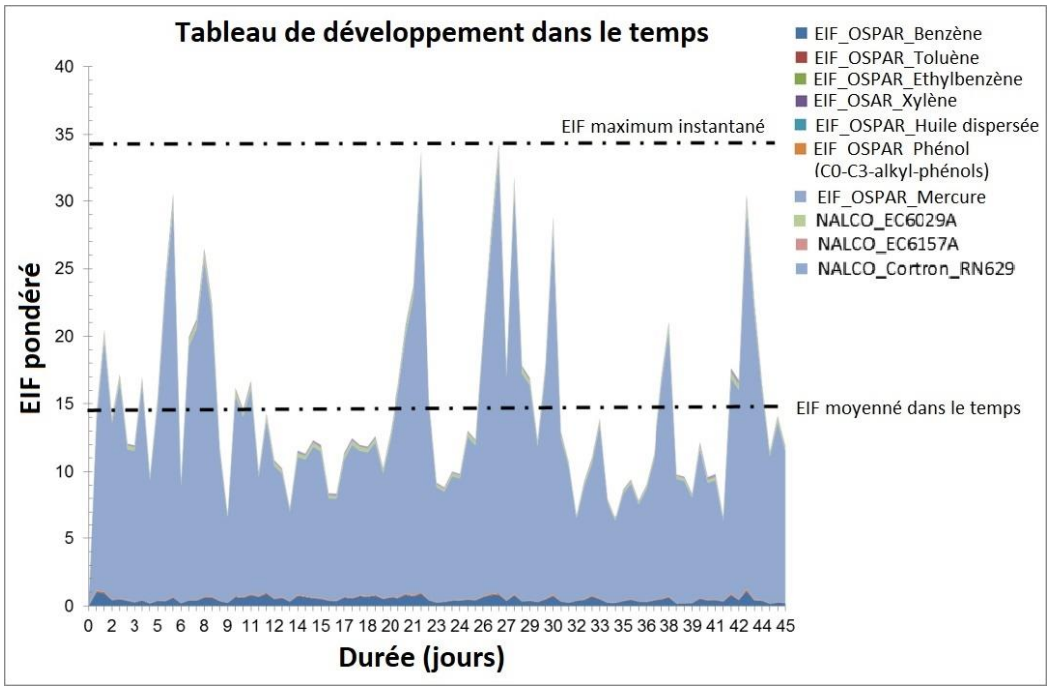
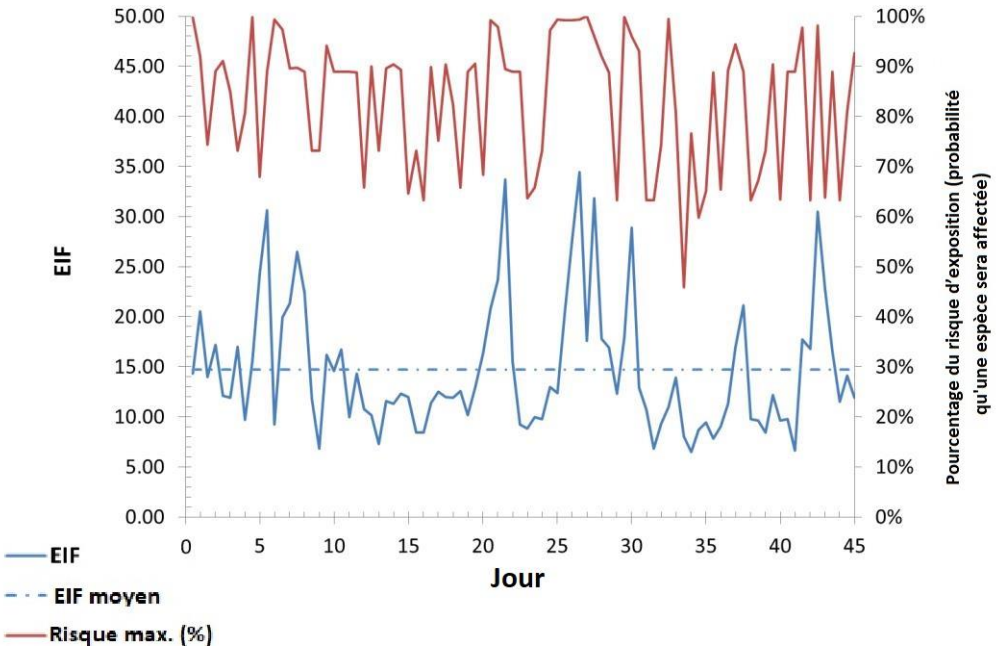


Figure C.23 Scénario 5 - Séries temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.24 Scénario 5 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement de la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse

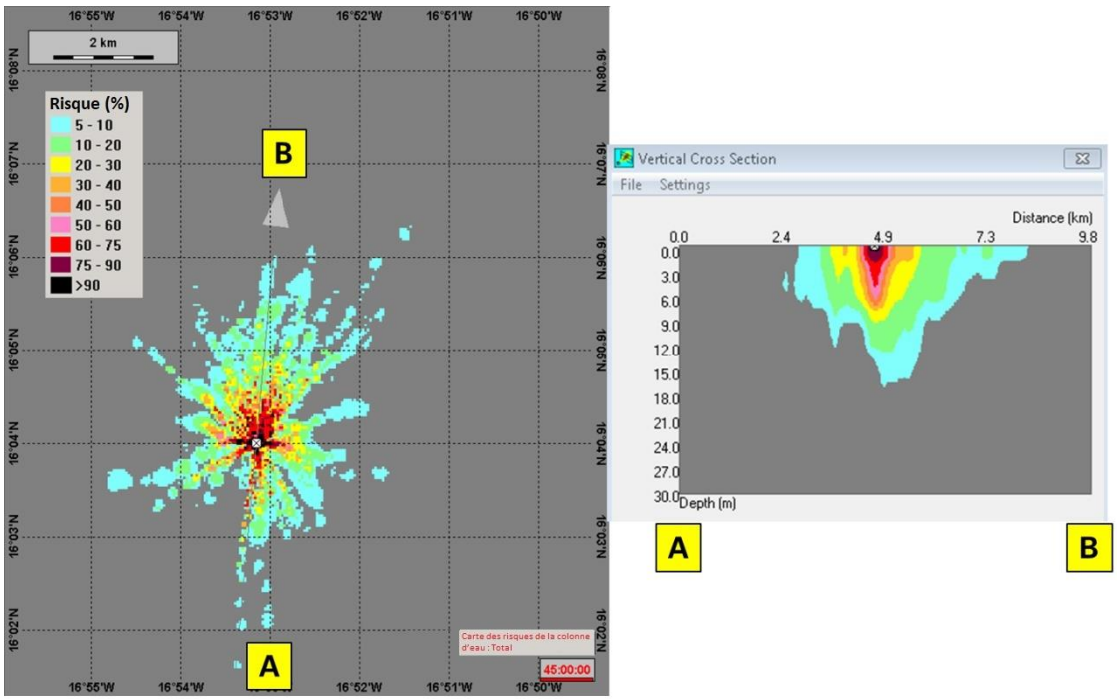
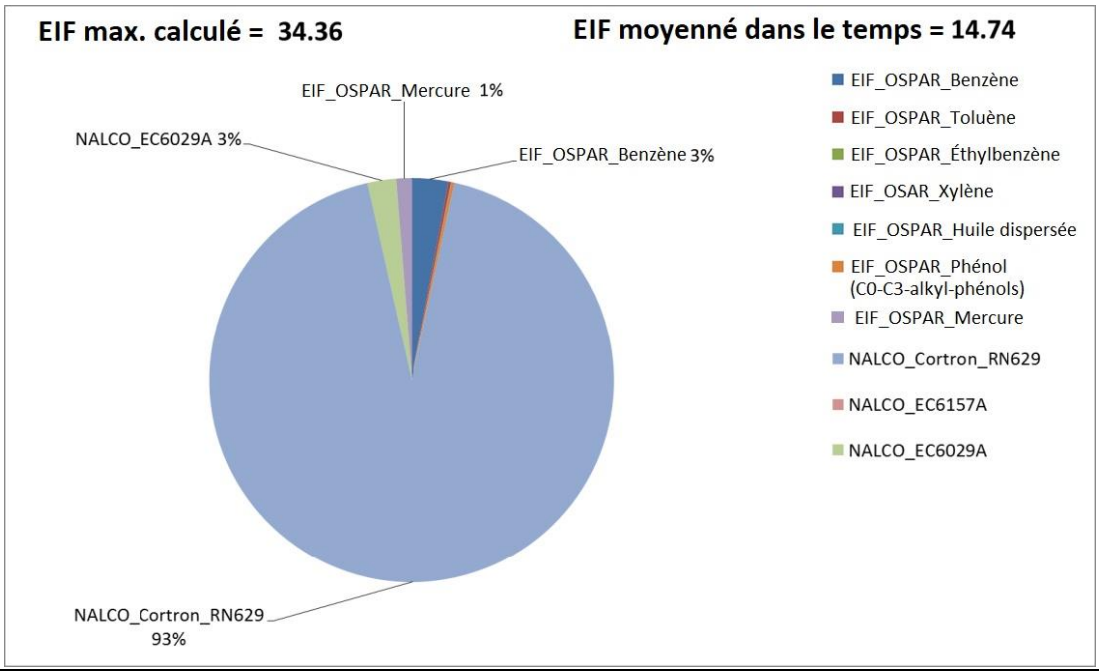


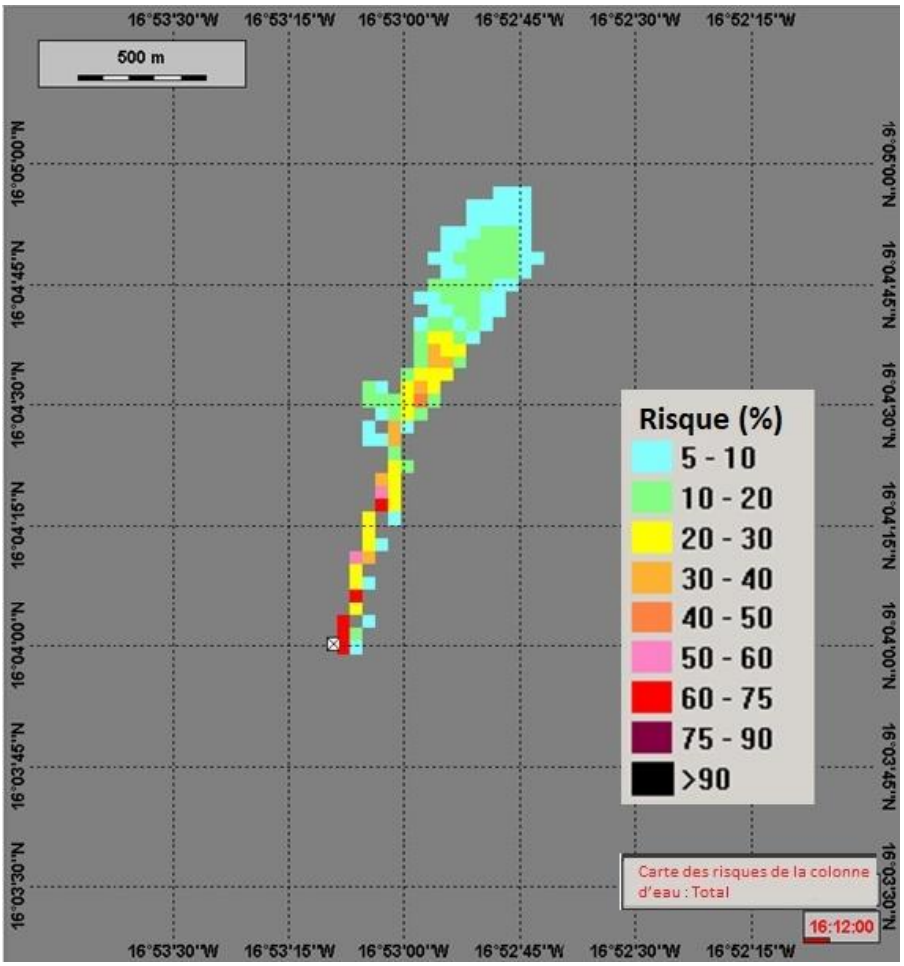
Figure C25 Scénario 5 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum suite au rejet continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

C.6 Scénario 6

Figure C.26 Scénario 6 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 18,93, 1,893 x 10^{-3} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.27 Scénario 6 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant du rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, taux de déversement d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

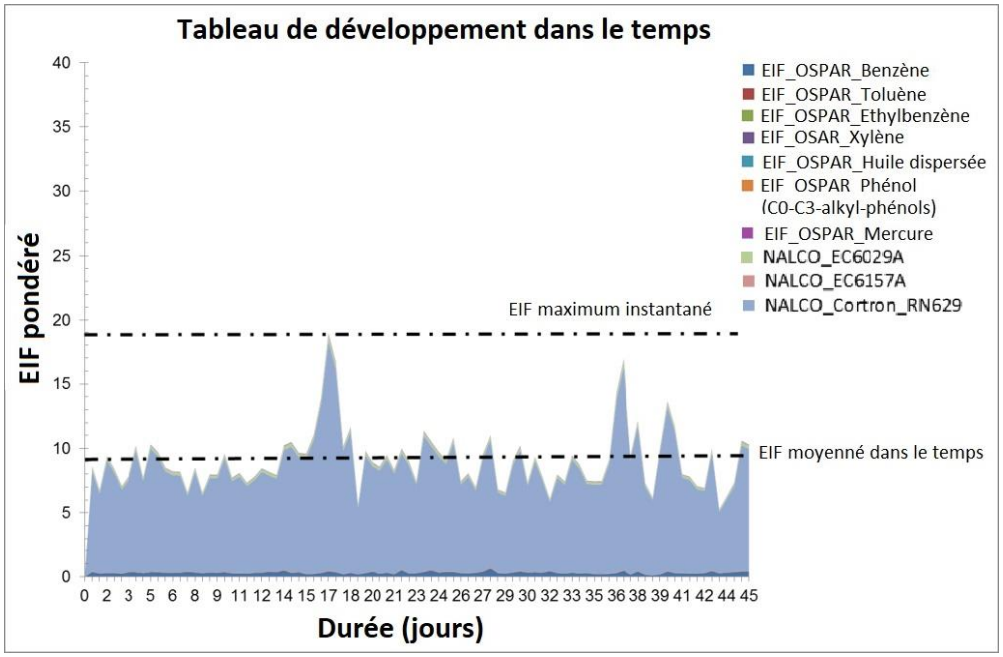
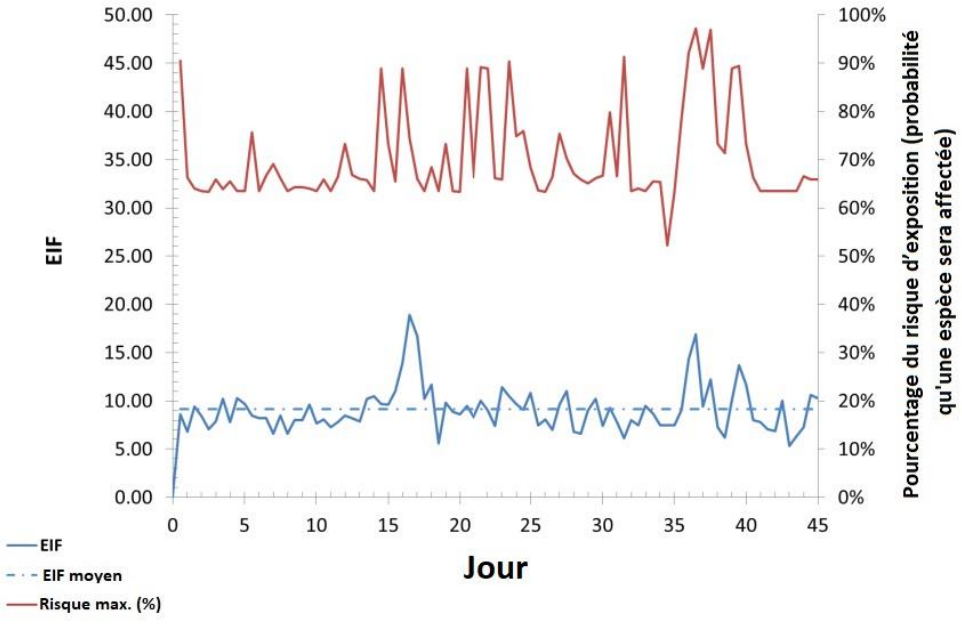


Figure C.28 Scénario 6 - Series temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.29 Scénario 6 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement dans la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

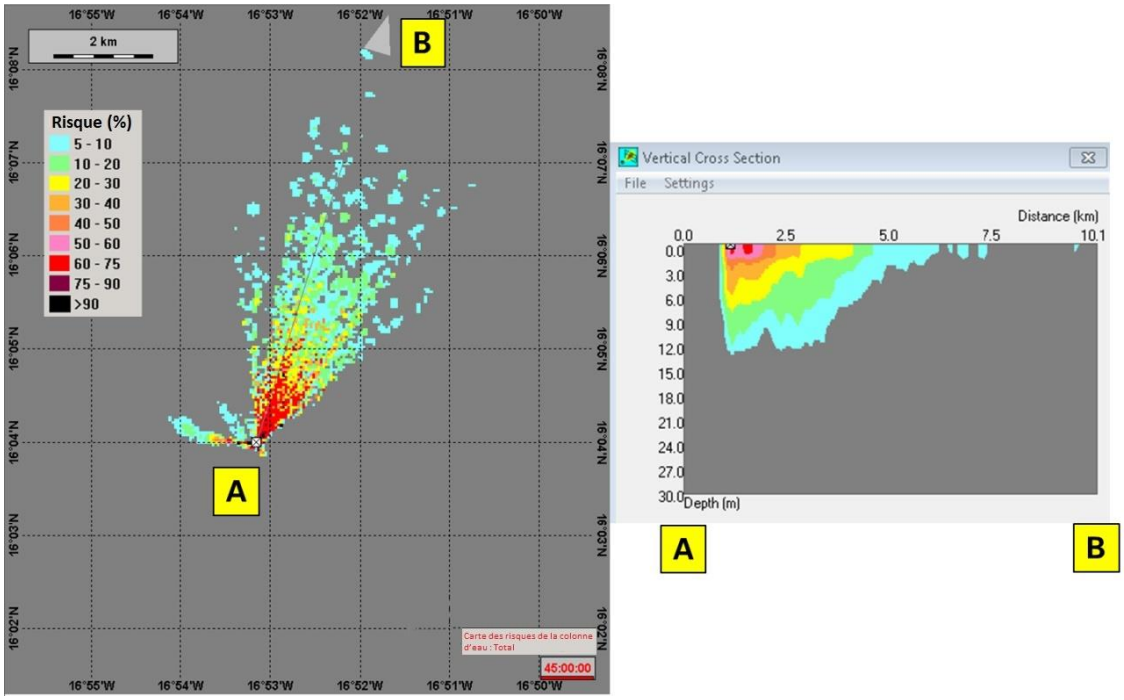
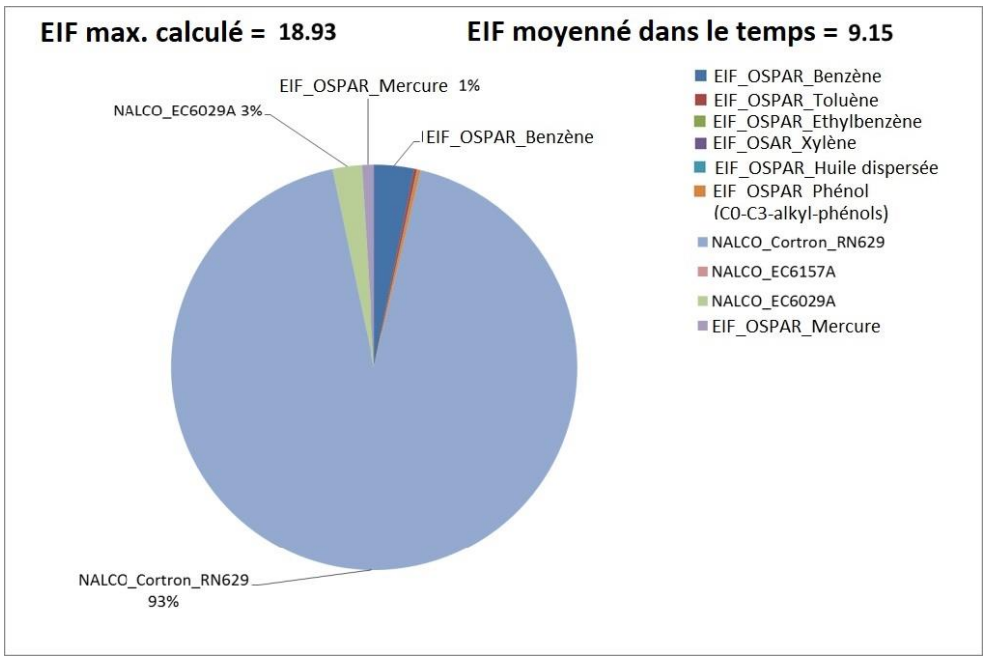


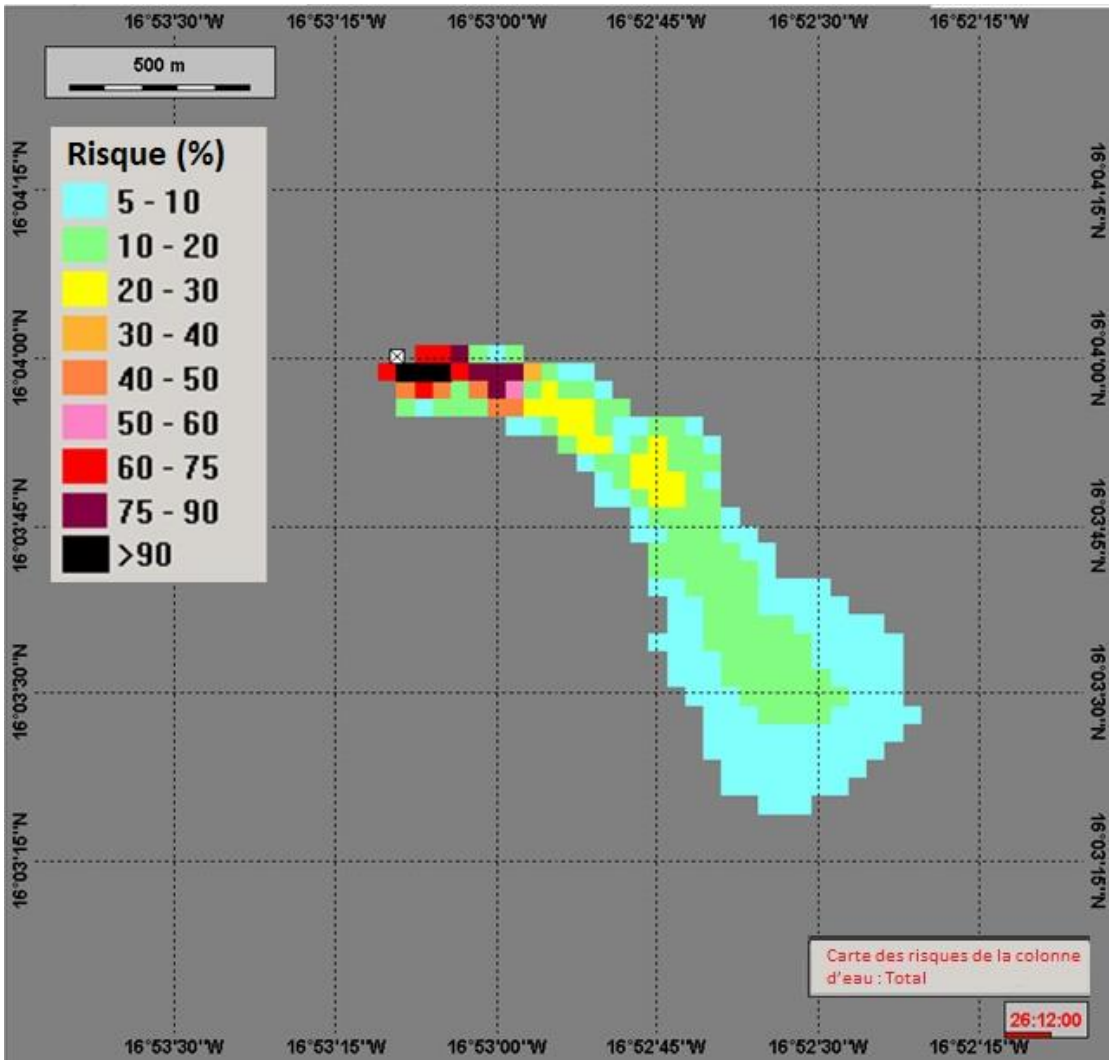
Figure C30 Scénario 6 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum après le déversement continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentrations BTEX du cas de base, débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

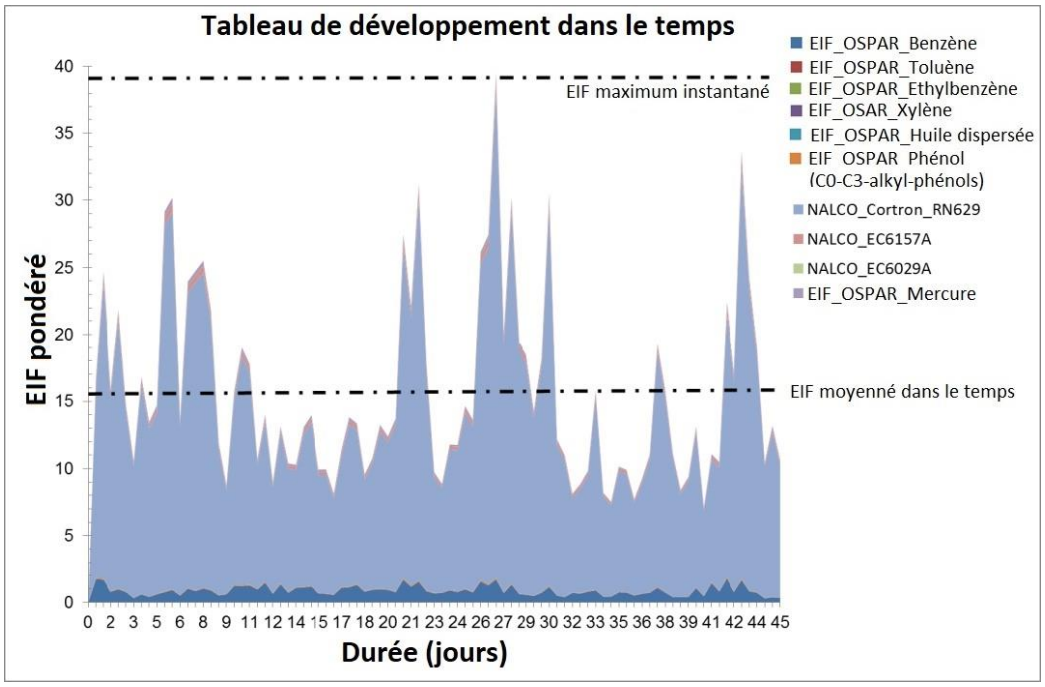
C.7 Scénario 7

Figure C.31 Scénario 7 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 39,55 ; 3,955 x 10^{-3} km^3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse



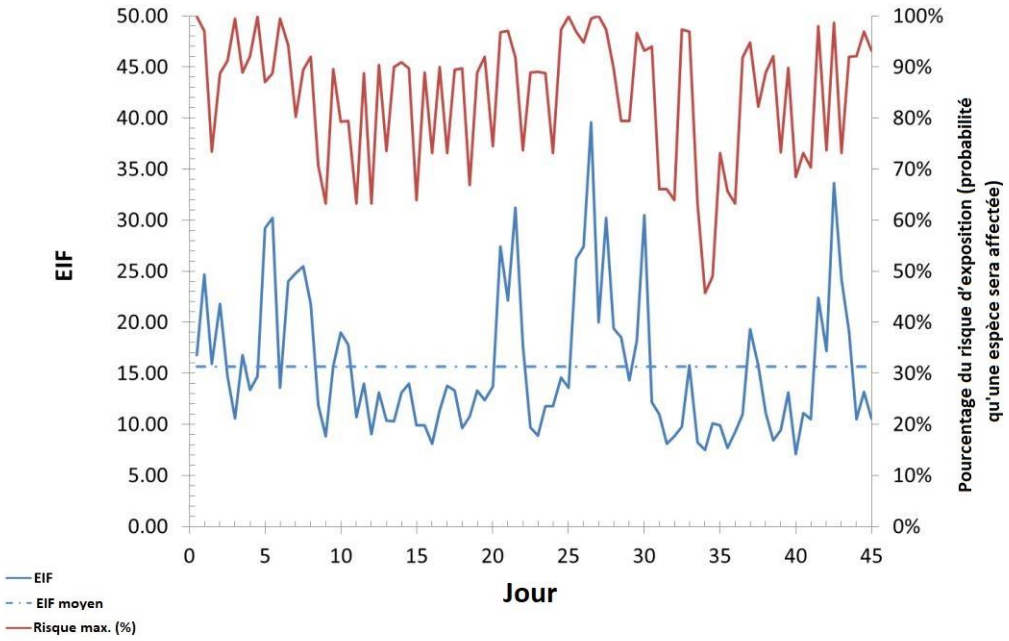
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.32 Scénario 7 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant dans le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



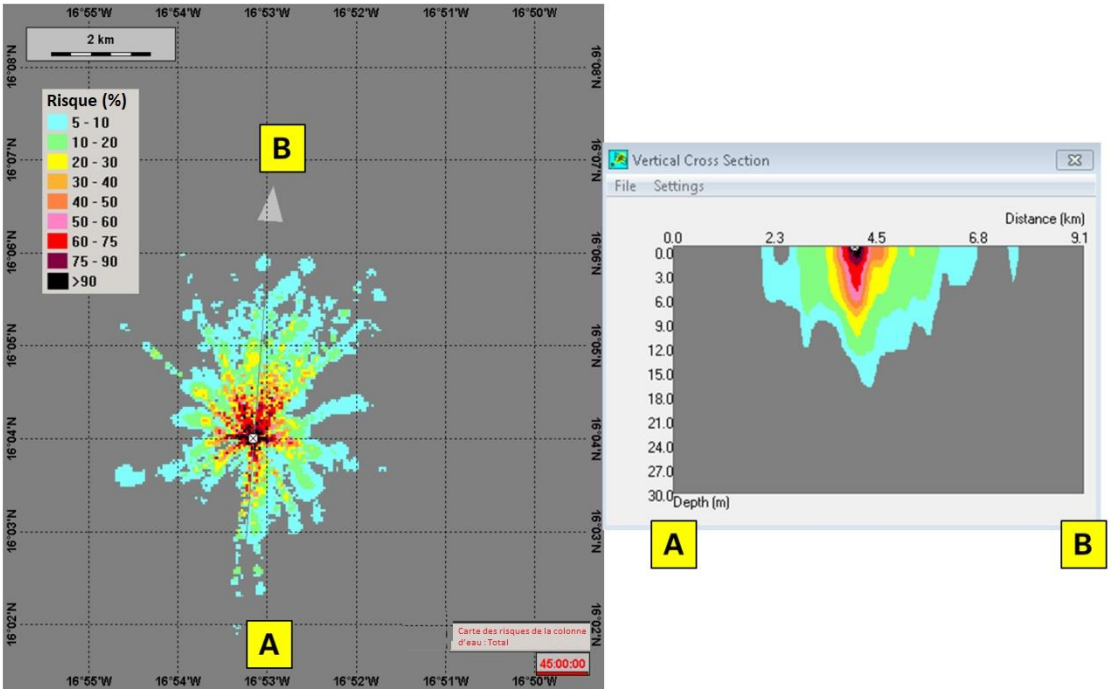
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.33 Scénario 7 - Series temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



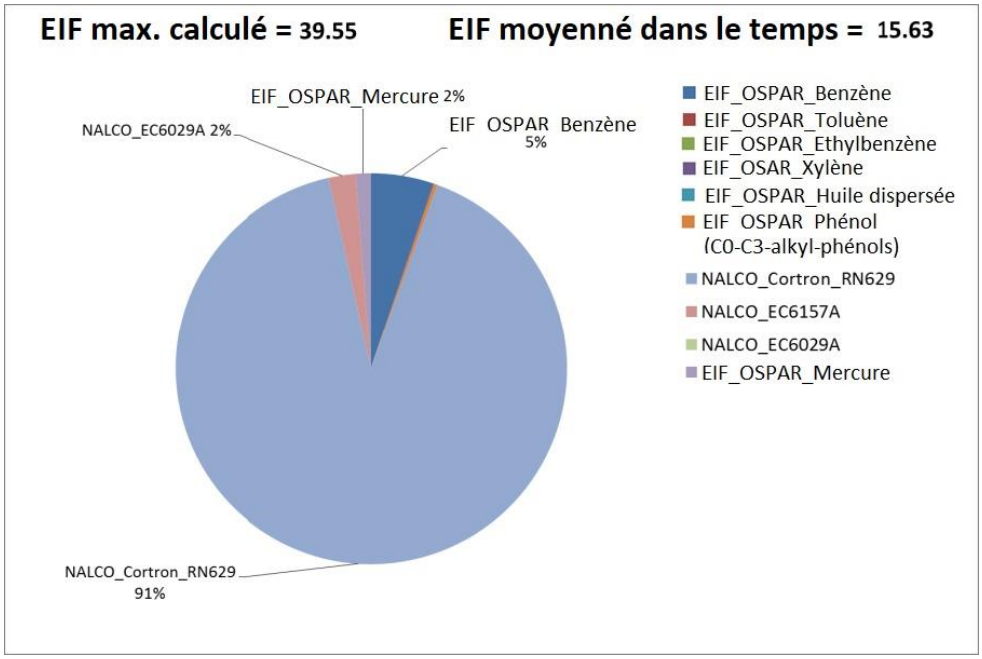
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.34 Scénario 7 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement dans la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

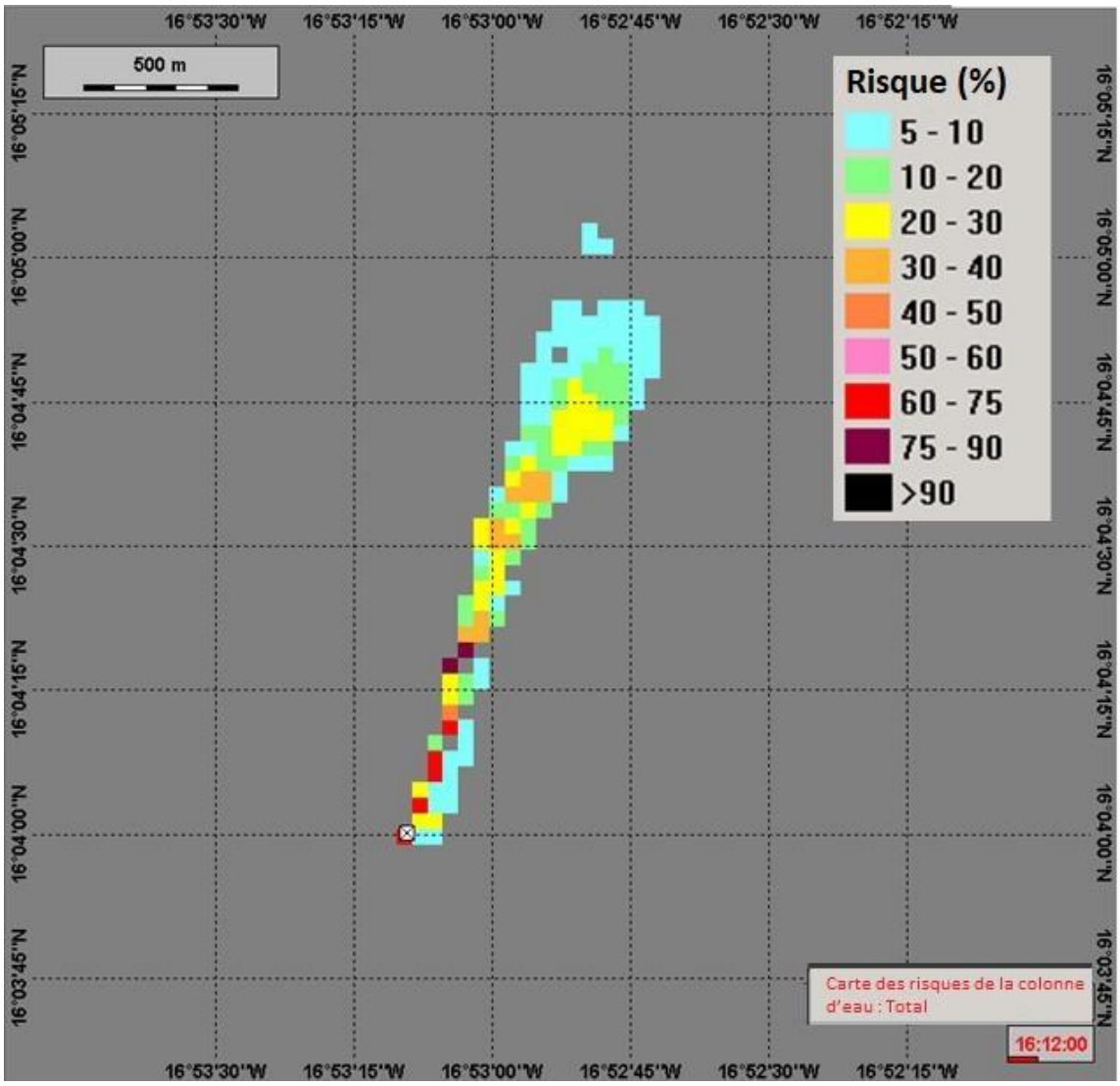
Figure C35 Scénario 7 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum après le déversement continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus basse.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

C.8 Scénario 8

Figure C.36 Scénario 8 - Carte instantanée au moment du risque d'exposition environnementale maximum dans la colonne d'eau ≥ 5 % (EIF_{WC} = 20,10 ; 2,010 x 10^{-4} km3) sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée



© BP p.l.c.
Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.37 Scénario 8 - Series temporelles du facteur EIF_{WC} dans la colonne d'eau, montrant la contribution de chaque composant dans le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.

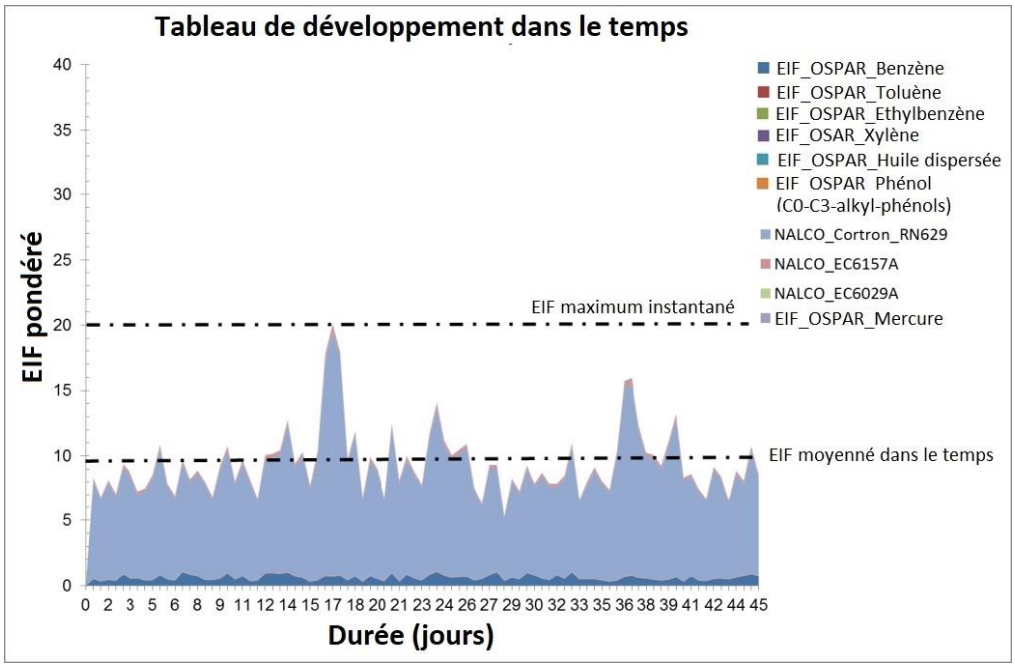
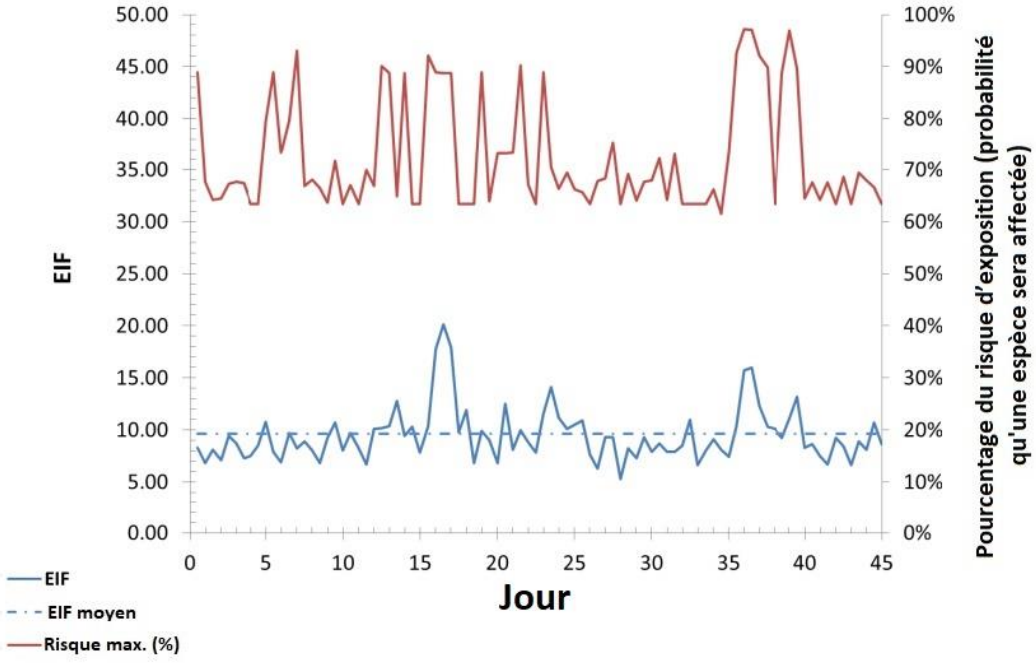
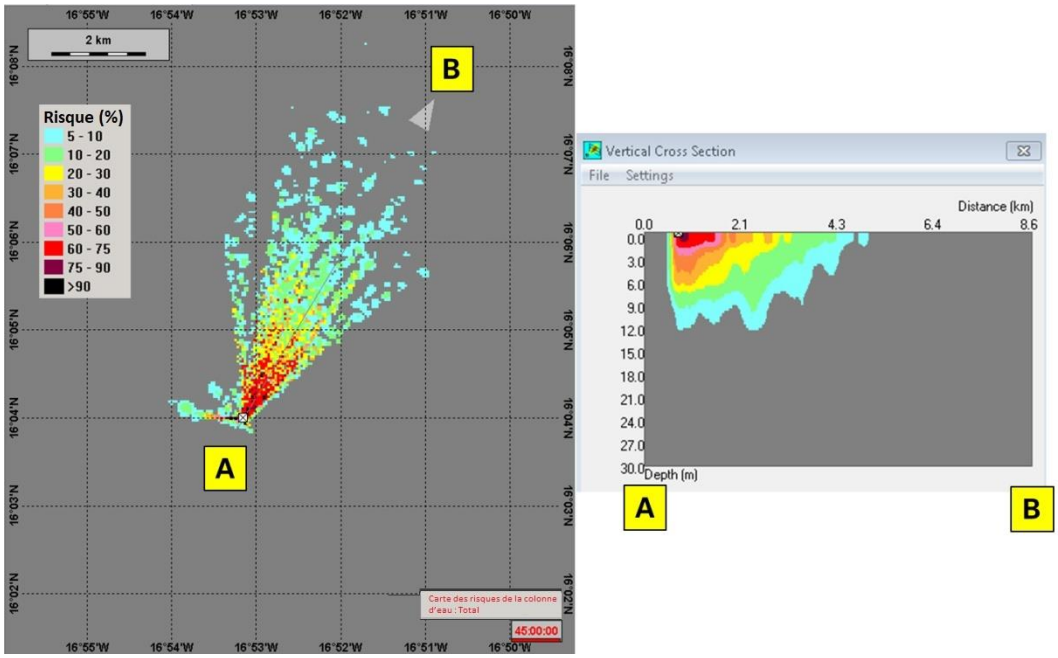


Figure C.38 Scénario 8 - Series temporelles du risque maximum et du facteur EIF_{WC} (risque ≥ 5 %) dans la colonne d'eau pour le rejet continu d'eau produite sur la période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



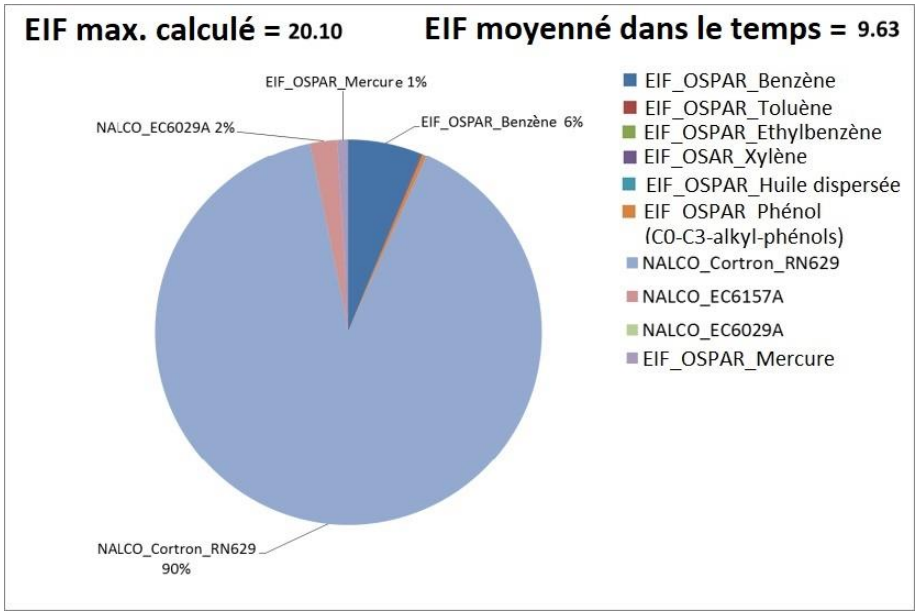
© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C.39 Scénario 8 - Carte montrant l'étendue spatiale du risque d'exposition environnementale maximum à n'importe quel emplacement dans la colonne d'eau (≥ 5 % [EIF_{WC} >0]) sur une période de simulation de 45 jours (tous pas de temps compris) pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj), dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

Figure C40 Scénario 8 - Diagramme circulaire et tableau montrant les contributions au facteur EIF_{WC} de chaque contaminant du rejet au moment du facteur EIF_{WC} maximum après le déversement continu d'eau produite sur une période de simulation de 45 jours pour les substances naturellement présentes et les additifs chimiques (cas de concentration BTEX « élevée », débit de rejet d'eau produite de 625 bpj) dans le pire cas et les conditions de vitesse de courant ambiant la plus élevée.



© BP p.l.c. Informations internes de BP
Non contrôlé lorsqu'il est imprimé ou enregistré localement

ANNEXE L : RAPPORT DE MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES BOUES ET DES DÉBLAIS DE FORAGE

Applied Science Associates
un membre de RPS Group plc

55 Village Square Drive
South Kingstown, RI 02879 États-Unis
Tél. : +1 401 789 -6224
Téléc. : +1 401 789 -1932

www : www.rpsgroup.com
www : www.asascience.com

Rapport préliminaire

Modèle de dispersion des rejets de forage : champ A/G, région offshore de la Mauritanie/du Sénégal

AUTEUR(S) : Dan Torre, Nathan Vinhateiro, Alicia Morandi, Stephanie Berkman, Sitara Baboolal, Tayebeh Bakhsh, Eric Comerma

Chargé de projets : Nathan Vinhateiro

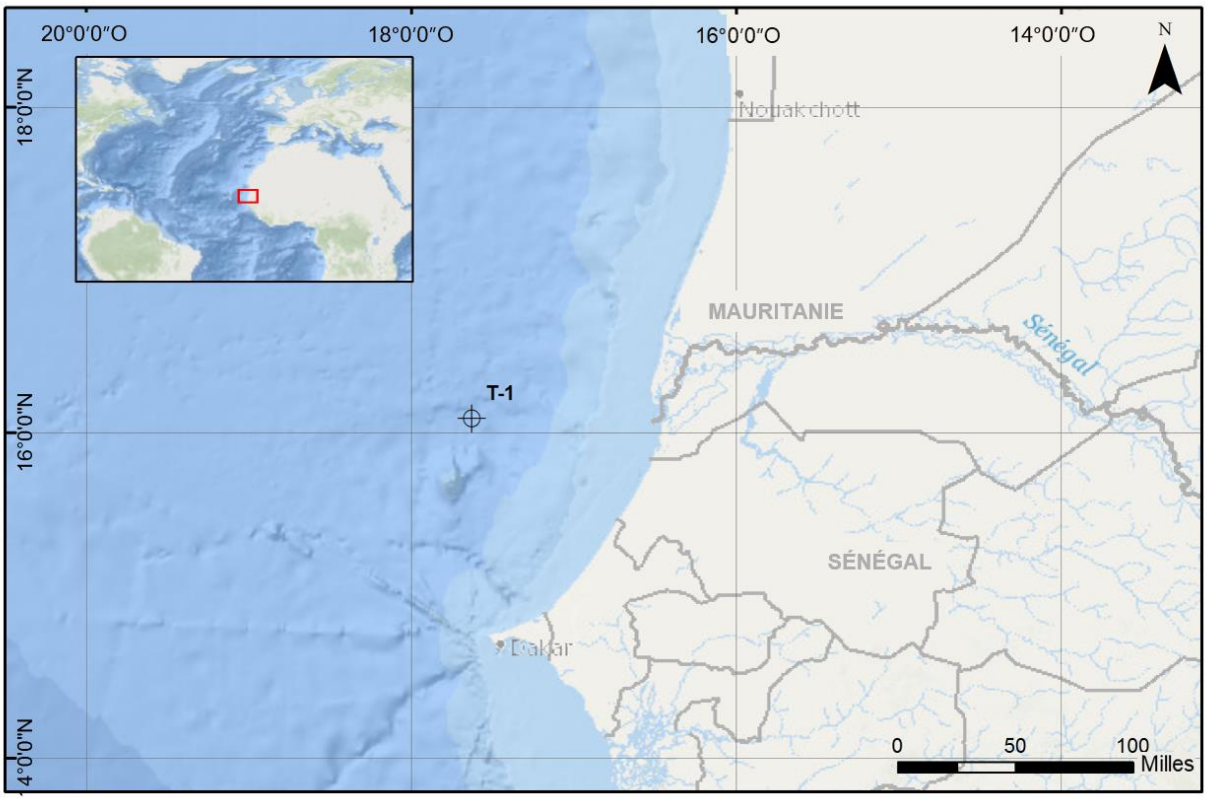
NUMÉRO DE PROJET : 17-000701

VERSION : V3

DATE : 18 déc. 2017

CLIENT :

Brian Balcom
CSA Ocean Sciences Inc., Salinas (Californie)



Formulaire de contrôle des documents

Titre :

« Modèle de dispersion des rejets de forage : champ A/G, région offshore de la Mauritanie/du Sénégal »

Lieu et opérateur :

Champ gazier A/G, BP

Numéro de projet ASA :

17-000701 CSA (BP) Mauritanie/Sénégal

Liste des auteurs :

- Dan Torre, chimiste de l'environnement
- Nathan Vinhateiro, PhD, océanographe
- Alicia Morandi, écologiste/analyste de l'environnement
- Stephanie Berkman, biologiste
- Sitara Baboolal, ingénieure en génie océanique
- Tayebeh Bakhsh, PhD, ingénieure en génie océanique
- Eric Comerma, PhD, ingénieur en génie océanique

Chargé de projets :

- Nathan Vinhateiro, PhD, océanographe

Version	Nom du fichier	Date de soumission	Notes
V1	17-000701_CSA_Mauritania/Senegal_Results_8Nov2017		Rapport préliminaire
V2	17-000701_CSA_Mauritania/Senegal_Report_22Nov2017	22 nov. 2017	Rapport préliminaire avec tâche n° 2
V3	17-000701_CSA_Mauritania/Senegal_Report_18Dec2017	18 déc. 2017	Rapport mis à jour en fonction des commentaires de BP

Avis de non-responsabilité :

Ce document pourrait contenir des renseignements confidentiels uniquement destinés à l''utilisation par le client, et ne doit pas être diffusé publiquement ou publié ni utilisé par un tiers sans le consentement du client. La modélisation numérique est de nature prédictive, et bien que le présent rapport soit fondé sur de l''information provenant de sources que Applied Science Associates, Inc. considère comme étant fiables, l'exactitude et le caractère exhaustif de ladite information ne peuvent être garantis. Par conséquent, Applied Science Associates, Inc., ses directeurs, représentants, cessionnaires et employés n'assument aucune responsabilité des résultats pour les mesures prises ou non prises en fonction des renseignements présentés dans ce rapport, et ne peuvent être tenus responsables de toute déclaration erronée, erreur et omission provenant d'une négligence. Ce rapport a été dressé en tenant compte des objectifs particuliers du client, de sa situation et de ses besoins.

Table des matières

1. Contexte du projet et emplacement géographique 6
2. Données d'entrée du modèle 8
2.1. Données MetOcean 8
2.2. Échéancier de forage 16
2.3. Caractéristiques des matières solides rejetées 17
3. Résultats de la modélisation 20
4. Dépôts cumulatifs sur le plancher océanique 27
4.1. Introduction 27
4.2. Contexte biologique 27
4.2.1. Effets de la sédimentation 27
4.2.2. Seuils de dépôt et rétablissement 28
4.3. Méthodes d'analyse géospatiale 30
4.4. Résultats des dépôts cumulatifs 33
4.5. Analyse des résultats 41
Références 43
Annexe A : Description du modèle MUDMAP 45

Liste des figures

Figure 1. Zone d'étude proposée, en région offshore de la Mauritanie et du Sénégal. L'encadré montre le site de forage T-1 par rapport à tous les emplacements de forage du DC-1. 6
Figure 2. Série chronologique des courants du modèle HYCOM en fonction de la profondeur au site de forage T-1 Période de réanalyse : 1er août 1995 - 31 décembre 2012 10
Figure 3. Profils verticaux (à gauche) et roses de courants montrant la distribution des vitesses de courants (à droite) au site T-1, tirés des courants du modèle HYCOM entre 1995 et 2012 11
Figure 4. Roses de courant montrant la distribution des courants de surface HYCOM (vitesse et direction) par mois à l'emplacement du site T-1 (période de modélisation : 1995 à 2012) 12
Figure 5. Vitesses mensuelles moyennes des courants à l'emplacement de forage T-1 En haut : courants de la couche superficielle — moyenne des courants dans l'ensemble de la colonne d'eau 13
Figure 6. Moyenne des vitesses des courants de surface HYCOM pour la période de janvier à février 2010 (représentative de la saison sèche). La croix noire représente l'emplacement du forage T-1. 14
Figure 7. Moyenne des vitesses des courants de surface HYCOM pour la période de juillet à août 2010 (représentative de la saison des pluies). La croix noire représente l'emplacement du forage T-1. 15
Figure 8. Comparaison de la distribution des vitesses de sédimentation utilisées dans l'étude de modélisation Les divisions des catégories de taille sont tirées de Gibbs et al. (1971) 19
Figure 9. Prédiction de l'épaisseur des rejets de forage à T-1 (saison sèche) En haut : dépôts provenant des périodes de forage sans montage (sections 1 et 2) En bas : dépôts provenant de toutes les sections de forage 22
Figure 10. Prediction de l'Épaisseur des rejets de forage à T-1 (saison humide) En haut : dépôts provenant des périodes de forage sans montage (sections 1 et 2) En bas : dépôts provenant de toutes les sections de forage 23
Figure 11. Comparaison des zones de dépôts sur le plancher océanique à T-1 pour chacune des saisons, pour les rejets provenant du trou de couronne (en rouge) et pour tous les rejets (en bleu) 25
Figure 12. Comparaison des isobathes modélisées des dépôts sur le plancher océanique au site de puits T-1 pendant les scénarios de saison sèche (en haut) et de saison humide (en bas) avec

les zones potentielles de dépôts cumulatives définies à l'aide de l'analyse géospatiale (voir la légende) 32
Figure 13. Dépôts cumulatifs provenant des 12 puits pour les scénarios de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas) 35
Figure 14. Représentation temporelle des dépôts cumulatifs en fonction du calendrier de forage pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas). Le chevauchement spatial n'est représenté que pour les puits dont le forage est prévu pendant la même période : puits séquentiels (2020-2021), puits de 2025, puits de 2028, ou puits de 2032. 36
Figure 15. Dépôts cumulatifs provenant des quatre puits dont le forage est prévu de manière séquentielle en 2020-2021, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas) 37
Figure 16. Dépôts cumulatifs provenant des trois puits dont le forage est prévu en 2025, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas) 38
Figure 17. Dépôts cumulatifs provenant des deux puits dont le forage est prévu en 2028, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas) 39
Figure 18. Dépôts cumulatifs provenant des trois puits dont le forage est prévu en 2032, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas) 40

Liste des tableaux

Tableau 1 Emplacement du site de forage T-1, en région offshore de la Mauritanie et du Sénégal 6
Tableau 2. Programme de rejets de forage utilisé pour les simulations modélisées au site de forage T-1. 16
Tableau 3. Composition des rejets de forage utilisés à des fins de modélisation (données relatives aux boues fournies par CSA/BP) 17
Tableau 4. Vitesses de sédimentation des déblais de forage utilisées pour les simulations liées aux BBE (Brandsma et Smith, 1999) 18
Tableau 5. Vitesses de sédimentation des boues de forage (BBE) (Brandsma et Smith, 1999; Dames et Moore, 1978) 18
Tableau 6. Vitesses de sédimentation des déblais de forage utilisées pour les simulations liées aux BFNA (SWRI, 2003) 18
Tableau 7. Résumé des paramètres du modèle utilisés pour chacun des scénarios 20
Tableau 8. Étendue des dépôts sur le plancher océanique (par intervalle d'épaisseur) pour chacun des scénarios modélisés 24
Tableau 9. Étendue maximale des isobathes d'épaisseur (distance du site de rejet) pour chacun des scénarios modélisés 24
Tableau 10. Étendue maximale des isobathes d'épaisseur (distance du site de rejet) pour chacun des scénarios modélisés et utilisés pour évaluer les dépôts cumulatifs de sédiments 30
Tableau 11. Pourcentage de la zone de préoccupation maximale pour chacune des plages de seuils d'épaisseur dans le scénario de la saison sèche 33
Tableau 12. Pourcentage de la zone de préoccupation maximale pour chacune des plages de seuils d'épaisseur dans le scénario de la saison humide 34

1. Contexte du projet et emplacement géographique

CSA Ocean Sciences Inc. (CSA) a mandaté Applied Science Associates, Inc. (exerçant ses activités sous le nom de « RPS ASA ») pour évaluer les dépôts sur le plancher océanique découlant de rejets opérationnels à un site de forage en eau profonde, en région offshore de la Mauritanie et du Sénégal. BP prévoit forer plusieurs puits (jusqu'à 12 puits) à deux différents centres de forage (DC-1 et DC-2) dans le champ gazier d'Ahmeyim/Guembeul (A/G), faisant partie du complexe Tortue, qui chevauche la frontière maritime entre la Mauritanie et le Sénégal. Le champ A/G se situe à une profondeur relativement élevée (d'environ 2 500 m à 3 000 m), approximativement à 145 km de la ligne côtière. La modélisation de la dispersion a été réalisée afin d'évaluer les impacts des rejets sur le plancher océanique et la colonne d'eau pour un site représentatif (T-1), qui est l'un des 6 puits de développement situés les plus au sud à l'emplacement du DC-1 (Figure 1). La profondeur de l'eau au site de forage T-1 est de 2 750 m (Tableau 1).

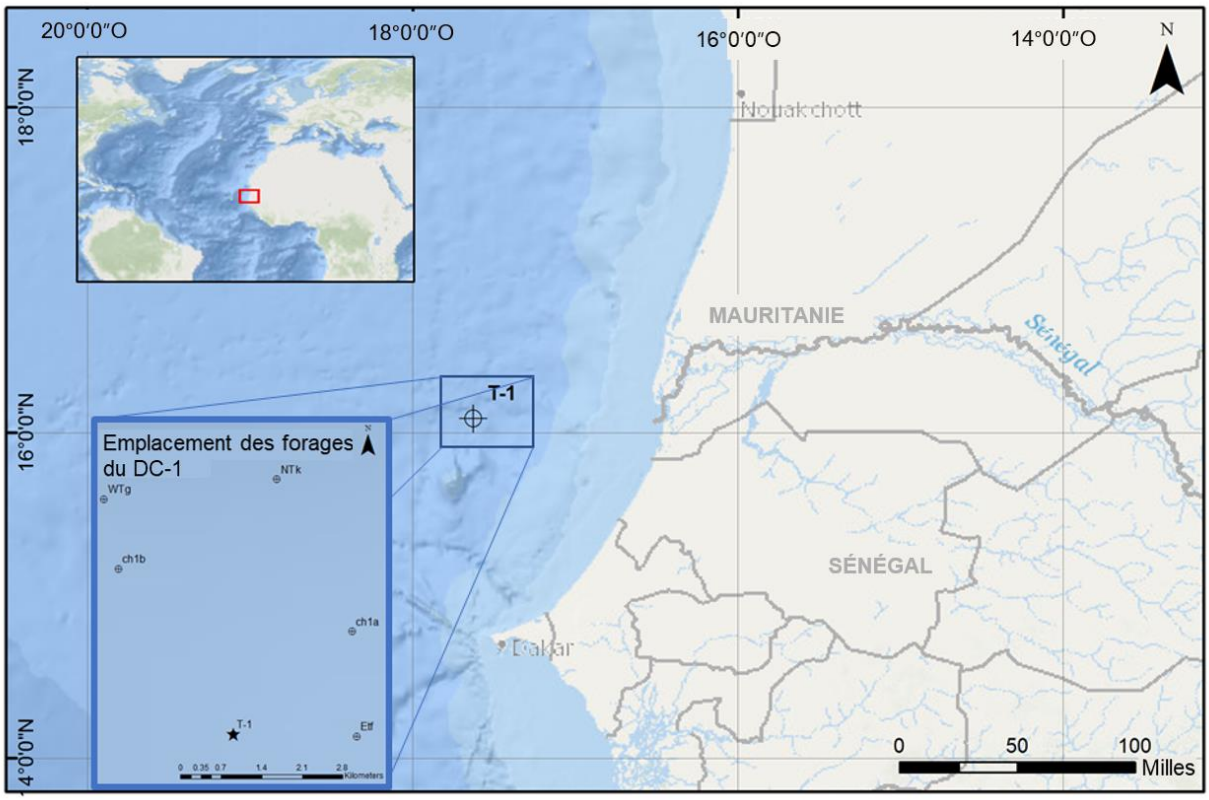


Figure 1. Zone d'étude proposée, en région offshore de la Mauritanie et du Sénégal. L'encadré montre le site de forage T-1 par rapport à tous les emplacements de forage du DC-1.

Tableau 1 Emplacement du site de forage T-1, en région offshore de la Mauritanie et du Sénégal

Nom du site	Nom du champ	Latitude (° N)	Longitude (°O)	Profondeur de l'eau (m)
T-1	Ahmeyim/Guembeul	16.08700	17.62575	2 750

Des simulations de rejets de forage ont été réalisées à l'aide du système de modélisation MUDMAP d'ASA (Spaulding et al., 1994). Le modèle MUDMAP permet de prédire le

déplacement de matières solides rejetées dans l'environnement marin et le dépôt qui en découlent sur le plancher océanique. Ce modèle nécessite des données d'entrée qui décrivent : (i) les caractéristiques physiques et chimiques des effluents rejetés; (ii) le déroulement du rejet (caractéristiques de temps et emplacement du rejet); et (iii) des renseignements décrivant les eaux réceptrices (bathymétrie, stratification de la densité, courants océaniques). Les données de sortie du modèle comprennent des estimations des charges environnementales causées au plancher océanique (dépôts) et à la colonne d'eau (turbidité accrue) découlant des rejets provenant du forage offshore. Une description technique du modèle MUDMAP est présentée à l'annexe A,

Les renseignements fournis par CSA/BP indiquent que les sites de DC-1 cibleront les dépôts d'hydrocarbures du Cénomanien, et il est attendu que les rejets soient semblables à ceux produits par les récents travaux de forage effectués au large du Sénégal (rapport 15-095 de RPS ASA). Il est prévu qu'environ 641 m^3 de déblais de forage soient rejetés de 5 intervalles de forage dont le diamètre varie entre 36 po et 8,5 po. De plus, BP a demandé que la modélisation tienne compte de la possibilité que 25 % (du volume) des boues adhèrent sur les déblais pour les sections forées à l'aide de boues de forage non aqueuses (BFNA; sections 3-5).

Des scénarios de modélisation ont été définis pour tenir compte des différences possibles dans le régime environnemental offshore. Le climat du sud de la Mauritanie/du nord du Sénégal dépend principalement du déplacement saisonnier de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), qui oscille entre le sud (saison sèche/fraîche, de janvier à juin) et le nord (saison pluvieuse/chaude, de juillet à décembre). La mousson ouest-africaine est interconnectée à la position changeante de la ZCIT. Les vents de la mousson soufflent en direction sud-ouest pendant les moins plus chauds (de juin à novembre) et en direction nord-est pendant les mois plus frais (de décembre à mai). De plus, le site de forage se situe près de la confluence de plusieurs systèmes importants de courants océaniques, notamment le courant des Canaries et le courant Nord équatorial, qui fluctuent en fonction des alizés et en suivant, de manière générale, la saison des pluies et la saison sèche, toutes deux marquées dans cette région. Pour cette raison, deux (2) simulations MUDMAP ont été effectuées, afin d'évaluer l'incidence de la variabilité des courants océaniques de la région sur les configurations de déposition. Les périodes de simulation ont été choisies en fonction d'une revue de la littérature récente et d'une analyse des modèles de circulation océanique au sein de la région du projet de forage. Pour le site T-1, les rejets en cours de travaux ont été simulés pendant la saison sèche (hiver/printemps boréal), lorsque les courants de surface sont plus faibles et variables, et pendant la saison des pluies (été/automne boréal), lorsque les courants de surface s'intensifient et se concentrent vers le nord-ouest en raison de l'affaiblissement des vents alizés. Chaque simulation a porté sur une période d'environ 35 jours (13 jours de forage/rejets actifs).

2. Données d'entrée du modèle

2.1. Données MetOcean

Des données hydrodynamiques provenant du modèle HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) ont été utilisées comme effets principaux pour les simulations de dispersion des déblais de forage. La version précise du modèle utilisé est HYCOM + NCODA (Navy Couple Ocean Data Assimilation) Global 1/12° Reanalysis (réanalyse globale à 1/12°), qui comprend de données natives hycom [ab] converties en format NetCDF sur le canevas horizontal curvilinéaire Mercator natif du modèle HYCOM. Les détails relatifs à la procédure d'assimilation des données sont décrits dans l'ouvrage de Cummings et Smedstad (2013) et dans celui de Cummings (2005). Fox et al. (2002) décrit la technique permettant de projeter vers le bas l'information relative à la surface (recueillies aux fins de l'assimilation). Les dimensions horizontales du maillage global sont de 4 500 x 3 298 points de grille, ce qui correspond, en moyenne, à environ 7 km d'espace entre chaque point.

Le système HYCOM est exécuté quotidiennement au DoD Supercomputing Resource Center de la marine américaine afin de fournir une prévision opérationnelle de 5 jours (+ une simulation rétrospective de 5 jours comme meilleure estimation possible) composée d'une moyenne tridimensionnelle quotidienne de la température, de la salinité, de la hauteur de la surface de la mer, de la vélocité zonale et des champs de vitesse méridionaux. La dynamique des océans, notamment les courants géostrophiques et les courants de dérive, est reproduite par le modèle. Les données sont fournies sous forme d'image instantanée quotidienne au point 00Z. La plus récente expérience de réanalyse (GLBa0.08/expt_19.1) comprend des données recueillies entre le 1er août 1995 et le 31 décembre 2012.

RPS ASA utilise un ensemble d'étapes de traitement pour préparer les données de sortie HYCOM pour utilisation au sein du modèle MUDMAP de dispersion des déblais de forage. Le champ de courant à l'emplacement de chacun des puits est développé à l'aide d'un processus d'interpolation à distance pondérée fondée sur les 4 nœuds HYCOM (avoisinants) les plus près. À la cellule de modèle située la plus près du site T-1, la colonne d'eau est représentée par 37 couches verticales atteignant une profondeur de 2 500 m. Comme le montrent les figures ci-dessous, le modèle HYCOM reproduit les fluctuations au sein des écoulements de surface qui coïncident avec les observations de variations saisonnières au large de la Mauritanie et du Sénégal (c.-à-d. l'intensification et la concentration vers le nord-ouest des courants de surface le long du talus continental pendant les mois de la saison des pluies). Un sous-ensemble de l'ensemble de données sur les courants variables verticalement et selon le temps pour une période représentative (année 2010) a été utilisé pour le modèle MUDMAP. Les figures suivantes sont présentées dans le but de résumer l'ensemble des données hydrodynamiques :

- Un schéma de bâtons-vecteurs montrant les vitesses et les directions des courants HYCOM ainsi que la profondeur.
- Des profils de courants verticaux (par mois) et des roses des courants comparant la distribution du débit à diverses profondeurs pour la cellule HYCOM située la plus près du site de forage.
- Les roses de courants illustrant des différences au sein de la distribution de la vitesse et de la direction des courants HYCOM par mois (saison).
- Les vitesses mensuelles des courants tirées du modèle HYCOM à la surface de l'océan et les vitesses mensuelles moyennes des courants dans l'ensemble de la colonne d'eau.
- Les configurations des courants de surface dans la région offshore pour deux périodes de rejet ayant fait l'objet d'une modélisation.

Toutes les figures présentent les données liées aux courants en utilisant la convention océanographique (les bâtons-vecteurs/les roses indiquent la direction *vers laquelle* les courants se dirigent).

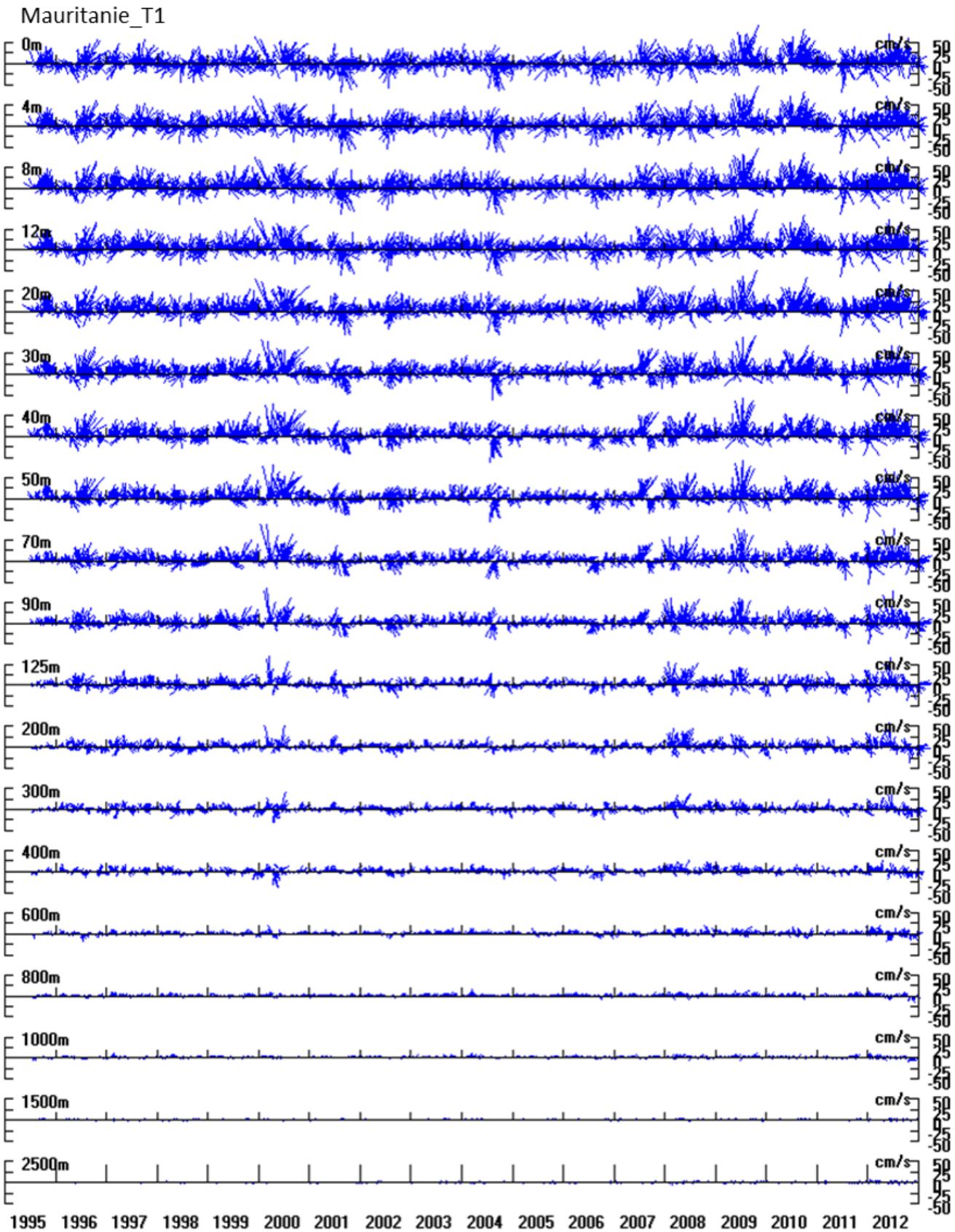


Figure 2. Série chronologique des courants du modèle HYCOM en fonction de la profondeur au site de forage T-1
Période de réanalyse : 1er août 1995 - 31 décembre 2012

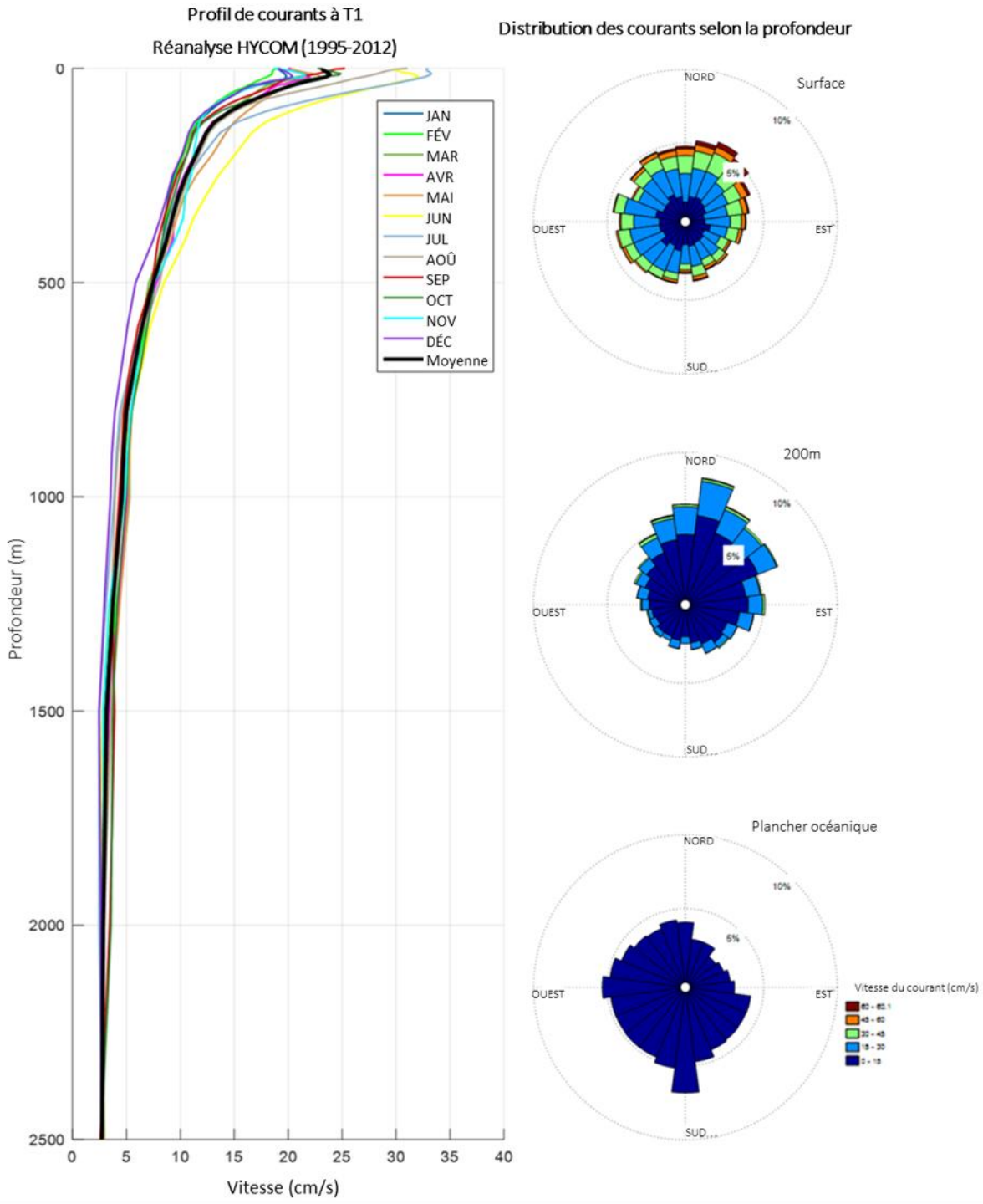


Figure 3. Profils verticaux (à gauche) et roses de courants montrant la distribution des vitesses de courants (à droite) au site T-1, tirés des courants du modèle HYCOM entre 1995 et 2012

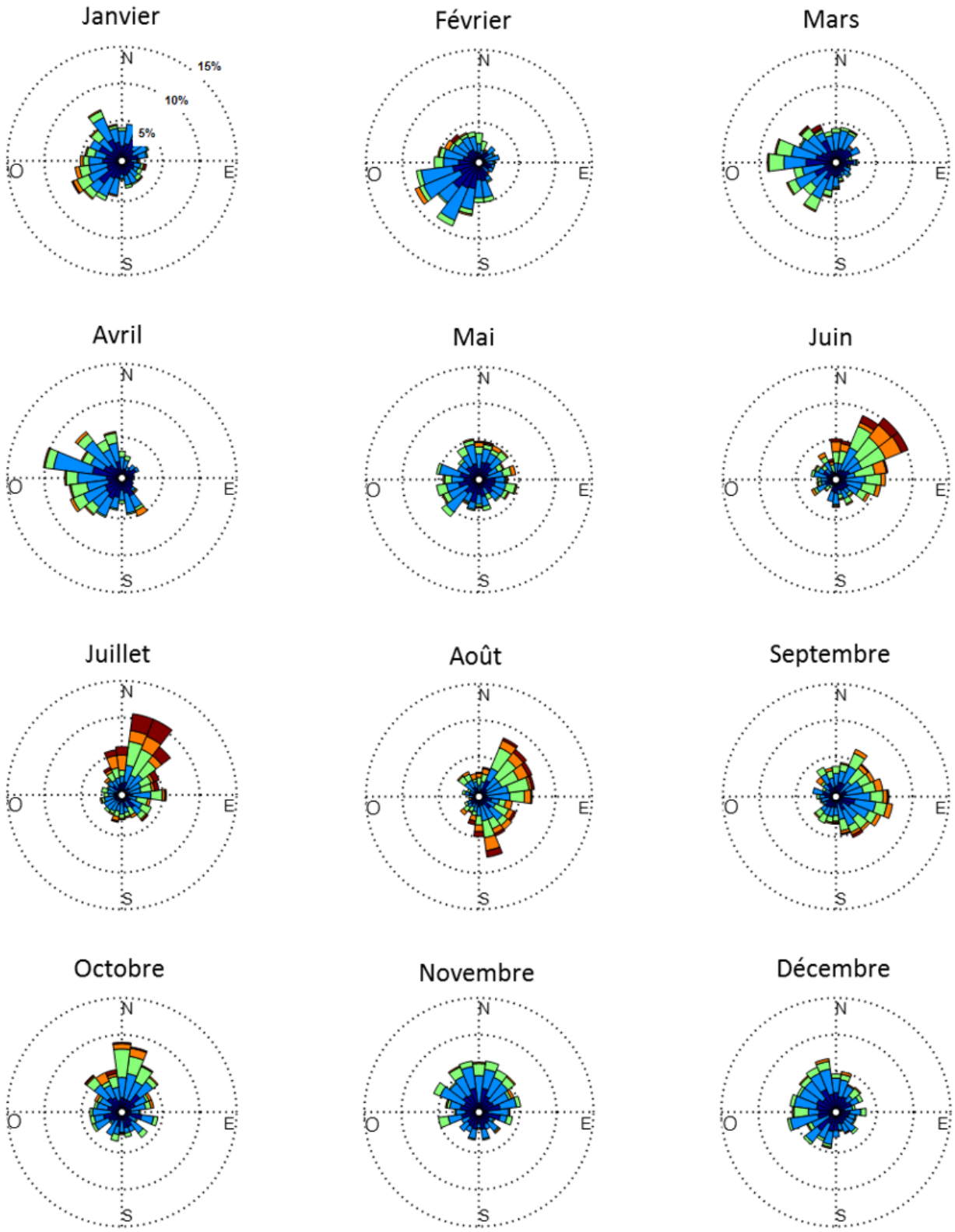


Figure 4. Roses de courant montrant la distribution des courants de surface HYCOM (vitesse et direction) par mois à l'emplacement du site T-1 (période de modélisation : 1995 à 2012)

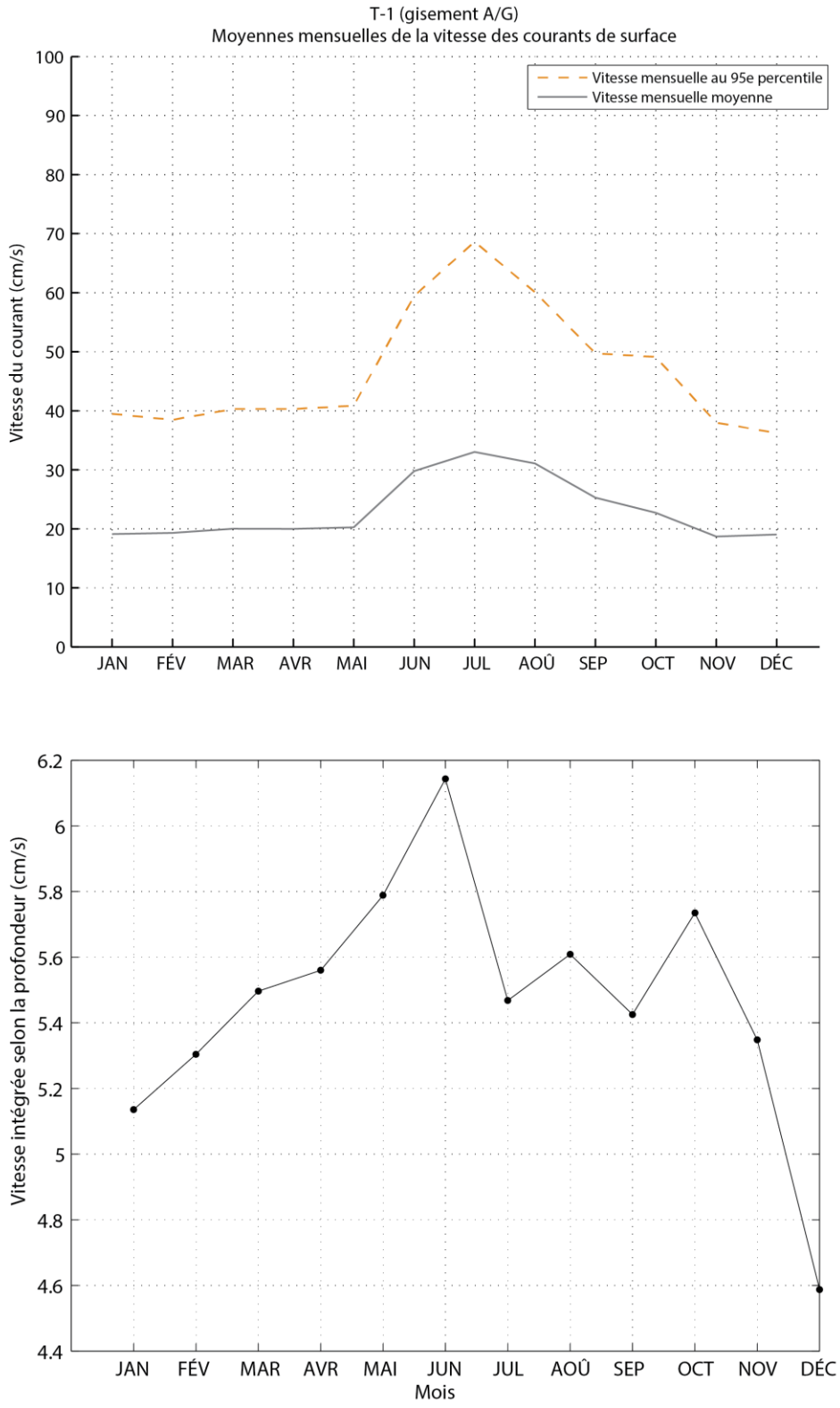


Figure 5. Vitesses mensuelles moyennes des courants à l'emplacement de forage T-1
En haut : courants de la couche superficielle — moyenne des courants dans l'ensemble de la colonne d'eau

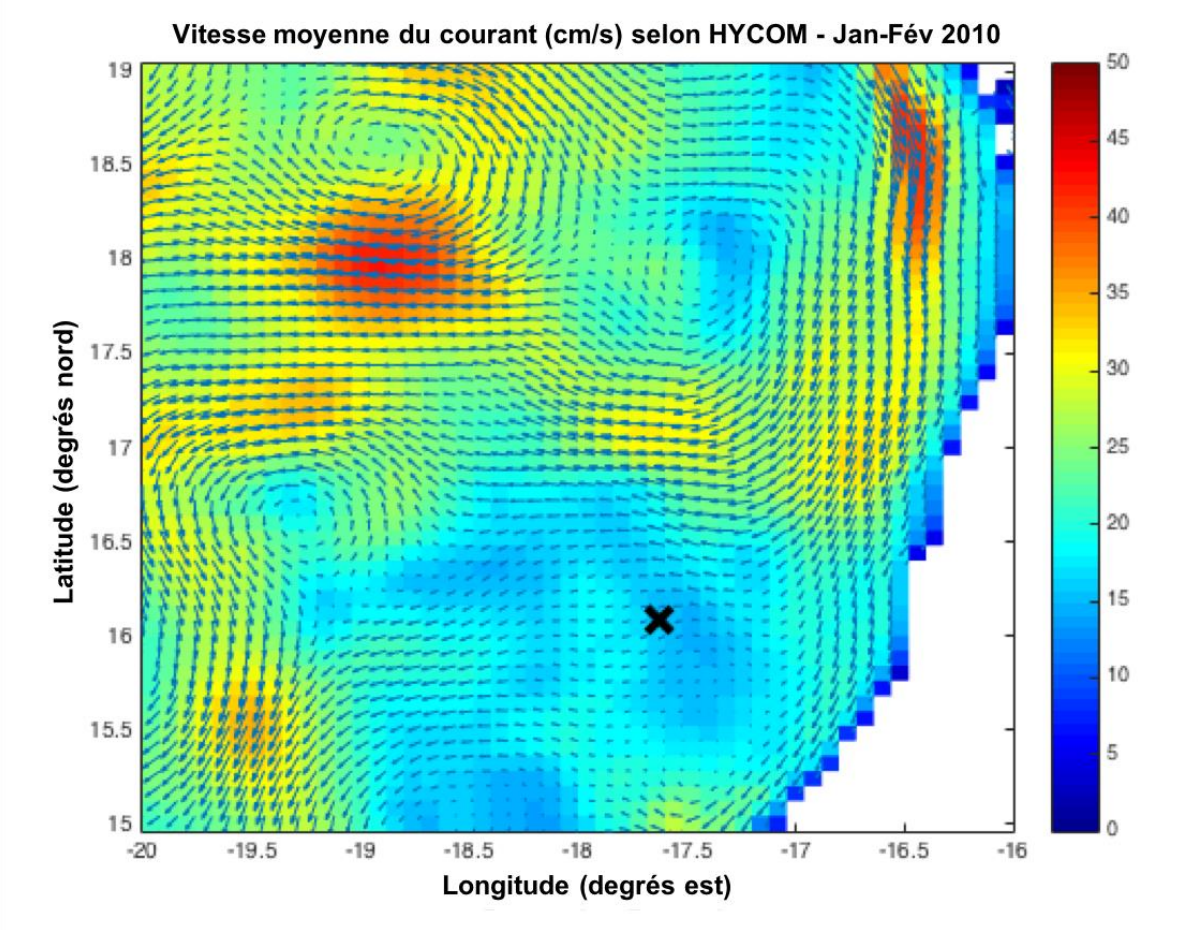


Figure 6. Moyenne des vitesses des courants de surface HYCOM pour la période de janvier à février 2010 (représentative de la saison sèche). La croix noire représente l'emplacement du forage T-1.

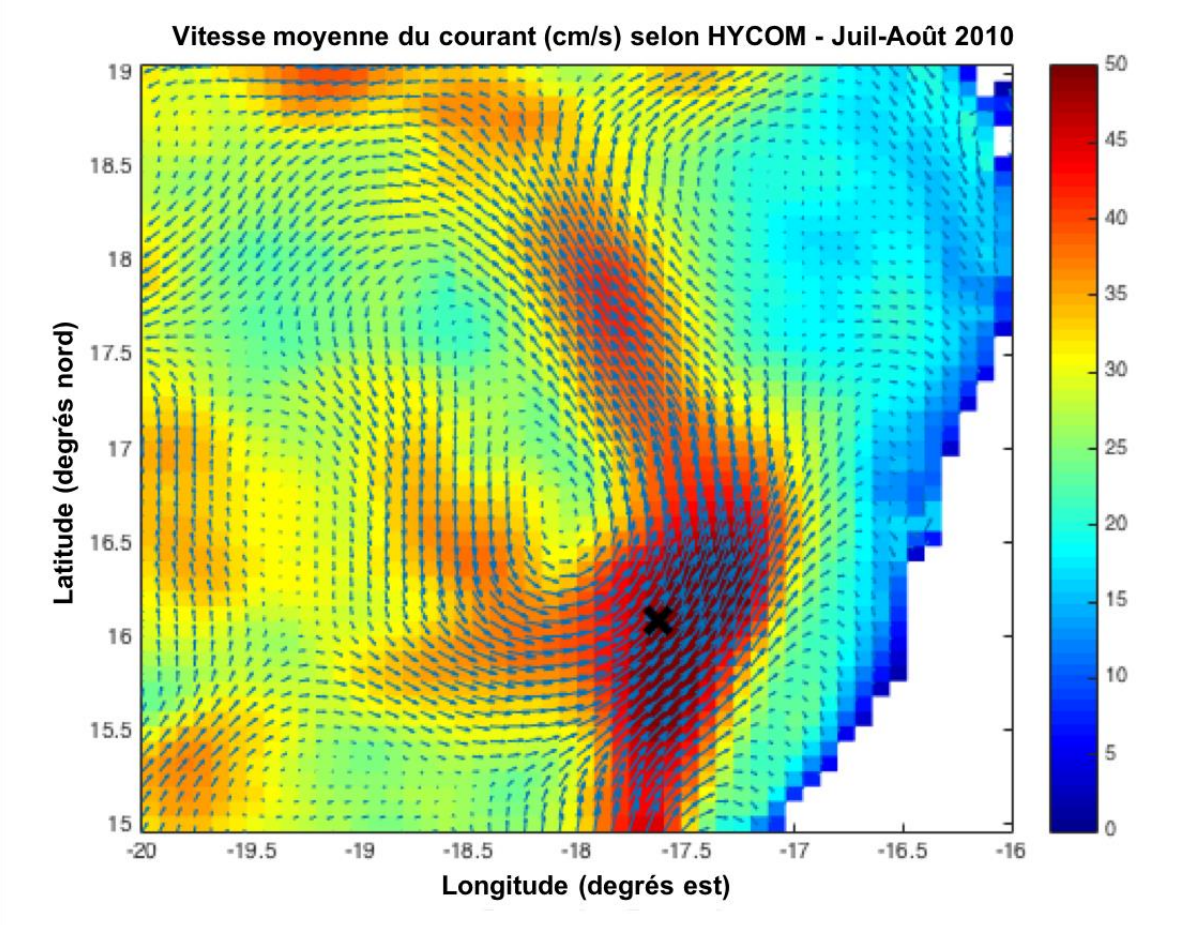


Figure 7. Moyenne des vitesses des courants de surface HYCOM pour la période de juillet à août 2010 (représentative de la saison des pluies). La croix noire représente l'emplacement du forage T-1.

2.2. Échéancier de forage

Le déroulement des rejets fourni à RPS ASA indique que les travaux de forage à T-1 comprendront 5 sections de puits dont le diamètre variera entre 36 po et 8,5 po. Comme mentionné ci-dessus, BP a demandé que la modélisation reflète les estimations de rejets les plus défavorables, qui comprennent 25 % additionnels par volume de déblais pour les sections forées avec des BFNA, afin de tenir compte de l'adhésion possible de fluides de forage résiduels sur les déblais (Tableau 2). Il est prévu que la plateforme de forage sera sur place, pour chacun des puits, environ 35 jours, dont 13 jours seront consacrés à des travaux de forage actif. Les périodes de forage représentatives de la saison sèche et de la saison des pluies sont présentées ci-dessous.

Tableau 2. Programme de rejets de forage utilisé pour les simulations modélisées au site de forage T-1.

Section	Diamètre	Date de début (Saison)		Durée (jours)	Volume de déblais (m^3)[1]	Volume de boue (m^3)	Type de boue	Profon-deur du rejet[2]
		Saison des pluies	**Saison sèche**					
Déplacement sur le site				3,00				
1	36 po	4 janv.	4 juil.	0,50	49	80,0	Boues à base d'eau	Plancher océani-que
Entre forage				0,50				
2	26 po	5 janv.	5 juil.	2,00	373	873,0	Boues à base d'eau	Plancher océani-que
Entre forage				10,00				
3	17,5 po	17 janv.	17 juil.	3,00	112 (140)	Déblais ajustés pour 25 % de volume par volume d'adhésions de boues	BFNA	Surface de l'océan
Entre forage				5,00				
4	12,25 po	25 janv.	25 juil.	4,00	91 (114)	Déblais ajustés pour 25 % de volume par volume d'adhésions de boues	BFNA	Surface de l'océan
Entre forage				7,00				
5	8,5 po	5 fév.	5 août	3,00	16 (20)	Déblais ajustés pour 25 % de volume par volume d'adhésions de boues	BFNA	Surface de l'océan

Notes : 1. Les volumes indiqués entre parenthèses comprennent l'ajout de 25 % de BFNA résiduelles sur les déblais pour les sections 3-5.

2. Les rejets ont été simulés à 5 m au-dessus du plancher océanique et à 10 m sous la surface de l'eau.

Comme indiqué dans le programme de forage, il est attendu que tous les déblais et toutes les boues à base d'eau (BBE) provenant du forage sans montage (trou de couronne - sections 1 et 2) soient rejetés directement au niveau du plancher océanique (c.-à-d. 5 m au-dessus de la tête du puits). Le forage sans montage utilisera environ 6 000 barils (954 m^3) de BBE d'un poids maximal de 9-12 lb/gal (80 m^3 et 873 m^3, respectivement). Les sections subséquentes seront forées à l'aide de BFNA et seront retournées à la surface à des fins de traitement. Aucun rejet direct de BFNA en vrac n'est prévu pendant les travaux de forage, à quelque étape que ce soit, bien qu'aux fins de la modélisation, il a été supposé qu'une fraction des boues de forage resterait collée aux déblais forés à l'aide de BFNA (environ 25 % des déblais rejetés, par volume). Le rejet de ces éléments combinés retournés en surface (déblais et adhésions de BFNA) a été simulé à un taux de rejet continu pendant les périodes de forage actif à une profondeur de 10 mètres sous la surface de l'océan.

L'échéancier de forage de T-1 est actuellement inconnu et le moment de l'année auquel ce forage aura lieu pourrait changer en fonction de la disponibilité de la plateforme de forage et des approbations réglementaires. En raison des variations saisonnières considérables de l'océanographie au large du sud de la Mauritanie et du nord du Sénégal, des simulations ont été effectuées pour différents régimes saisonniers afin d'évaluer l'incidence des variations possibles des courants océaniques régionaux. Plus précisément, les rejets en cours de travaux ont été simulés pour comparer les impacts du forage pendant la saison sèche du sud de la Mauritanie et du nord du Sénégal (janvier-février; scénario 1) ainsi que pendant la saison humide de cette région (juillet-août; scénario 2) pour l'année 2010. Les courants de surface à proximité du site de rejet sont plus faibles et variables pendant la saison sèche que pendant la saison humide, où les courants de surface s'intensifient et se concentrent vers le nord en raison de l'affaiblissement des vents alizés.

2.3. Caractéristiques des matières solides rejetées

Les caractéristiques des boues et des déblais utilisées à des fins de modélisation sont présentées aux tableaux 3 à 6. Les caractéristiques de sédimentation des particules sont présentées à la figure 8.

Tableau 3. Composition des rejets de forage utilisés à des fins de modélisation (données relatives aux boues fournies par CSA/BP)

Matière rejetée	Masse volumique apparente (lb/gal)	Masse volumique apparente (kg/m^3)	Pourcentage de matière solide par poids	Masse volumique moyenne de la partie solide
Déblais de BBE (sections 1-2)	22,1	2 650	100	2,65
Déblais de boues synthétiques (sections 3-8)	16,9	2 030	65	2,65
BBE (section 1)	9	1 078	22	3,9
BBE (section 2)	9-12	1 258 (moyenne)	22	3,9

Tableau 4. Vitesses de sédimentation des déblais de forage utilisées pour les simulations liées aux BBE (Brandsma et Smith, 1999)

Catégorie de taille	Volume en pourcentage	Vitesse de sédimentation	
		(cm/s)	(m/jour)
1	8,00	1.350E-04	0,12
2	6,00	1.686E-03	1,46
3	7,00	2.182E-02	18,86
4	3,00	2.328E-01	201,14
5	2,00	1.447E+00	1 250,37
6	18,00	4.011E+00	3 465,65
7	16,00	9.796E+00	8 463,98
8	15,00	1.352E+01	11 679,45
9	25,00	2.598E+01	22 442,45

Tableau 5. Vitesses de sédimentation des boues de forage (BBE) (Brandsma et Smith, 1999; Dames et Moore, 1978)

Catégorie de taille	Volume en pourcentage	Vitesse de sédimentation	
		(cm/s)	(m/jour)
1	7,01	2.74E-03	2,37
2	7,99	6.10E-03	5,27
3	5,00	1.48E-02	12,77
4	10,00	3.00E-02	25,94
5	13,26	4.36E-02	37,66
6	13,26	5.12E-02	44,24
7	19,24	6.40E-02	55,30
8	19,24	8.23E-02	71,10
9	4,00	4.27E-01	368,69
10	1,00	1.12E+00	969,12

Tableau 6. Vitesses de sédimentation des déblais de forage utilisées pour les simulations liées aux BFNA (SWRI, 2003)

Catégorie de taille	Volume en pourcentage	Vitesse de sédimentation	
		(cm/s)	(m/jour)
1	0,88	0,03	25,92
2	0,75	0,23	198,72
3	1,54	0,65	561,6
4	1,20	2,01	1 736,64
5	0,52	4,03	3 481,92
6	1,17	7,57	6 540,48
7	5,39	13,07	11 292,48
8	14,47	18,34	15 845,76
9	27,04	23,04	19 906,56
10	37,99	28,17	24 338,88
11	8,62	51,24	44 271,36
12	0,43	106,29	91 834,56

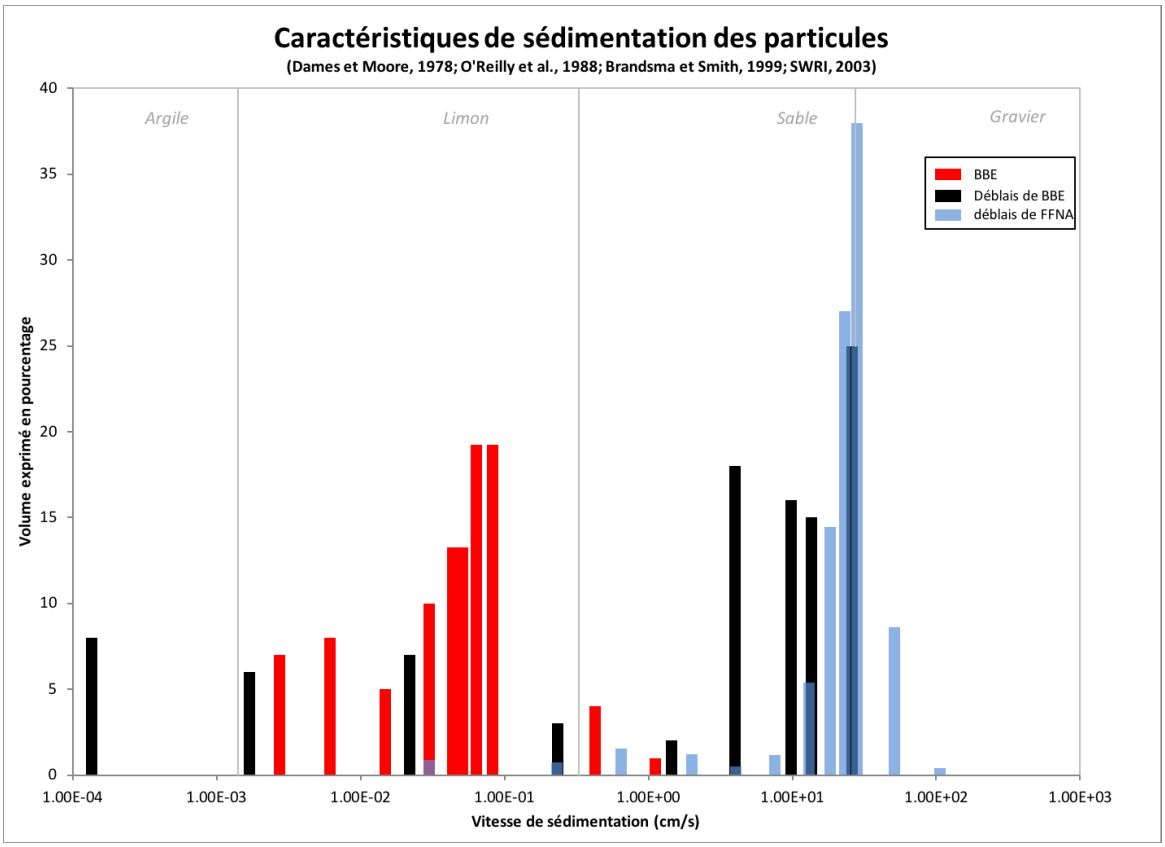


Figure 8. Comparaison de la distribution des vitesses de sédimentation utilisées dans l'étude de modélisation Les divisions des catégories de taille sont tirées de Gibbs et al. (1971)

3. Résultats de la modélisation

L'évolution des boues et des déblais rejetés lors des travaux de forage à T-1 a été évaluée à l'aide de deux scénarios déterministes de rejet distincts correspondant à la période de forage et aux volumes de rejet présentés dans le Tableau 7. MUDMAP a été utilisé pour modéliser la trajectoire des particules de déblais provenant de chacune des sections de forage et pour faire le suivi de la dispersion dans le champ éloigné pour une période minimale de 72 heures, afin de tenir compte de la sédimentation des sédiments très fins (p. ex., des particules de boue) provenant de la colonne d'eau. Le résultat de chacune des simulations de MUDMAP est une grille de concentration qui décrit le dépôt de sédiments sur le plancher océanique associé à chacune des sections de forage. Ces grilles ont été regroupées à l'extérieur du modèle pour créer des cartes des dépôts cumulatifs provenant (i) des sections de trou de couronne (sans montage) et (ii) de toutes les sections de forage pour chacune des saisons. Les Figure 9 et Figure 10 montre l'étendue, en vue de dessus, des dépôts sur le plancher océanique prédits par le modèle à chacun des sites pendant la saison sèche (scénario 1) et pendant la saison humide (scénario 2). Les Tableau 8 et Tableau 9 résument l'étendue des dépôts pour chacun des scénarios. L'épaisseur des dépôts a été calculée en fonction de l'accumulation de masse sur le plancher océanique et de la densité volumique des sédiments, en supposant qu'il n'y a aucun facteur de foisonnement (porosité nulle).

Tableau 7. Résumé des paramètres du modèle utilisés pour chacun des scénarios

Scénario de modèle	Emplacement	Période de rejet	Description	Déblais rejetés (m^3) [1]	Boues rejetées (m^3)	Jours de forage (j)
Scénario 1	T-1	Jan-févr. 2010 (saison sèche)	Déblais avec BBE et BBE provenant des sections 1-2; déblais avec BFNA et adhésions de boue provenant des sections 3-5	641 (696)	953	13
Scénario 2	T-1	Juil.-août 2010 (saison humide)	Déblais avec BBE et BBE provenant des sections 1-2; déblais avec BFNA et adhésions de boue provenant des sections 3-5	641 (696)	953	13

Note : 1. Les volumes indiqués entre parenthèses comprennent l'ajout de 25 % de BFNA résiduelles sur les déblais pour les sections 3-5.

Comme montré dans les parties inférieures des figures ci-dessous, les épaisseurs mesurables au niveau du plancher océanique se limitent à une zone en champ proche, à environ 1,3 km du site de forage. Les résultats de simulation montrent qu'un amoncellement étroitement confiné (d'une épaisseur de 5 mm ou plus) entoure la tête de puits, et qu'un voile de sédiments fins s'étend jusqu'à 1 220 m de la tête du puits, vers le nord-est (l'étendue la plus éloignée se produit pendant la saison humide).

La comparaison des simulations réalisées pour la saison sèche et la saison humide montre des similitudes et des différences; par exemple, l'empreinte globale (à 0,1 mm près) est d'environ 20 % plus importante pendant la saison humide, et s'étend vers le nord et l'est par rapport à l'emplacement de forage. En revanche, les superficies de dépôts d'une épaisseur variant entre 0,5 et 2 mm sont de 20 à 30 % plus importantes pendant la saison sèche que pendant la saison humide. Comme le montre la Figure 11, l'étendue des zones où l'épaisseur des dépôts est inférieure à 5 mm découle principalement des déblais rejetés par le navire de forage. L'élongation de ces minces couvertures de sédiments fins pendant la

saison humide est probablement causée par l'intensification des courants de surface pendant les mois de l'été boréal. En revanche, les plus grandes zones de dépôts épais situées près du site de forage sont attribuables aux courants moins intenses associés à la saison sèche.

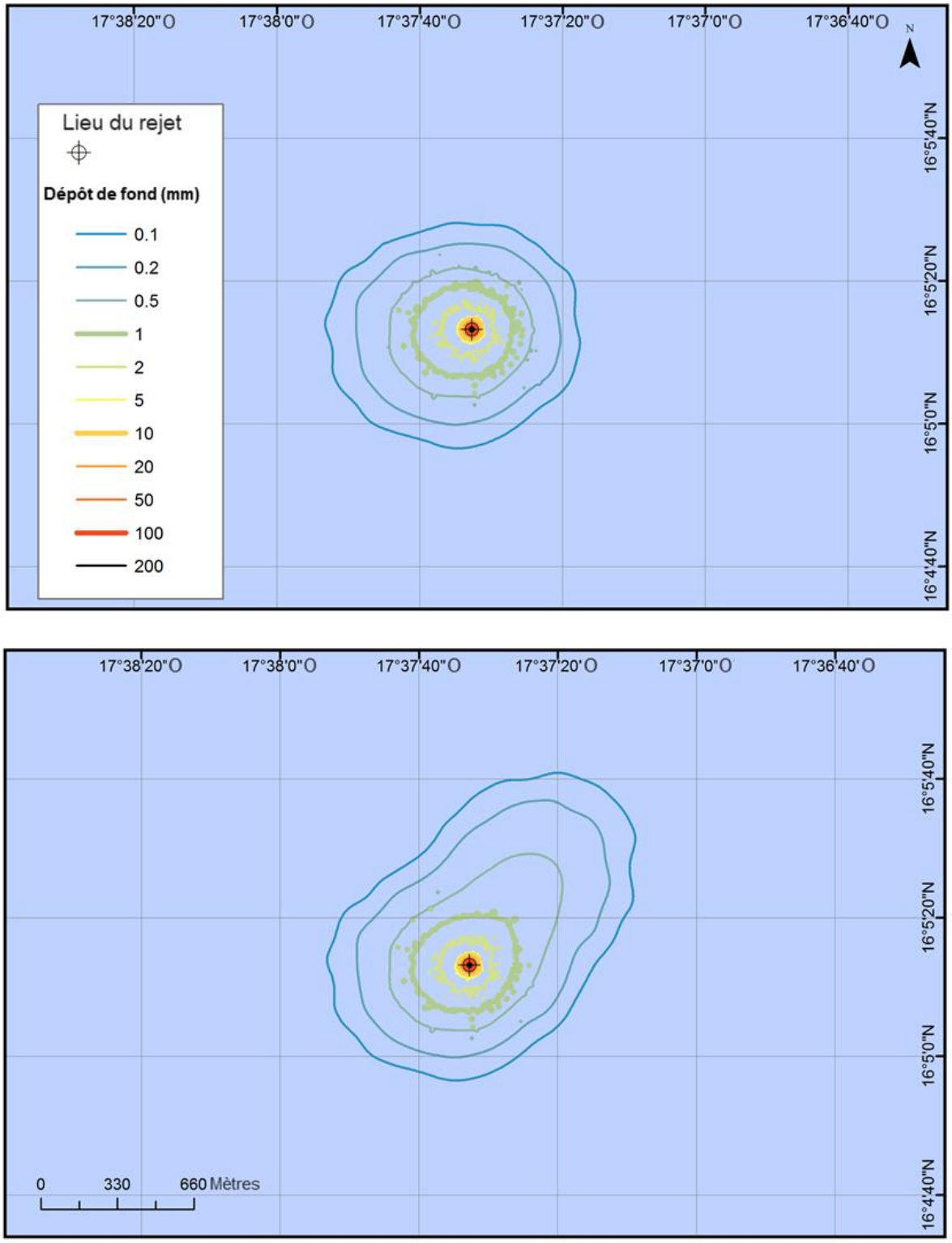


Figure 9. Prédiction de l'épaisseur des rejets de forage à T-1 (saison sèche) En haut : dépôts provenant des périodes de forage sans montage (sections 1 et 2) En bas : dépôts provenant de toutes les sections de forage

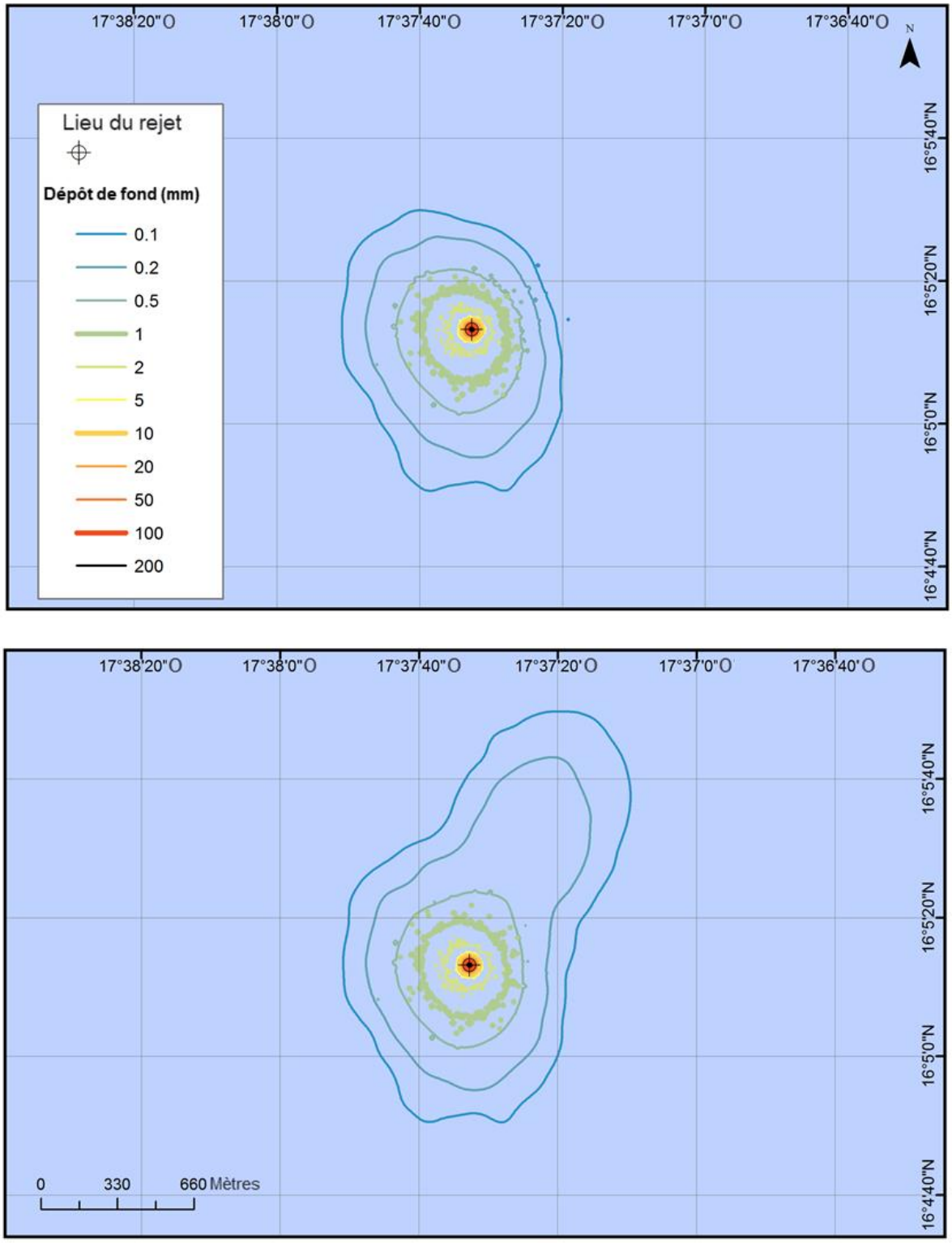


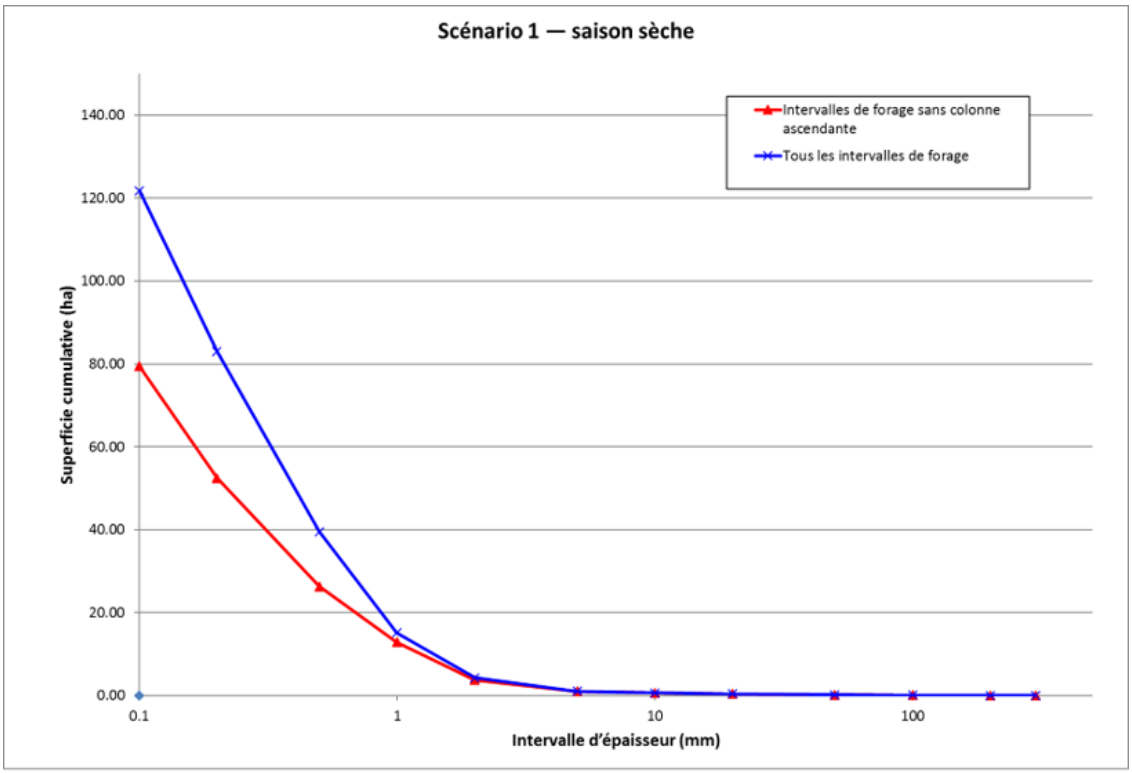
Figure 10. Prédiction de l'épaisseur des rejets de forage à T-1 (saison humide)
En haut : dépôts provenant des périodes de forage sans montage (sections 1 et 2)
En bas : dépôts provenant de toutes les sections de forage

Tableau 8. Étendue des dépôts sur le plancher océanique (par intervalle d'épaisseur) pour chacun des scénarios modélisés

Intervalles d'épaisseur des dépôts (mm)	Superficie cumulative des dépôts dépassant l'intervalle d'épaisseur (km²)			
	Sections sans montage		Toutes les sections	
	Scénario 1 (saison sèche)	Scénario 2 (saison humide)	Scénario 1 (saison sèche)	Scénario 2 (saison humide)
0,1	79,4370	85,9520	121,7770	142,9110
0,2	52,4650	53,9020	83,0270	86,6560
0,5	26,3310	25,2590	39,5110	29,4310
1	12,8390	11,0540	15,1090	12,4130
2	3,7700	2,8890	4,2740	3,2010
5	0,9730	0,9410	0,9900	0,9760
10	0,5860	0,5690	0,5860	0,5710
20	0,3640	0,3690	0,3640	0,3690
50	0,1950	0,1920	0,1950	0,1920
100	0,0970	0,1020	0,1000	0,1020
200	0,0250	0,0170	0,0250	0,0200
300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tableau 9. Étendue maximale des isobathes d'épaisseur (distance du site de rejet) pour chacun des scénarios modélisés

Épaisseur des dépôts (mm)	Étendue maximale à partir du point de rejet (m)			
	Sections sans montage		Toutes les sections	
	Scénario 1 (saison sèche)	Scénario 2 (saison humide)	Scénario 1 (saison sèche)	Scénario 2 (saison humide)
0,1	610	720	960	1220
1	250	240	250	240
10	50	40	50	50
100	18	18	19	19



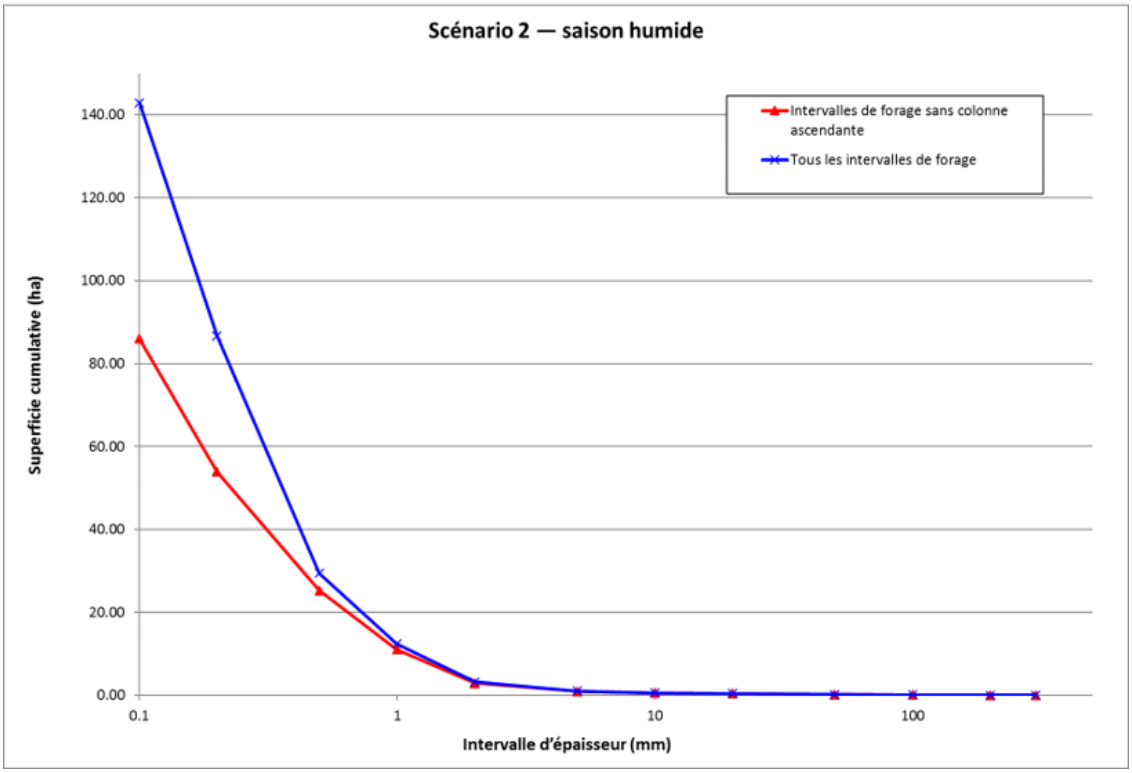


Figure 11. Comparaison des zones de dépôts sur le plancher océanique à T-1 pour chacune des saisons, pour les rejets provenant du trou de couronne (en rouge) et pour tous les rejets (en bleu)

Pour le forage du trou de couronne (sections 1-2), la différence entre la forme et l'étendue de l'empreinte des sédiments découlant des rejets est peu perceptible. Ces sédiments se déposent rapidement pendant quelques jours au début des travaux et entourent l'emplacement du site de forage, formant ainsi le plus important amoncellement de déblais. Le Tableau 8 et la Figure 11, qui comparent l'étendue des dépôts entre les sections sans montage et toutes les sections, indiquent que les dépôts ayant une épaisseur de 5 mm ou plus découlent presque exclusivement du forage du trou de couronne. Comme les courants près du plancher océanique sont relativement faibles (< 5 cm/s), il y a peu de possibilités que les sédiments se déplacent pendant la phase de forage du trou de couronne. En effet, lors des deux périodes, la présence d'une empreinte de dépôts concentriques qui restent près de la tête du puits est constatée, ce qui indique que les processus de dispersions ont une incidence presque aussi importante que l'advection par les courants, en raison des caractéristiques de sédimentation des substances rejetées et des profondeurs de rejet.

Pour le scénario 1 (saison sèche), l'épaisseur cumulative maximale prédite pour les dépôts est de 260 mm, dans la zone immédiatement adjacente à la tête du puits. Les dépôts de 100 mm s'étendent jusqu'à 18 m du puits et recouvrent une superficie maximale de 0,100 ha; les dépôts d'une épaisseur de 10 mm s'étendent jusqu'à 50 m et recouvrent une superficie maximale de 0,586 ha; et les dépôts d'une épaisseur de 1 mm s'étendant jusqu'à un maximum de 240 m du puits et recouvrent 15,109 ha du plancher océanique. Pour le scénario 2 (saison des pluies), l'épaisseur cumulative maximale prédite pour les dépôts est de 240 mm. Les dépôts de 100 mm s'étendent jusqu'à 27 m du puits et recouvrent une superficie maximale de 0,102 ha; les dépôts d'une épaisseur de 10 mm s'étendent jusqu'à 40 m et recouvrent une superficie maximale de 0,5710 ha; et les dépôts d'une épaisseur de 1 mm s'étendant jusqu'à un maximum de 250 m du puits et recouvrent 12,4130 ha du plancher océanique.

4. Dépôts cumulatifs sur le plancher océanique

4.1. Introduction

Les études qui décrivent les effets biologiques de la sédimentation ont été passées en revue, et des seuils de dépôts ont été compilés pour les taxa benthiques lorsque ceux-ci étaient présentés dans la documentation existante (section 4.2). Les dépôts cumulatifs sur le plancher océanique qui peuvent découler du programme de forage proposé ont été évalués à l'aide d'une analyse géospatiale et des outils ArcGIS (section 4.3). Les résultats de l'analyse géospatiale sont présentés sous forme de cartes illustrant le chevauchement entre les zones possibles de dépôts autour des douze sites de puits ainsi que les zones qui dépassent les seuils de dépôt (section 4.4). Les impacts possibles sont décrits relativement au calcul des dépôts cumulatifs éventuels, et les seuils d'effets biologiques sont examinés (section 4.5).

4.2. Contexte biologique

4.2.1. Effets de la sédimentation

Bien que le dépôt de sédiments soit un phénomène naturel, le taux de sédimentation varie en fonction des caractéristiques océanographiques de la région. Les habitats en eau profonde, comme ceux qui font l'objet de la présente étude, se caractérisent généralement par des courants de faible énergie, et de lents taux d'accumulation de sédiments, soit 1 à 100 mm par mille ans (Gage et Tyler, 1991; Glover et Smith, 2003). Les organismes benthiques associés à ces environnements se sont généralement adaptés pour tolérer diverses conditions et différents taux de sédimentation. Des augmentations rapides de la sédimentation liées aux rejets de boues et de déblais peuvent avoir des effets directs et indirects sur les communautés d'endofaune benthique des habitats en eau profonde. Parmi les effets directs, figurent l'étouffement, l'exposition à des substances toxiques, et l'abrasion physique; les effets indirects, quant à eux, comprennent les modifications des habitats et les changements des ensembles de communautés (DOER, 2005). La gravité des effets de la sédimentation sur les organismes dépend de facteurs comme la profondeur d'enfouissement, le temps d'enfouissement, les tolérances propres aux différentes espèces, la granulométrie des sédiments déposés et le moment de l'année (saison) (Kjeilen-Eilertsen et al., 2004). Par exemple, la mortalité peut être plus élevée en l'été qu'en l'hiver (Smit et al., 2008). Il a été démontré que la mortalité est plus importante à des températures élevées dans le mésocosme, ainsi que pendant les études de laboratoire portant sur l'enfouissement des moules et des gastropodes, en raison d'une demande accrue en oxygène à des températures supérieures (Chandrasekara et Frid, 1998; Hutchison et al., 2016).

Les divers groupes taxonomiques réagissent différemment et présentent des niveaux variables de tolérance à la sédimentation; les organismes sessiles et les organismes fixés se caractérisent par la tolérance la plus faible et le taux de mortalité le plus élevé pendant les événements de sédimentation (DOER, 2005; Gates et Jones, 2012). Les suspensivores benthiques sont également particulièrement sensibles aux rejets de boues et de déblais, puisque les particules en suspension, comme celles qui forment les substrats de limon et d'argile, peuvent rester dans la colonne d'eau pendant des semaines, voire des mois, et nuire à l'alimentation et à la croissance de ces organismes (DOER, 2005; Smit et al., 2008). Par exemple, certains crustacés de la région du projet (*Leptognathiella, Pseudotanais,* et les Paratanaoidae) seront probablement les plus sensibles à l'enfouissement, puisque ces taxa

sont des filtreurs dont la motilité est extrêmement limitée (CSA, 2017; Jumars et al., 2014). En revanche, les plychètes et les espèces de mollusques qui creusent des tunnels dans les sédiments souterrains ou s'y alimentent seront probablement moins vulnérables à l'enfouissement.

Les échantillons instantanés amassés par CSA pendant l'étude environnementale de base (ÉEB) indiquent que les sédiments aux cinq sites de projets offshore (>2 500 m de profondeur) étaient principalement formés de limon ou de limon et d'argile. Par conséquent, il n'est pas attendu que les particules fines rejetées lors du forage causent des changements draconiens dans la taille médiane des grains de sédiments ou dans le type d'habitat présent dans la région du projet. Si la plage granulométrique des particules rejetées devait différer grandement des conditions actuelles, cette différence pourrait causer des changements dans la diversité benthique, étant donné que les nouvelles tailles minimale ou maximale des grains pourraient soutenir les préférences de différentes espèces, même si la taille médiane des grains demeurait la même (Smit et al., 2008). Les zones présentant les dépôts les plus épais subiront les impacts les plus importants, et se caractériseront par les taux de mortalité les plus élevés.

Les échantillons benthiques instantanés indiquaient qu'au sein de la région du projet, la diversité des espèces était importante, l'abondance de chacune de ces espèces était faible, et qu'il y avait une distribution relativement égale d'individus entre les différents taxa (CSA, 2017). Les plychètes, les malacostracés et les bivalves présentaient les abondances relatives (en pourcentage) les plus élevées dans les échantillons offshore. Les recherches antérieures sur la sédimentation et le rétablissement de l'endofaune benthique à Terre-Neuve, au Canada, ont mis en lumière une augmentation de l'abondance et de la biomasse pour certaines des espèces de plychètes et une diminution de ces caractéristiques pour d'autres espèces dans la zone entourant le site de forage. La diminution de l'abondance des espèces touchées de manière défavorable (p. ex. : Paraonidae, un taxon aussi présent dans la région du projet) s'étendait à environ 1-2 km du site du forage (Paine et al., 2014). Ces observations sont conformes aux résultats d'un examen exhaustif de la documentation portant sur les effets biologiques (comme les changements subis par la structure de la communauté benthique) à des distances de 200 à 2 000 m des plateformes forées à l'aide de fluides de forage à base d'eau (Ellis et al., 2012). il a été observé que l'amplitude des effets découlant des fluides de forage synthétiques était un peu moins grande, les effets biologiques ayant été détectés de 50 à 1 000 m du site de forage (Ellis et al., 2012). Ellis et al. (2012) ont indiqué que des changements étaient presque toujours observés dans la structure des communautés à l'intérieur d'un rayon de 300 m d'un site de forage faisant appel à des fluides à base d'eau; ces changements comprenaient des augmentations de l'abondance des espèces opportunistes, la diminution des espèces suspensivores, et l'augmentation des espèces dépositivores. Cependant, les effets biologiques seraient généralement plus importants pour les communautés épibenthiques vivant dans les herbiers et sur les substrats durs que pour les types de communautés de sédiments meubles qui dominent la région du projet.

4.2.2. Seuils de dépôt et rétablissement

Les seuils spécifiques de sédimentation qui ont fait l'objet d'essais et qui ont été présentés par Smit et al. (2008) indiquent que les espèces épibenthiques, sessiles, qui s'alimentent par

filtrage, ne peuvent pas survivre des enfouissements sous plus de 10 mm de sédiments. En revanche, les taxa d'endofaune adaptés aux habitats recouverts de sédiments pourraient survivre à un enfouissement sous 100 mm de sédiments ou plus (Kjeilen-Eilertsen et al., 2004). Dans un mésoscome et pendant une étude sur le terrain, Trannum et al. (2011) ont observé que 24 mm de déblais de forage à base d'eau réduisait la disponibilité en oxygène et l'abondance des individus macrofauniques dans les sédiments. Globalement, Smit et al. (2008) ont estimé qu'une mortalité de 5 % des organismes benthiques (y compris des mollusques, des plychètes et des crustacés) se produirait à des profondeurs d'enfouissement de 6,3 mm (3,1 - 10,6 mm) et qu'une mortalité de 50 % surviendrait à des profondeurs d'enfouissement de 54 mm (37 – 79 mm).

Les études portant sur le rétablissement post-sédimentation des communautés d'endofaune benthique présentent des résultats variables. La capacité d'une communauté benthique à se rétablir après le dépôt de sédiments dépend de la fixation des larves, du taux de bioturbation, et du mélange des sédiments par les courants (Smit et al. 2008; Jefferson et al., 2011). Comme de nombreuses espèces benthiques ont des larves pélagiques dérivantes, une nouvelle fixation des larves peut se produire plusieurs mois après les perturbations. Trannum et al. (2011) ont observé le rétablissement des communautés riches en espèces dans les 6 mois suivant la sédimentation et ont remarqué que les espèces colonisatrices les plus fécondes étaient des espèces de la famille des Spionidae de vers plychètes, qui sont présentes dans la région du projet. Dans des études réalisées dans la mer du Nord, la recolonisation des amoncellements de déblais à partir des bordures des amoncellements se produit de 1 à 5 ans après la sédimentation (Kjeilen-Eilertsen et al., 2004). Il existe peu d'information sur les échéanciers de rétablissement des habitats benthiques après le forage de plusieurs puits dans une région (Ellis et al., 2012). Les zones présentant les dépôts les plus épais dépendront probablement du déplacement et de la nouvelle fixation des larves à des fins de recolonisation, puisque la survie des organismes enfouis est peu probable. Dans les zones présentant des niveaux moindres de déposition, le rétablissement des organismes survivants qui creusent des tunnels dans les sédiments ou tamisent ceux-ci pour s'alimenter est possible, puisque ces organismes mélangent les boues et les déblais avec les sédiments indigènes et remettent lentement les habitats dans l'état qu'ils avaient avant le forage (Smit et al., 2008; Gates et Jones, 2012). Dans la région du projet, 6 des 10 espèces d'endofaune les plus abondantes étaient soit des espèces sécréteuses de tubes, soit des espèces creusant des tunnels, et elles pourraient aider à redistribuer les sédiments et à rétablir l'habitat benthique dans la région du projet (CSA, 2017).

Le temps est un facteur important pour la détermination des impacts des rejets sur l'environnement benthique; malheureusement, c'est aussi le facteur le moins compris. La définition de seuils pour les taux de déposition est peut-être la meilleure méthode pour déterminer les niveaux des effets sur les organismes benthiques, mais les données permettant d'étayer de tels seuils sont rares dans la documentation et difficiles à discerner (Kjeilen-Eilertsen et al., 2004). Par exemple, un taux de déposition particulièrement élevé pourrait être toléré s'il ne se produit aucun autre dépôt pendant quelques mois suivant l'enfouissement, ou un taux moins élevé de déposition en continu pourrait être mieux toléré par les organismes.

À l'heure actuelle, aucun seuil fiable relatif au moment et à la durée des dépôts et aux impacts sublétaux des dépôts à long terme sur l'écosystème n'a été défini (Ellis et al. (2012). De plus, de nombreuses études sur les effets biologiques des rejets de forage ont été réalisées sur le plateau continental, et l'information relative sur l'environnement en eau profonde est limitée. Les données sur l'impact cumulatif de plusieurs puits forés dans une même région sont aussi lacunaires. Une étude (Hernández Arana et al., 2005) a évalué l'impact de 200 puits dans les eaux continentales peu profondes du golfe du Mexique et a déterminé que les stations situées dans les zones avec une forte densité de sites de forage présentaient une abondance et une biomasse plus faibles comparativement aux stations où se trouvent moins de sites de forage à proximité. Les ensembles d'organismes présents étaient également différents. Les recherches portant sur les effets cumulatifs des dépôts sont limitées et doivent tenir compte des périodes de rétablissement à des échelles régionales (Ellis et al., 2012).

4.3. Méthodes d'analyse géospatiale

Les coordonnées UTM de 12 sites de puits liés aux centres de forage DC-1 et DC-3 ont été représentées sous forme graphique, et une zone tampon a été définie pour l'étendue maximale de 7 seuils d'épaisseurs de dépôts pour chacun des sites. Les distances maximales à partir du site du puits ont été calculées sur la base des résultats de la modélisation des scénarios en saison sèche et en saison humide (tableau 10).

Tableau 10. Étendue maximale des isobathes d'épaisseur (distance du site de rejet) pour chacun des scénarios modélisés et utilisés pour évaluer les dépôts cumulatifs de sédiments

Épaisseur des dépôts (mm)	Étendue maximale à partir du puits (m)	
	Toutes les sections	
	Scénario 1 (saison sèche)	Scénario 2 (saison humide)
0,1	960	1220
0,5	580	370
1	250	240
5	70	65
10	50	50
50	26	26
100	19	19

Les zones tampons concentriques autour de chacun des puits sont une représentation conservatrice des zones de préoccupation potentiellesassociées au dépôt de sédiments provenant de toutes les sections de forage de chacun des puits. Aux fins de cette analyse, le caractère directionnel des dépôts de sédiments modélisés au site du puits T-1 a été retiré des calculs, afin de tenir compte des valeurs différentes possibles associées aux courants, à la bathymétrie et aux configurations de dépôts qui en découlent aux autres sites de puits. En conséquence, les zones d'épaisseur décrites dans cette section devraient être considérées comme étant des estimations générales des zones de préoccupation (ZDP) maximales liées au dépôt potentiel de sédiments autour des sites des puits, plutôt que comme des prédictions des zones affectées par la sédimentation sur la base d'une modélisation directe pour chacun des puits. La figure 12 illustre les différences spatiales dans les isobathes d'épaisseur résultant de la modélisation, ainsi que les ZDP pour les épaisseurs de dépôt potentiel autour de chacun des sites de puits. Les ZDP représentent la distance maximale

des dépôts par rapport au puits pour chacun des scénarios modélisés, dans toute direction à partir du point de rejet.

Un seuil d'épaisseur de dépôt a été attribué à chacun des polygones-tampons, et ces polygones ont été convertis en fichiers de données tramées dont les cellules ont une taille de 20 mètres x 20 mètres. L'outil Cell Statistics (statistiques des cellules) du module Spatial Analyst (module d'analyse spatiale) a été utilisé pour détecter la valeur maximale de chaque cellule dans la ZDP située autour de chacun des puits. Cette étape a retiré le chevauchement des régions-tampons correspondant au même site de puits. Enfin, l'outil Cell Statistics a été utilisé de nouveau pour faire la somme des fichiers tramés de l'épaisseur des dépôts, en tenant compte de plusieurs configurations :

- Tous les puits, scénario de la saison sèche;
- Tous les puits, scénario de la saison humide;
- Puits séquentiels (2020-2021), scénario de la saison sèche;
- Puits séquentiels (2020-2021), scénario de la saison humide;
- Puits de 2025, scénario de la saison sèche;
- Puits de 2025, scénario de la saison humide;
- Puits de 2028, scénario de la saison sèche;
- Puits de 2028, scénario de la saison humide;
- Puits de 2032, scénario de la saison sèche; et
- Puits de 2032, scénario de la saison humide.

Enfin, le nombre de cellules de chacun des fichiers tramés additionnés qui faisaient partie de plages d'épaisseurs spécifiques a été enregistré dans le but de calculer la zone où l'épaisseur des dépôts dépasse les seuils et pour évaluer le pourcentage de chevauchement de dépôts dans les ZDP entre les puits, et ce, pour chacune des configurations.

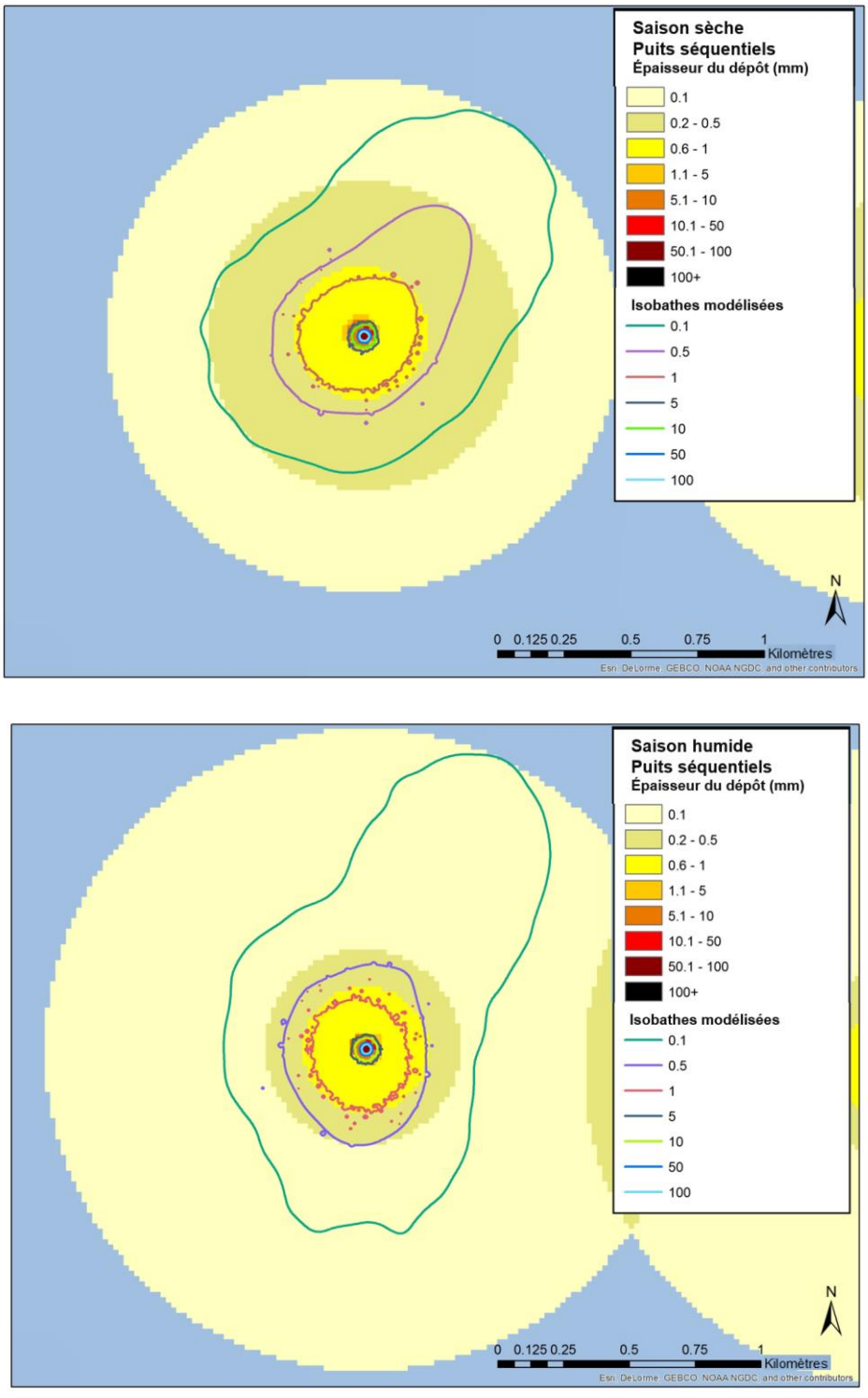


Figure 12. Comparaison des isobathes modélisées des dépôts sur le plancher océanique au site de puits T-1 pendant les scénarios de saison sèche (en haut) et de saison humide (en bas) avec les zones potentielles de dépôts cumulatives définies à l'aide de l'analyse géospatiale (voir la légende)

4.4. Résultats des dépôts cumulatifs

Les résultats de l'analyse géospatiale des dépôts cumulatifs sont présentés sous les formes suivantes :

- Des cartes des dépôts cumulatifs pour les deux saisons, qui sont la somme des dépôts dans les ZDP provenant de tous les puits, en supposant qu'il n'y a aucune période de temps qui séparent les différents épisodes de forage (figure 13);
- Des cartes temporelles pour les deux saisons, qui représentent tous les sites de puits et la somme de leurs ZDP de dépôt, en fonction du calendrier de forage : 4 puits séquentiels en 2020-2021, 3 puits en 2025, 2 puits en 2028 et 3 puits en 2032. Ces cartes illustrent le chevauchement spatial des puits forés à des moments différents, mais n'additionnent pas les épaisseurs des ZDP des puits dont le forage est prévu à des moments différents, même si ces zones se chevauchent dans l'espace (figure 14); et
- Des cartes de dépôts cumulatifs pour les deux saisons, qui montrent seulement les puits qui ont été additionnés en fonction de l'échéancier de forage (figures 15, 16, 17 et 18).

Chaque paire de cartes pour la saison humide/la saison sèche dans une même figure est présentée avec une échelle spatiale identique; cependant, l'échelle des cartes peut varier d'une figure à une autre.

En plus des figures sous forme de cartes, le pourcentage de la zone faisant partie de chacune des ZDP associée à une épaisseur de dépôt donnée et le pourcentage de chevauchement entre les ZDP de différents sites de puits sont présentés dans les tableaux 11 et 12 ci-dessous.

Tableau 11. Pourcentage de la zone de préoccupation maximale pour chacune des plages de seuils d'épaisseur dans le scénario de la saison sèche

Plage d'épaisseurs des dépôts (mm)	Cumulatif (tous les puits)	Puits séquentiels	Puits de 2025	Puits de 2028	Puits de 2032
0,1	56,7	63,5	50,7	63,5	63,5
0,2 – 0,5	30,3	29,8	23,4	29,8	29,7
0,6 – 1,0	11,3	6,3	20,0	6,2	6,2
1,1 – 5,0	1,3	0,3	5,3	0,2	0,3
5,1 – 10	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
10,1 – 50	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0
50,1 - 100	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
100+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% de chevauchement entre les ZDP des puits — saison sèche	10,5	0,0	28,7	0,0	0,0

Tableau 12. Pourcentage de la zone de préoccupation maximale pour chacune des plages de seuils d'épaisseur dans le scénario de la saison humide

Plage d'épaisseurs des dépôts (mm)	Cumulatif (tous les puits)	Puits séquentiels	Puits de 2025	Puits de 2028	Puits de 2032
0,1	74,3	88,7	59,5	90,8	90,8
0,2 – 0,5	19,6	7,3	31,9	5,3	5,4
0,6 – 1,0	4,7	3,7	5,2	3,6	3,6
1,1 – 5,0	1,2	0,1	3,1	0,1	0,1
5,1 – 10	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
10,1 – 50	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
50,1 - 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% de chevauchement entre les ZDP des puits — saison humide	18,0	1,9	35,9	0,0	0,0

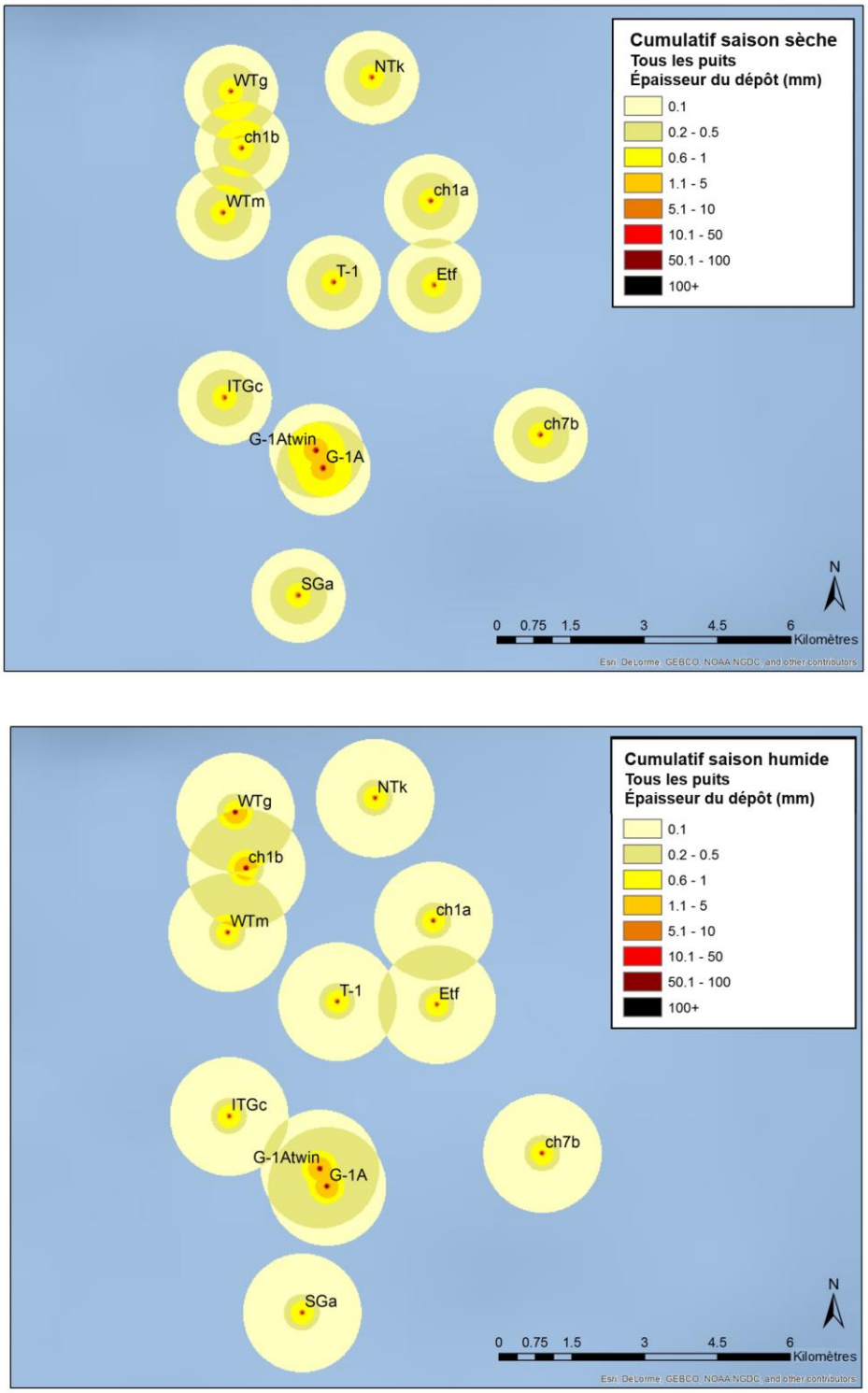


Figure 13. Dépôts cumulatifs provenant des 12 puits pour les scénarios de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas)

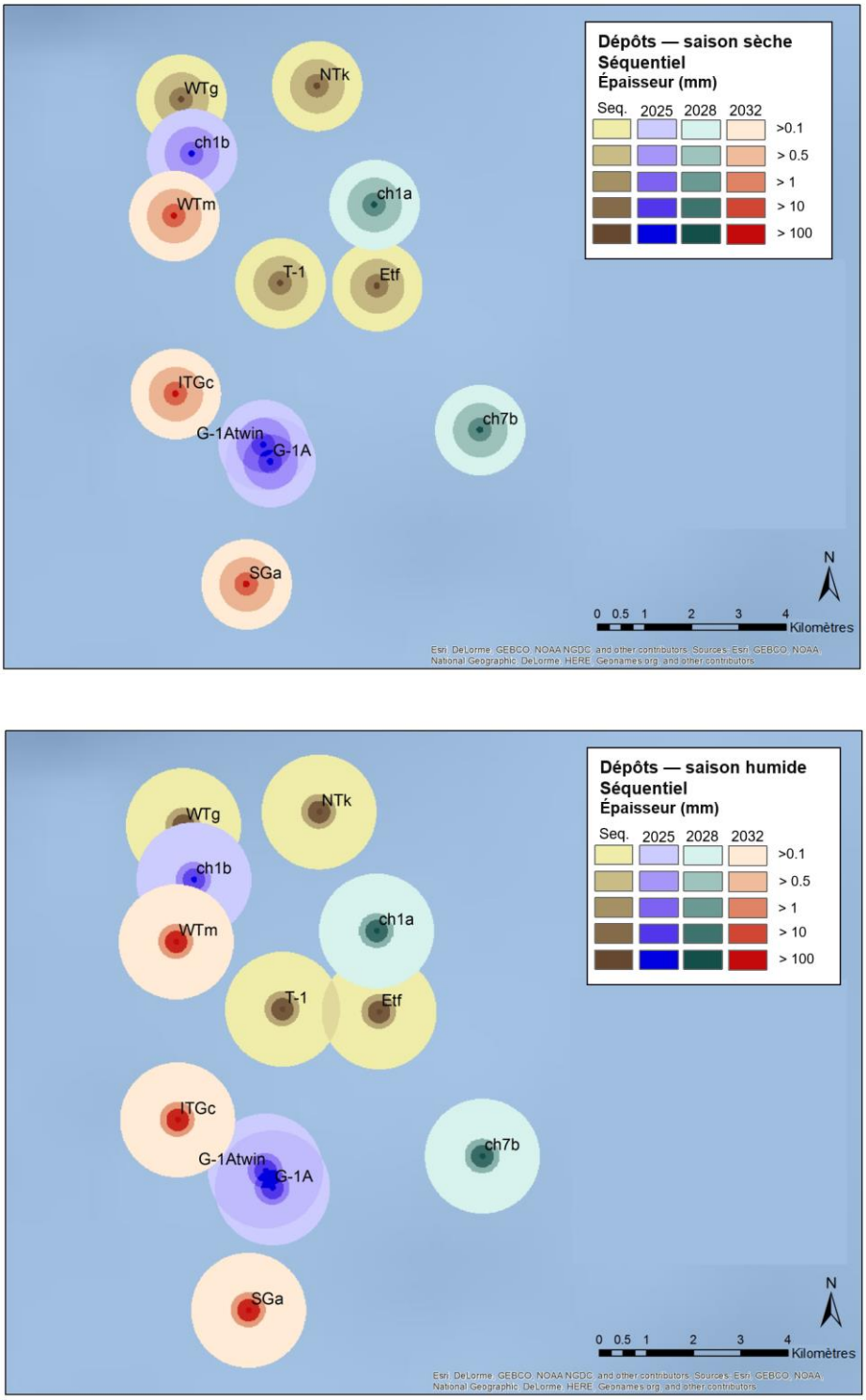


Figure 14. Représentation temporelle des dépôts cumulatifs en fonction du calendrier de forage pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas). Le chevauchement spatial n'est représenté que pour les puits dont le forage est prévu pendant la même période : puits séquentiels (2020-2021), puits de 2025, puits de 2028, ou puits de 2032.

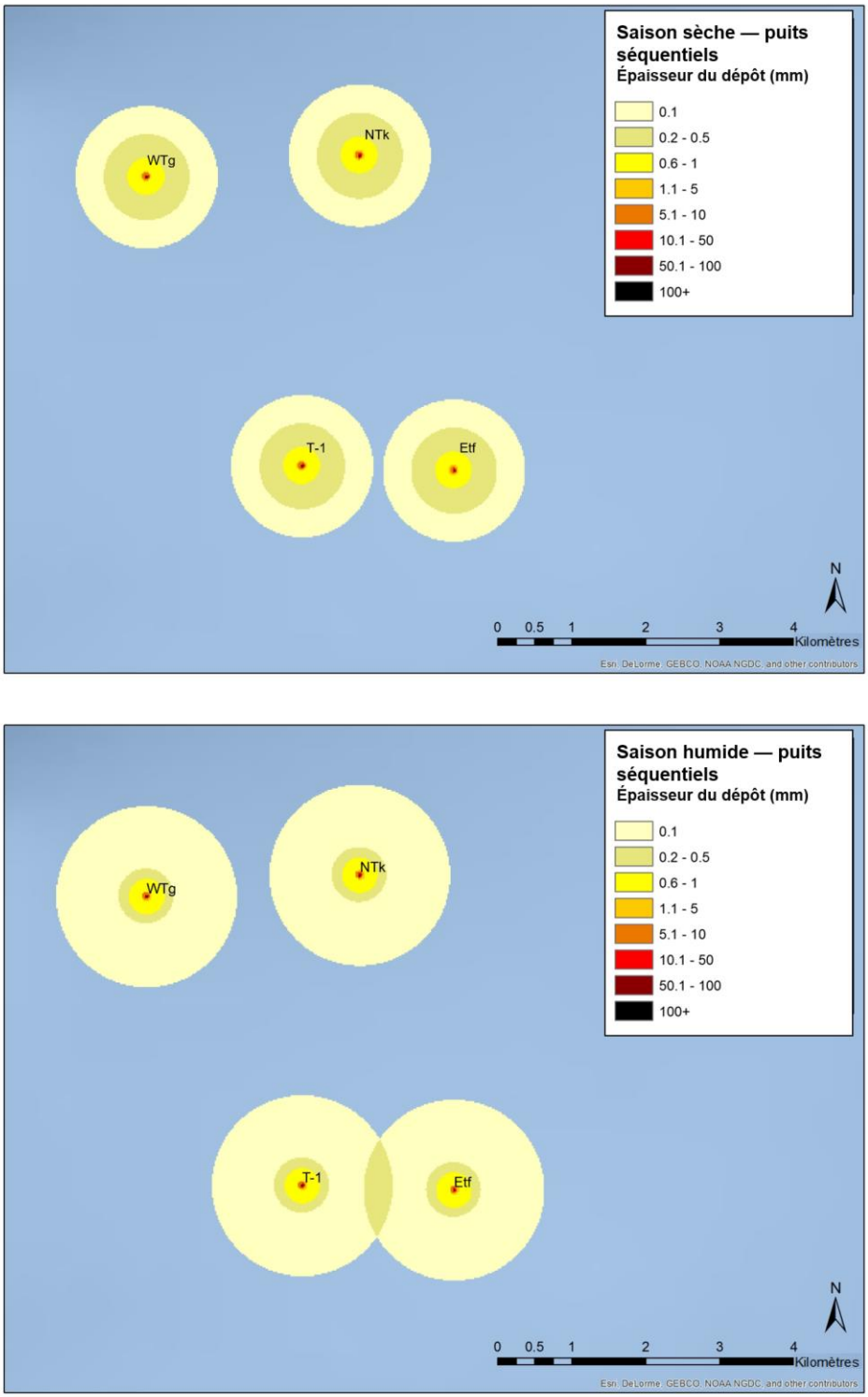


Figure 15. Dépôts cumulatifs provenant des quatre puits dont le forage est prévu de manière séquentielle en 2020-2021, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas)

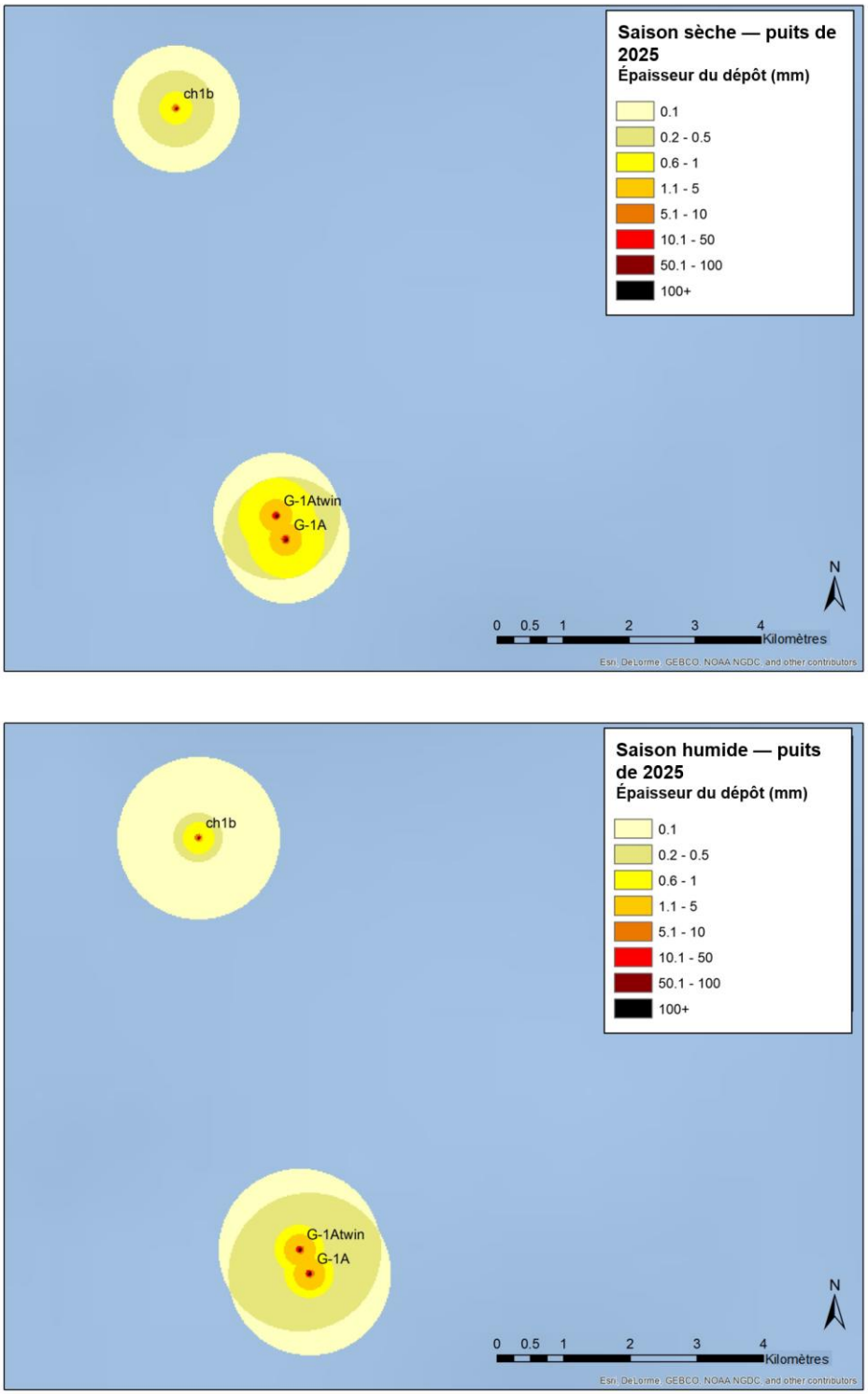


Figure 16. Dépôts cumulatifs provenant des trois puits dont le forage est prévu en 2025, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas)

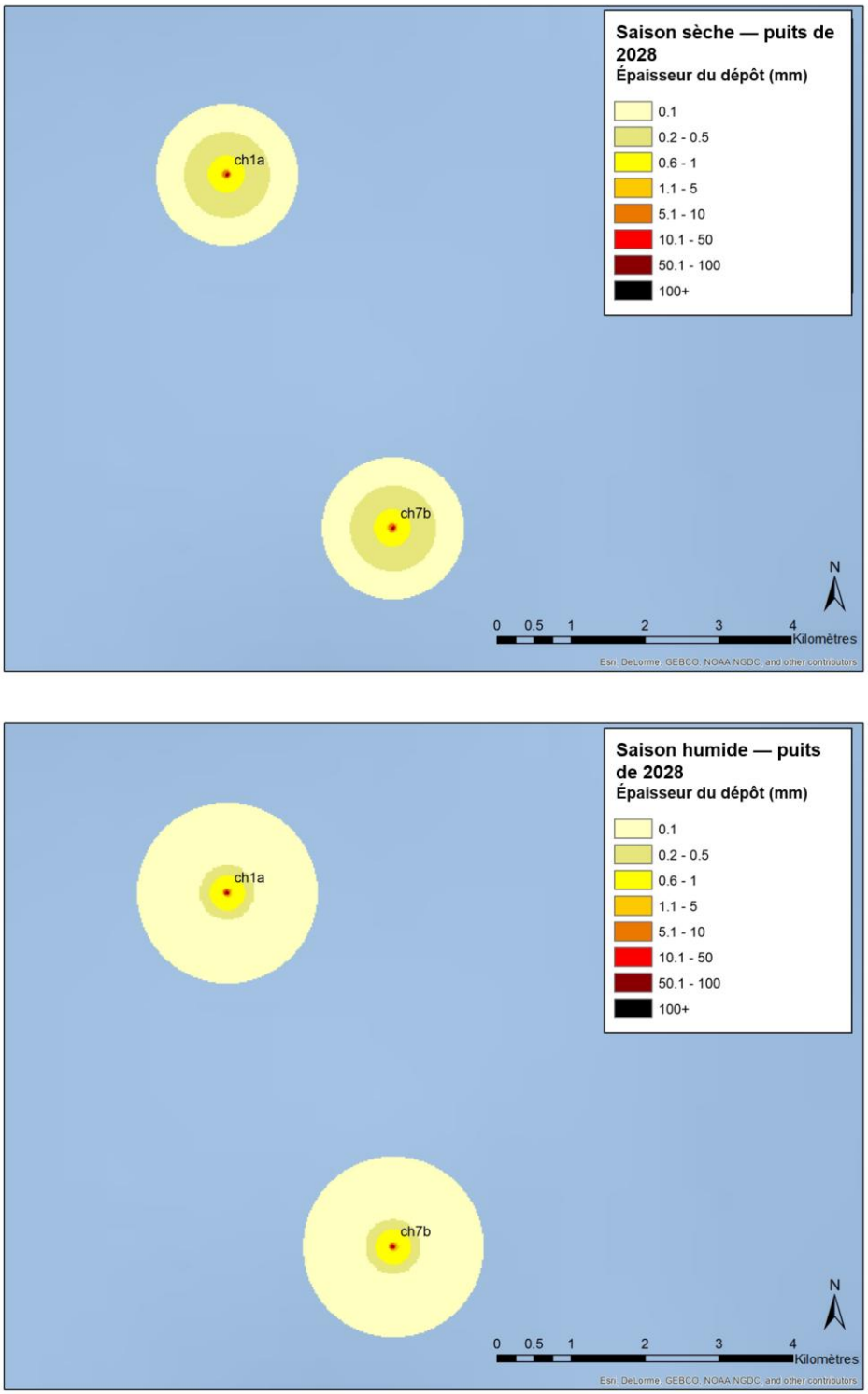
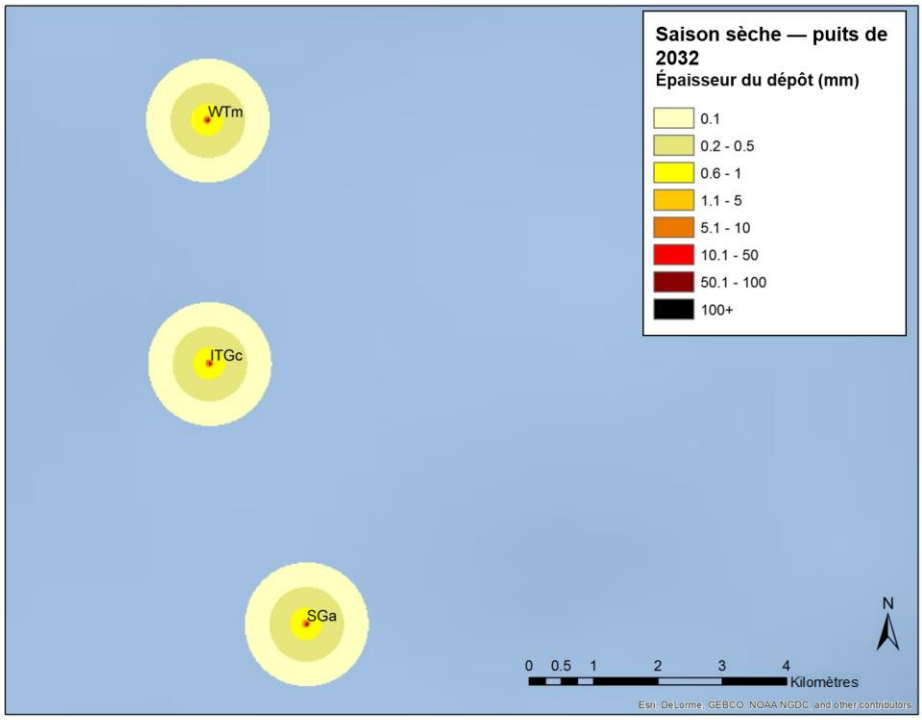


Figure 17. Dépôts cumulatifs provenant des deux puits dont le forage est prévu en 2028, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas)



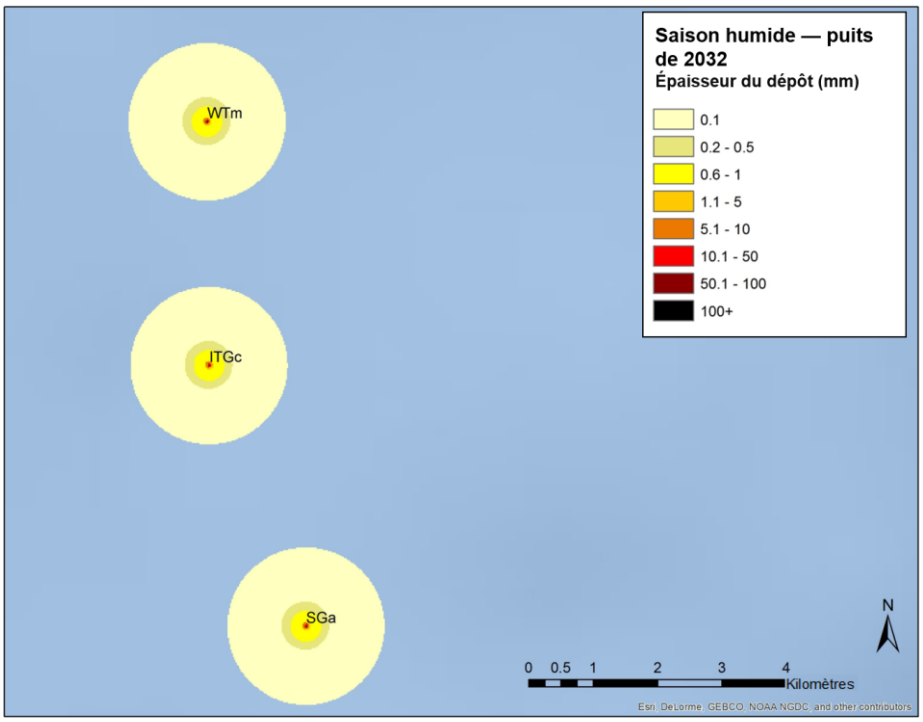


Figure 18. Dépôts cumulatifs provenant des trois puits dont le forage est prévu en 2032, pour le scénario de la saison sèche (en haut) et de la saison humide (en bas)

4.5. Analyse des résultats

Comme le montrent les figures de la section 4.4, les ZDP des dépôts maximaux possibles varient quelque peu entre le scénario de la saison sèche et celui de la saison humide. Pendant la saison sèche, l'étendue maximale du seuil d'épaisseur de dépôt de 0,1 mm était inférieure à celle de la saison humide, ce qui laisse supposer que pendant la saison sèche, les courants déplacent moins de sédiments en suspension que pendant la saison humide. Ainsi, pendant la saison sèche, l'étendue maximale de tous les autres seuils d'épaisseur était supérieure à celle de la saison humide, puisque les rejets de forage ne se dispersaient pas aussi loin. L'étendue maximale des seuils d'épaisseurs les plus élevés (10 mm, 50 mm et 100 mm) était identique pour les deux scénarios (saison sèche et saison humide) (tableau 10).

Dans les cartes cumulatives illustrant le chevauchement spatiotemporel des ZDP de tous les puits en même temps pour chacune des saisons (figure 13), on remarque un chevauchement possible entre les ZDP de 7 puits dans le scénario de la saison sèche et de 9 puits dans le scénario de la saison humide (figure 13). Ce chevauchement entre les ZDP de différents puits représente environ 10 % de la superficie totale des ZDP dans le scénario de la saison sèche et 18 % de cette superficie dans le scénario de la saison humide. La majeure partie de la superficie des ZDP se caractérise par des épaisseurs de dépôt inférieures à 1,0 mm dans les deux scénarios de saisons (98,3 % pour la saison sèche, 98,5 % pour la saison humide; voir tableaux 11 et 12). Les épaisseurs de dépôts qui pourraient entraîner plus de 5 % de mortalité chez les organismes benthiques (> 6,4 mm, ou 5,1 – 50 mm dans la présente analyse) formaient 0,3 % de la ZDP cumulative pour le scénario de la saison sèche, et 0,2 % de la ZDP cumulative pour le scénario de la saison humide, soit une superficie d'environ 0,09 km^2 pour ces deux scénarios. Les épaisseurs de dépôt qui peuvent causer plus de 50 % de mortalité chez les organismes benthiques (> 54 mm, ou 50,1 – 100+ mm dans la présente analyse), formaient< 0 01 % de la ZDP cumulative, soit une superficie de 0,02 km^2 pour les deux scénarios saisonniers.

Dans les cartes temporelles représentant différentes configurations de puits selon l'échéancier de forage, il est indiqué que le potentiel d'accumulation de sédiments est inférieur dans les ZDP qui se chevauchent, en supposant que les communautés benthiques peuvent se rétablir entre les campagnes de forage (figure 14). Il est à noter que cette hypothèse est considérable, étant donné que les campagnes de forage sont prévues à des intervalles de 3 à 5 ans et que les périodes de rétablissement en eau profonde peuvent durer de nombreuses années. Des quatre campagnes de forage prévues (puits séquentiels de 2020-2021, puits de 2025, puits de 2028 et puits de 2032), aucun chevauchement spatiotemporel entre les ZDP des puits qui doivent être forés en 2028 (figure 17) ou en 2032 (figure 28) n'est observé, quel que soit le scénario saisonnier. Pour les puits séquentiels (figure 15), un chevauchement de 1,9 % dans la ZDP pour la saison humide seulement est observé. Le plus grand pourcentage de chevauchement spatiotemporel entre les ZDP se produit pour les puits de 2025 : il est de 28,7 % en saison sèche et de 35,9 % en saison humide. Ce chevauchement conduit à des épaisseurs de dépôts qui peuvent entraîner une mortalité de 5 % des organismes dans 0,5% de la ZDP de 2025 en saison sèche et de 0,3 % en saison humide, soit sur une superficie d'environ 0,03 km^2. Les épaisseurs de dépôts qui peuvent entraîner une mortalité de 50 % des organismes touchaient 0,10 % des ZDP de

2025 en saison sèche et de 0,07 % en saison humide, soit sur une superficie d'environ 0,01 km^2.

Références

Brandsma, M.G. et Smith, J.P. (1999). Offshore Operators Committee mud and produced water discharge model — rapport et guide d'utilisateur. Exxon Production Research Company, décembre 1999.

Chandrasekara, W.U. et C.L.J. Frid. (1998). A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two epibenthic gastropod species, *Hydrobia ulvae* and *Littorina littorea*, after burial in sediment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 221(2): 191-207.

CSA Ocean Sciences Inc. (CSA). (2017). Rapport d'étude environnementale de base sur le terrain pour le projet Amheyim/Guembeul de production de gaz. Rapport préparé pour Kosmos Energy LLC, novembre 2017. 64 pp. + annexes.

Cummings, J.A. et O. M. Smedstad. (2013). Variational Data Assimilation for the Global Ocean. Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications vol II, chapter 13, 303-343.

Cummings, J.A. 2005. Operational multivariate ocean data assimilation. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, Part C, 131(613), 3583-3604.

Dames et Moore. (1978). Drilling fluid dispersion and biological effects study for the lower Cook inlet C.O.S.T. well. Rapport soumis à Atlantic Richfield Co. par Dames et Moore, Anchorage, Alaska. Avril 1978.

Ellis, J.I., G. Fraser et J. Russell. (2012). Discharged drilling waste from oil and gas platforms and its effects on benthic communities. Marine Ecology Progress Series. Vol. 456: 285-302.

Fox, D.N., W.J. Teague, C.N. Barron, M.R. Carnes et C.M. Lee. (2002). The Modular Ocean Data Assimilation System (MODAS). J. Atmos. Ocean. Technol., 19, 240-252.

Gates A.R. et D.O.B. Jones. (2012). Recovery of benthic megafauna from anthropogenic disturbance at a hydrocarbon drilling well (380 m depth in the Norwegian Sea). PLoS ONE, 7, e44114.

Gibbs, R.J., M.D. Matthews et D.A. Link. (1971). The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Research*, v. 41, 7-18.

Glover, A.G. et C.R. Smith. (2003). The deep-sea floor ecosystem: current status and prospects of anthropogenic change by the year 2025. Environmental Conservation 30, 219-241.

Hernández Arana, H.A., R.M. Warwick, M.J. Attrill, A.A. Rowden et G. Gold-Bouchot (2005).

Assessing the impact of oil-related activities on benthic macroinfauna assemblages of the Campeche shelf, southern Gulf of Mexico. Marine Ecology Progress Series. Vol. 289:89-107.

Hutchison, Z.L., V.J. Hendrick, M.T Burrows, B. Wilson et K.S. Last. (2016). Buried alive: the behavioural response of the mussels, *Modiolus* and *Mytilus edulis* to sudden burial by sediment. PLoS ONE 11(3): e0151471. doi: 10.1371/journal.pone.0151471.

Jimenez, M.P., R. Sanchez-Leal, C. Gonzalez, E. Garcia-Isarch et A. Garcia. (2014).

Oceanographic scenario and fish larval distribution off Guinea-Bissau (north-west Africa). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1-18.

Kjeilen-Eilertsen, G., H. Trannum, R. Jak, M. Smit, J. Neff et G. Durell. (2004). Literature report on burial: derivation of PNEC as component in the MEMW model tool. ERMS Report no. 9B. Rapport AM 2004/024. 25 pp.

Paine, M. D., E.M. DeBlois, B.M. Kilgour, E. Tracy, P. Pocklington, R. D. Crowley, U. P. Williams et G.G. Janes. (2014). Effects of the Terra Nova offshore oil development on benthic macro-invertebrates over 10 years of development drilling on the Grand Banks of Newfoundland, Canada. Deep Sea Res. II 110, 38–64.

Smit, M.G., K.I. Holthaus, H.C. Trannum, J.M. Neff, G. Kjeilen-Eilertsen, R. G. Jak, I. Singsaas, M.A. Huijbregts et A.J. Hendriks. (2008). Species sensitivity distributions for suspended clays, sediment burial, and grain size change in the marine environment. Environmental Toxicology and Chemistry. 27(4):1006-12.

Southwest Research Institute. (2003). Drill cuttings fall velocity tests. Final Report submitted to the American Petroleum Institute. San Antonio, Texas. SwRI Project 18.06134.

Spaulding, M.L., T. Isaji et E. Howlett. (1994). MUDMAP: A model to predict the transport and dispersion of drill muds and production water, Applied Science Associates, Inc., Narragansett, Rhode Island.

Trannum, H.C., A. Setvik, K. Norling et H.C. Nilsson. (2011). Rapid macrofaunal colonization of water- based drill cuttings on different sediments. Marine Pollution Bulletin 62, 2145-2156.

Wilber, D.H., W. Brostoff, D.G. Clarke et G.L. Ray. (2005). Sedimentation: potential biological effects of dredging operations in estuarine and marine environments. US Army Engineer Research and Development Center DOER-E. 15 pp.

Annexe A : Description du modèle MUDMAP

MUDMAP est un modèle informatique pour ordinateurs personnels conçu par ASA qui permet de prédire le transport, la dispersion et la déposition de fond en champ proche et en champ éloigné des boues et des déblais de forage et de l'eau produite (Spaulding et al; 1994). Dans le modèle MUDMAP, les équations gouvernant la conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de la flottabilité et des flux de particules solides sont formulées à l'aide de la théorie de panache intégral, puis résolues au moyen d'une technique d'intégration numérique de Runge-Kutta. Ce modèle comprend trois étapes :

Étape 1 : **Étape de descente convective/de jet** — La première étape détermine la dissolution initiale et l'étalement des substances à proximité immédiate du lieu de rejet. Ces valeurs sont calculées en fonction de la vitesse du rejet, de sa quantité de mouvement, de son entraînement et de la traînée.

Étape 2 : **Étape de rupture de la dynamique** — La deuxième étape détermine l'étalement et la dissolution des substances rejetées lorsqu'elles atteignent la surface ou le fond de l'océan ou restent emprisonnées dans un fort gradient de densité dans la colonne d'eau. L'advection, les différences de densité et les gradients de densité entraînent le déplacement du panache.

Étape 3 : **Étape de dispersion —** Lors de la dernière étape, le modèle prédit le transport et la dispersion par les courants locaux des substances rejetées. La dispersion des substances rejetées est accrue lorsque les vitesses des courants et la profondeur de l'eau augmentent; elle augmente également lorsque les variations dans la direction des courants et la profondeur augmentent aussi.

Le modèle MUDMAP est fondé sur l'approche théorique initialement mise au point par Koh et Chang (1973) et peaufinée et étendue par Brandsma et Sauer (1983) ainsi que Khondaker (2000) pour les étapes de descente/ascension convectives et de rupture de la dynamique. L'étape de diffusion passive en champ éloignée est fondée sur un modèle de parcours aléatoire fondé sur les particules. Ce modèle est identique au modèle de parcours aléatoire utilisé dans le système de modélisation des déversements OILMAP d'ASA (ASA, 1999).

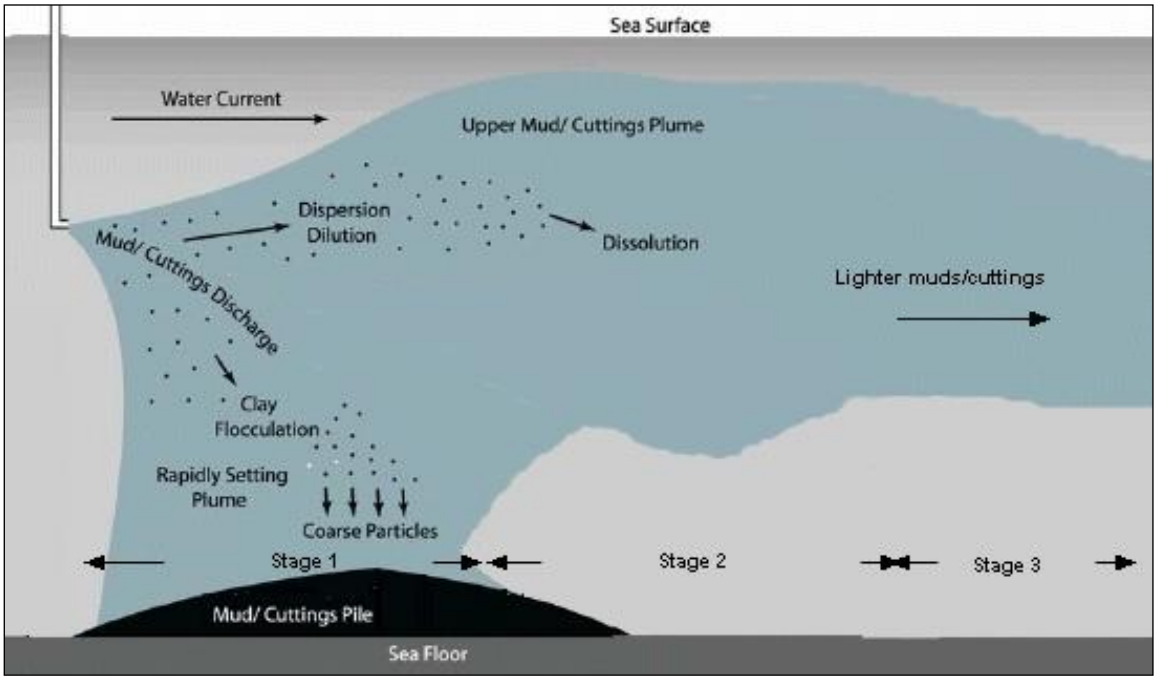


Figure A1. Diagramme conceptuel montrant le comportement général des déblais et des boues après leur rejet dans l'océan et les trois phases distinctes de rejets (selon Neff, 2005)

Les résultats du modèle comprennent des calculs du mouvement et de la forme du panache de rejets, des concentrations des composantes solubles (p. ex. : pétrole dans l'eau produite) et insolubles (p. ex. : déblais et boues) dans la colonne d'eau, et de l'accumulation des matières solides rejetées sur le plancher océanique. Le modèle prédit l'évolution initiale des matières solides rejetées, du moment de leur rejet jusqu'à leur dépôt initial sur le plancher océanique. Comme le modèle MUDMAP ne tient pas compte de la remise en suspension et du transport des matières déjà rejetées, il fournit une estimation conservatrice des concentrations possibles sur le plancher océanique (Neff, 2005).

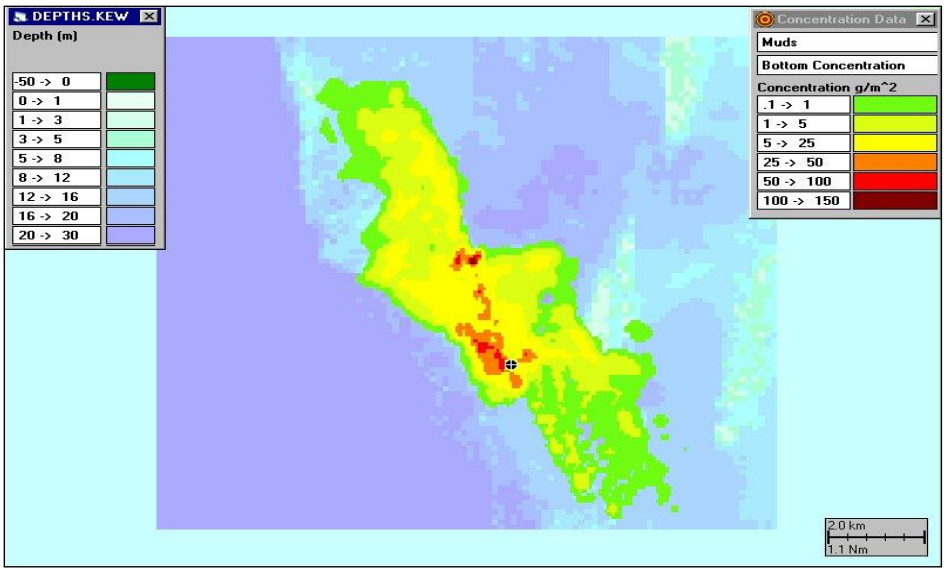


Figure A2. Exemple de résultat de concentration sur le plancher océanique pour un rejet de fluides de forage, calculé à l'aide du modèle MUDMAP

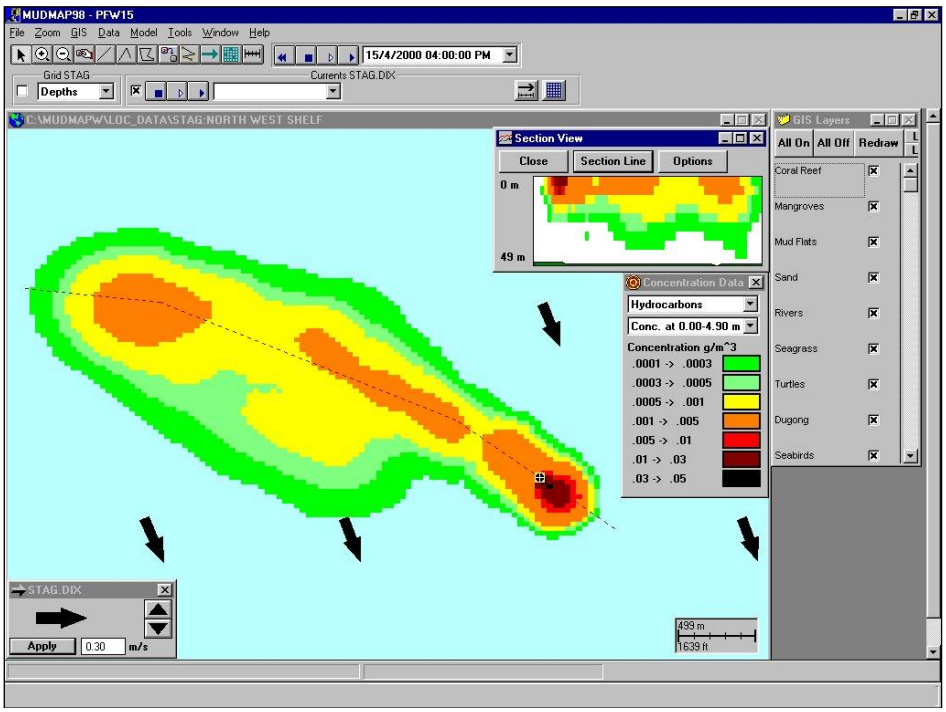


Figure A3. Exemple de résultat propre à la colonne d'eau pour un rejet de fluide de forage, calculé à l'aide du modèle MUDMAP

MUDMAP utilise une interface utilisateur graphique en couleur et fournit un système d'information géographique intégré, des outils de gestion de données environnementales, et des procédures de saisie de données et d'animation des résultats du modèle. Le système peut être facilement appliqué à n'importe quel endroit dans le monde. L'utilisation du modèle MUDMAP pour prédire le transport et le dépôt de fluides de forages légers et lourds au large de Pt. Conception, en Californie, et de la dynamique en champ proche du panache d'une expérience de laboratoire pour des boues à plusieurs composantes rejetées dans une colonne d'eau mouvante uniforme et stratifiée est présentée dans Spaulding et al. (1994). King et McAllister (1997, 1998) présentent l'utilisation et la vérification exhaustive du modèle pour un rejet d'eau produite sur le plateau du nord-ouest de l'Australie. GEMS (1998) a fait appel au modèle pour évaluer la dispersion et le dépôt de déblais de forage rejetés au large de la côte du nord-ouest de l'Australie.

Références relatives au modèle MUDMAP

Applied Science Associates (ASA). 1999. OILMAP technical and user's manual, Applied Science Associates, Inc., Narragansett, RI.

Brandsma, M.G., et T.C. Sauer, Jr. 1983. The OOC model: prediction of short term fate of drilling mud in the ocean, Part I model description and Part II model results. Proceedings of Workshop on an Evaluation of Effluent Dispersion and Fate Models for OCS Platforms, Santa Barbara, California.

GEMS— Global Environmental Modeling Services. 1998. Quantitative assessment of the dispersion and seabed depositions of drill cutting discharges from Lameroo-1 AC/P16, préparé pour Woodside Offshore Petroleum. Préparé par Global Environmental Modeling Services, Australie, 16 juin 1998.

King, B., et F.A. McAllister. 1997. Modeling the dispersion of produced water discharge in Australia, Volume I and II. Rapport de l'Australian Institute of Marine Science remis à l'APPEA et au ERDC.

King, B., et F.A. McAllister. 1998. Modeling the dispersion of produced water discharges. APPEA Journal 1998, pp. 681-691.

Koh, R.C.Y., et Y.C. Chang. 1973. Mathematical model for barged ocean disposal of waste. Environmental Protection Technology Series EPA 660/2-73-029, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.

Khondaker, A.N. 2000. Modeling the fate of drilling waste in marine environment – an overview. Journal of Computers and Geosciences Vol. 26, pp. 531-540.

Neff, J. 2005. Composition, environment fates, and biological effect of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment: A synthesis and annotated bibliography. Rapport préparé pour le Petroleum Environment Research Forum et l'American Petroleum Institute.

Spaulding, M.L., T. Isaji, et E. Howlett. 1994. MUDMAP: A model to predict the transport and dispersion of drill muds and production water, Applied Science Associates, Inc, Narragansett, Rhode Island.

ANNEXE M : RAPPORT DE MODÉLISATION DE L'ENTRAÎNEMENT DU PLANCTON

Rapport de modélisation de l'entraînement du plancton

N^{O} DE DOCUMENT CSA-GOLDER-KOSMOS-FL-18-80098-3086-01-REP-03

VERSION	DATE	DESCRIPTION	PRÉPARÉ PAR :	RÉVISÉ PAR :	APPROUVÉ PAR :
03	2018-02-06	Révisé	D. Snyder	B. Balcom	B. Balcom
04	2018-03-28	Révisé	D. Snyder B. Douglas	B. Balcom	B. Balcom
05	05/18/18	Révisé	D. Snyder	B. Balcom	D. Snyder B. Balcom

La version électronique PDF de ce document est la copie maîtresse contrôlée en tout temps. On considère les exemplaires imprimés comme étant non contrôlés, et il incombe à la personne qui l'a en sa possession de s'assurer que cet exemplaire est à jour. Les exemplaires contrôlés sont accessibles sur le site du réseau du système de gestion (*Management System*) ou disponible sur demande en communiquant avec l'équipe de production des documents.

Table des matières

Page

1.0 Introduction 1
2.0 Objectifs 1
3.0 Méthodes 2
3.1 Tâche 1 — Calculs relatifs à la source d'eau 2
3.2 Tâche 2 — Échantillonnage du plancton 6
3.3 Tâche 3 — Estimer la valeur de l'entraînement proportionnel et du taux de mortalité proportionnel spécifiques aux espèces 6
4.0 Résultats 7
4.1 Composition et densités de l'ichtyoplancton 7
4.2 Composition et densités du zooplancton 15
4.3 Taux d'entraînement 17
4.3.1 Ichtyoplancton 17
4.4 Taux de mortalité proportionnel 19
5.0 Discussion 20
6.0 Résumé 21
7.0 Documentation citée 23

Liste des tableaux

Tableau **Page**

Tableau 1 Liste phylogénique des taxa de larves de poissons prélevées dans les échantillons de plancton à l'hiver 2016 (n=12) et à l'été 2017 (n=10) dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes 9

Tableau 2 Moyennes et écarts-types (ÉT) des nombres totaux de larves de poissons et des densités d'œufs (n x 100 m-3) prélevés dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017 Les échantillons (n=3) ont été prélevés dans chacune des combinaisons de période (jour/nuit) et de strate supérieure/inférieure dans la colonne d'eau. 12

Tableau 3 Résultats de l'analyse de variance à deux critères relativement aux effets de la période de la journée (jour/nuit) et de la profondeur (strates de la colonne d'eau) sur la densité des larves et des œufs de poissons recueillis dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017. DDL = Degrés de liberté; MQ = Moyenne quadratique; F= ratio de Fisher (MQ/variance résiduelle). Les résultats significatifs ($p<0,05$) sont indiqués en caractères gras. 13

Tableau 4 Densités moyennes (individus m^{-3}) des principaux groupes de zooplancton présents dans les échantillons prélevés dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017, présentées en ordre alphabétique de groupe 16

Tableau 5 Moyennes et écarts-types (ÉT) des densités totales de zooplancton (individus m^{-3}) prélevées dans la région du terminal du hub GNL près des côtes, dans la zone de mi-profondeur et dans la zone offshore pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017 17

Tableau 6 Résultats de l'analyse de variance à deux critères pour la densité des individus de zooplancton (individus m^{-3}) prélevés dans la région du terminal du hub GNL près des côtes pendant l'étude de l'été 2017. DDL = Degrés de liberté; MQ = Moyenne quadratique; F= ratio de Fisher (MQ/variance résiduelle). Les résultats significatifs sont indiqués en caractères gras. 17

Tableau 7 Estimation de l'entraînement d'ichtyoplancton pour les 10 taxa les plus abondants prélevés dans la partie supérieure (0 à 10 m) de la colonne d'eau dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017 R = ordre d'importance en matière d'abondance 18

Tableau 8 Estimation de l'entraînement d'ichtyoplancton pour les 10 taxa les plus abondants prélevés dans la partie inférieure (10 à 20 m) de la colonne d'eau dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017. R = ordre d'importance en matière d'abondance 19

Tableau 9 Estimations du taux de mortalité proportionnel (TMP) des larves de certaines espèces de poissons 20

Liste des figures

Figure		Page
Figure 1	Vélocités du courant régional des îles Canaries estimées à partir du Global Drifter Program. La zone du projet se situe en région offshore le long de la latitude 16° N; elle est représentée par un ovale rouge. Volet du haut = hiver; volet du bas = été.	3
Figure 2	Superficie de la source d'eau identifiée pour les installations de GNL proposées près des côtes	5
Figure 3	Mesures de la longueur totale des larves de poissons (exception faite des anguilles) prélevées dans la zone côtière à l'hiver 2016, par strate de profondeur	14
Figure 4	Mesures de la longueur totale des larves de poissons prélevées dans la zone côtière à l'été 2017, par strate de profondeur	15

1.0 Introduction

Le projet Ahmeyim/Guembeul (A/G) de GNL proposé, comme décrit en détail dans la **section 2 de l'EIES**, a pour objectif de transporter le gaz naturel extrait des puits situés à environ 125 km offshore par pipeline vers un navire de FPSO (unité flottante de production, stockage et déchargement) à des fins de traitement. Le gaz traité sera transporté par pipeline vers les installations du terminal du hub GNL près des côtes, situé en région offshore de la frontière maritime mauritano-sénégalaise. Dans le terminal du hub GNL près des côtes, le gaz naturel sera liquéfié par un navire de liquéfaction et d'entreposage flottant de gaz naturel (FLNG) à des fins de stockage et de transfert périodique vers des navires transporteurs de GNL conçus pour acheminer ce gaz à des marchés étrangers. La liquéfaction du gaz nécessitera l'extraction d'un volume considérable d'eau de mer dans la zone entourant les installations du hub du terminal GNL près des côtes. Le présent rapport présente une évaluation préliminaire des impacts environnementaux possibles de l'extraction de l'eau de mer sur les organismes planctoniques se trouvant dans ce volume d'eau qui ne seront pas en mesure de s'en échapper ou de ne pas être entraînés dans le volume extrait.

Il est prévu que le projet proposé liquéfie environ 16 000 m^3 de gaz par jour (Golar LNG, 2017). Le processus dans son ensemble nécessitera l'utilisation d'un volume d'eau de mer pouvant atteindre 54 000 m^3 par heure, soit 38 000 m^3 pour la liquéfaction, 12 500 m^3 pour refroidir les condensateurs et environ 3 000 m^3 pour refroidir les salles des moteurs. Par conséquent, le volume quotidien total de l'apport en eau de mer est de 1,296 million m^3. Cette eau sera prélevée à l'aide de caissons de prise d'eau (grands réservoirs) situés dans la coque du FLNG.

De tels volumes considérables d'eau contiendront une grande quantité de plancton qui pourrait être entraîné dans le système avec l'eau. En supposant que tous les organismes planctoniques entraînés mourront, il existe des préoccupations relativement aux effets à long terme, sur les niveaux des populations, du retrait de grands nombres d'individus de plancton (incluant des organismes aux stades d'œufs et de larves de poissons et d'invertébrés) provenant de plusieurs espèces de poissons et d'invertébrés vivant dans les eaux locales.

Le zooplancton peut être divisé en deux très grandes catégories : l'holoplancton et le méroplancton. L'holoplancton est formé d'organismes qui passent toute leur vie dans le milieu pélagique, alors que le méroplancton comprend les premiers stades de vie des invertébrés qui ne passent qu'une petite partie de leur vie dans l'assemblage de plancton. Les analyses des impacts des prises d'eau se concentrent généralement sur les œufs et les larves de poissons (ichtyoplancton), mais tiennent également compte des effets de ces prises sur les larves d'invertébrés comme les crabes, les crevettes et les mollusques. Plusieurs de ces taxa sont considérés comme étant importants pour la pêche artisanale ou industrielle.

2.0 Objectifs

Une approche couramment utilisée pour évaluer les impacts de l'entraînement consiste à estimer les densités des organismes planctoniques (œufs et larves de poissons) à partir d'échantillons prélevés près ou à l'intérieur du flux de prise d'eau afin de quantifier les pertes découlant de l'entraînement. Ces valeurs d'entraînement propres au site sont comparées aux abondances globales et spécifiques d'espèces estimées pour une plus grande superficie d'eau qui pourrait faire l'objet d'un entraînement. Cette superficie est appelée la source d'eau. À partir du rapport entre les pertes d'entraînement et la source, les impacts sur les populations peuvent être convertis en taux proportionnel de mortalité (ou de survie) des populations locales. Cette approche, généralement appelée *Empirical Transport Model* ou ETM (modèle de déplacement empirique), a initialement été mise au point pour évaluer les impacts des prises d'eau effectuées par les centrales électriques riveraines sur les premiers stades du cycle de vie des poissons (Boreman et al., 1978, 1981). Cette formule initiale nécessite une grande quantité de données sur le cycle de vie et les catégories de tailles des espèces focales; or, ces données ne sont habituellement pas disponibles pour les ensembles d'espèces marines côtières.

Compte tenu de ce fait, MacCall et al. (1983) ont mis au point une version simplifiée de l'ETM qui a été largement utilisée (p. ex., au large de la Californie) pour évaluer les impacts de l'entraînement découlant des opérations des centrales électriques côtières et de la désalinisation sur les larves de poissons et d'invertébrés (p. ex., Raimondi, 2016; Steinbeck et al., 2007). Cependant, même l'approche simplifiée nécessite le prélèvement d'échantillons dans les installations existantes. L'ETM a également été utilisé par des demandeurs et autorisé par des organismes de réglementation pour

évaluer des installations proposées, notamment des opérations de GNL qui nécessitent d'importants volumes d'eau salée (p. ex., Entrix, Inc., 2007). Pour le projet A/G de GNL, l'emplacement proposé des installations et les estimations de volumes de prises d'eau ont été définis, et des échantillons de plancton ont été prélevés dans la zone du projet.

Les tâches (ou objectifs) de cet exercice sont les suivants :

- Tâche 1 : Identifier la source d'eau et calculer son volume total;
- Tâche 2 : Recueillir des données sur les densités spécifiques aux espèces de larves de poissons et des densités totales d'œufs de poissons et des principaux groupes de zooplancton dans la zone du projet; et
- Tâche 3 : Utiliser ces données comme intrants dans le modèle afin de faire une approximation des taux de mortalité et d'entraînement proportionnels spécifiques aux espèces.

3.0 Méthodes

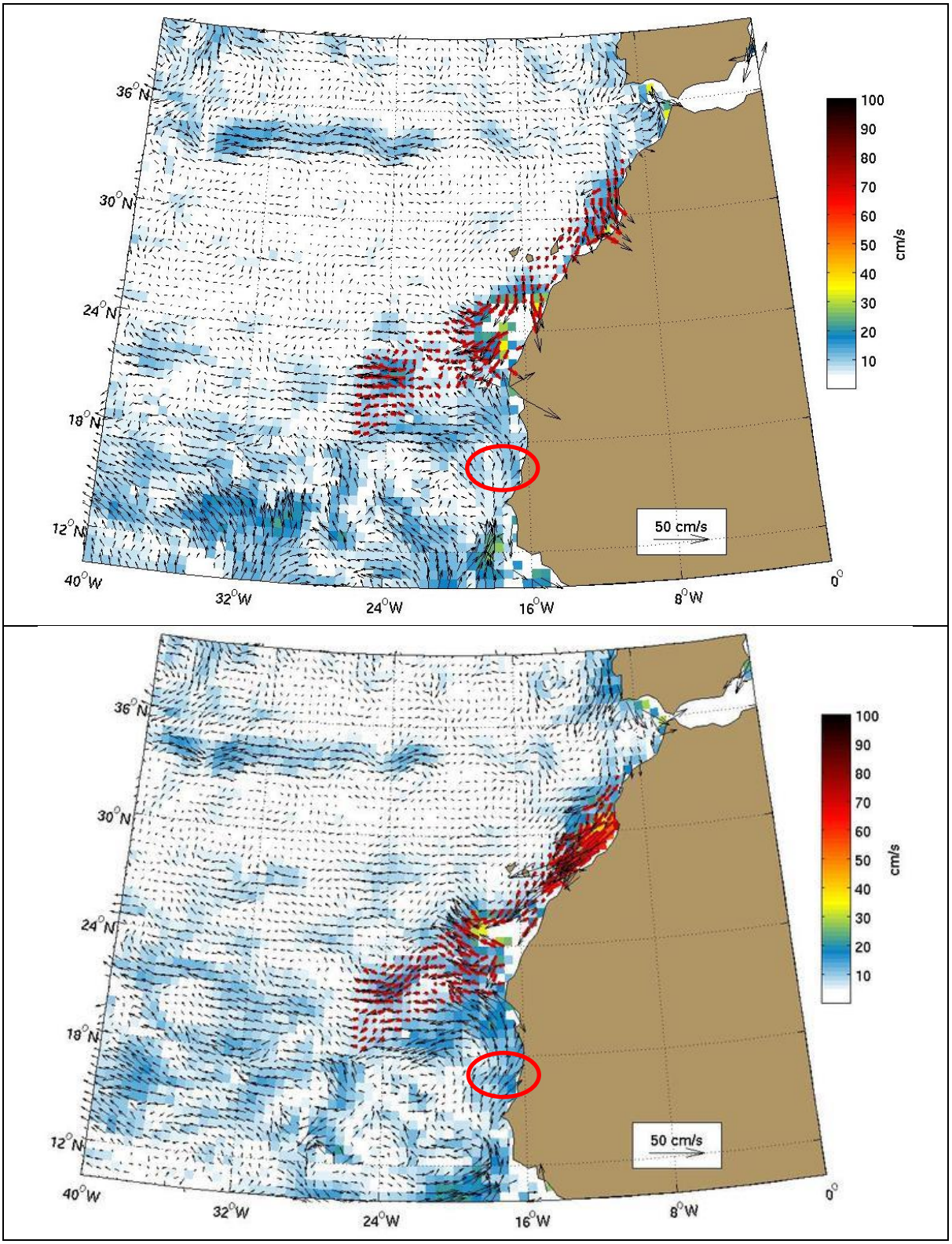
3.1 Tâche 1 — Calculs relatifs à la source d'eau

La source d'eau a été calculée à titre de cylindre d'eau centré à l'endroit proposé pour la prise d'eau (c.-à-d. Au FLNG accosté au terminal du hub GNL près des côtes). Le rayon du cylindre a été fourni par le débit ambiant du courant qui pourrait déplacer une parcelle d'eau de la bordure externe du cylindre vers le point de prise d'eau en une (1) journée (24 h). Le volume de ce cylindre a été défini comme étant toute l'eau du plateau se situant dans le cylindre, de la surface jusqu'au plancher océanique. Comme il n'existe au moment de l'étude aucune mesure directe propre au site des courants pour la zone du projet proposé, la documentation scientifique a été étudiée pour obtenir une estimation de la vélocité du courant dans cette région.

La zone du projet est intégrée au système du courant d'upwelling des îles Canaries (Auger et al., 2016; Menna et al., 2016), qui va du Cap Blanc, en Mauritanie, jusqu'au Cap Vert, au Sénégal. Les océanographes ont divisé la région en sous-unités distinctes pour décrire la circulation, la température de l'eau sous la surface, et la remontée d'eau froide (upwelling) pendant une année typique (p. ex., Auger et al., 2016; Arkhipov, 2009; John et Zelck, 1997; Hamann et al., 1981). La sous-unité qui englobe la zone du projet est délimitée au nord et au sud par une latitude de 18° N et de 15° N, respectivement. La frontière ouest est approximativement située le long de l'isobathe de 2 000 m; la frontière est est la ligne côtière du sud de la Mauritanie et du nord du Sénégal. Cette sous-unité a été appelée la « section de la baie de la Mauritanie » ou la « section sénégalo-mauritanienne » (Auger et al., 2016).

Les configurations de la circulation de l'eau au sein de la zone sénégalo-mauritanienne varient entre l'hiver (décembre à mai) et l'été (juin à octobre); la circulation dépend largement du vent et n'est pas directement influencée par l'upwelling qui survient en région offshore ou au nord (Menna et al., 2016). L'hiver, la température de l'eau chute sous 24 °C, et le courant prédominant s'écoule vers le sud ou le sud-ouest (mais voir ci-dessous pour plus de précisions). L'été, la température de l'eau augmente pour atteindre plus de 24 °C, et les courants ont tendance à s'écouler vers le nord le long de la côte. Les vitesses des courants ne sont pas bien connues, mais elles ont été estimées pour varier entre 10 et 40 cm sec^{-1}, selon une prédiction des courants moyens de surface pour la région provenant du Global Drifter Program (GDP; Université de Miami, 2017).

Les méthodes utilisées pour extrapoler les données relatives aux organismes dérivants à de plus grandes régions sont décrites en détail par Lumpkin et Johnson (2013) et Laurindo et al. (2017). Pour les périodes qui coïncident avec les périodes d'échantillonnage du plancton (hiver 2016 et été 2017), le GDP a montré que les courants dans la zone du projet étaient orientés vers le nord à la fois pendant l'hiver et l'été, à une vitesse d'environ 20 cm sec^{-1} (**figure 1**).



(Source : Université de Miami, 2017)

Figure 1 **Vélocités du courant régional des îles Canaries estimées à partir du Global Drifter Program. La zone du projet se situe en région offshore le long de la latitude 16° N; elle est représentée par un ovale rouge. Volet du haut = hiver; volet du bas = été.**

En supposant que le courant pourrait changer de direction, un organisme de plancton transporté de manière passive (c.-à-d. un spécimen individuel de plancton) pourrait provenir d'une distance pouvant atteindre 17,3 km au sud, à l'ouest ou au nord du site de prise d'eau quelle que soit la journée. À l'est, la distance jusqu'au point de prise d'eau proposé serait interrompue par la ligne côtière.

La parcelle de source d'eau a été délimitée en fonction de ces distances et de la ligne côtière (**figure 2**). La zone a été tramée dans ArcGIS sous forme de couche représentant la surface de l'océan. Ensuite, les données bathymétriques provenant du Marine Geoscience Data System (Marine Geoscience Data System, 2017; Ryan et al., 2009) ont été entrées dans le modèle, et une deuxième couche de trame a été formée sous le polygone; cette couche représente le plancher océanique. Le volume a été dérivé en comparant les deux surfaces tramées et en calculant l'espace séparant ces deux surfaces. Le volume calculé de cette zone semi-circulaire représentée à la **figure 2** était de $33\,632 \times 10^9$ m^3.

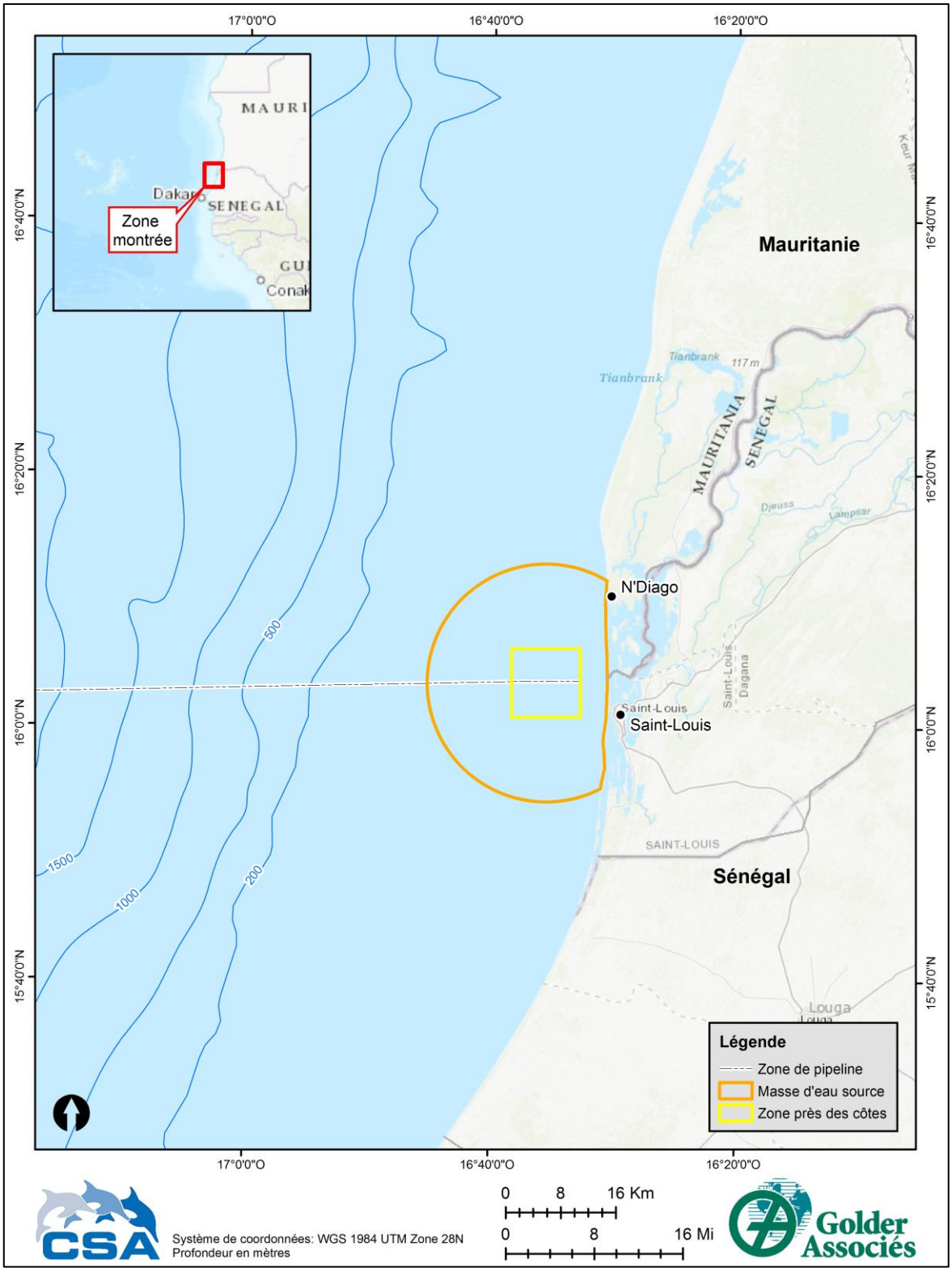


Figure 2 **Superficie de la source d'eau identifiée pour les installations de GNL proposées près des côtes**

3.2 Tâche 2 — Échantillonnage du plancton

Des échantillons ont été prélevés à des stations réparties de manière aléatoire dans une zone rectangulaire (~12 km^2) au sein de la région proposée du terminal du hub GNL près des côtes. Les échantillons de plancton ont été prélevés à l'aide d'une bolinche de 1 m de diamètre doté d'un filet à mailles de 500 micromètres (µm). Un débitmètre était fixé à l'intérieur du bec du filet afin de mesurer le volume d'eau filtrée pendant les remorquages. Un système à double déclenchement a été utilisé pour prélever des échantillons distincts dans les parties supérieure (0 à 10 m) et inférieure (10 à 20 m) de la colonne d'eau à chacune des stations. Pour recueillir des échantillons propres à chacune des profondeurs, le filet a été plié sur le pont afin d'éviter qu'il ne s'ouvre, puis abaissé à une vitesse de déploiement constante (~10 m/min) de la surface jusqu'à près du fond (~20 m). À une profondeur de ~20 m, un messager (poids) a été descendu le long du câble de remorquage pour ouvrir le filet. Après un remorquage de 5 minutes, un deuxième messager a été descendu pour fermer le filet. Pour prélever un échantillon en surface, la même procédure a été suivie, sauf que le filet a été descendu à une profondeur de 10 m avant que l'ouverture du filet ne soit déclenchée. Cette approche d'échantillonnage a permis de recueillir deux échantillons par station : un pour la partie inférieure de la colonne d'eau (strate de profondeur de 10-20 m), et un pour la partie supérieure de la colonne d'eau (strate de profondeur de 0-10 m). Des échantillons ont été prélevés dans chacune des stations le jour et la nuit afin de tenir compte de toute migration verticale diurne, qui caractérise souvent les organismes planctoniques (e.g., Hanel et al., 2010). L'échantillonnage a été effectué pendant deux campagnes de reconnaissance, le premier pendant l'hiver 2016 (novembre et décembre) et le second, à l'été 2017 (juillet et août). Bien que les analyses d'entraînement se concentrent sur la zone du terminal du hub GNL près des côtes, des échantillons ont aussi été prélevés dans la zone offshore ainsi que dans une zone à mi-profondeur (été seulement). Ces zones supplémentaires sont des endroits où d'autres installations du projet pourraient utiliser de l'eau de refroidissement ambiante, mais dans des quantités bien moindres que celles décrites ci-dessus pour le terminal du hub GNL près des côtes. Les renseignements relatifs aux échantillons prélevés en zone offshore et en zone de mi-profondeur sont présentés à l'annexe G. Tous les échantillons ont été fixés sur place avec du méthanediol à 5 %, étiquetés, puis acheminés au taxonomiste spécialiste du plancton à des fins d'identification et d'énumération.

Dans le laboratoire, les œufs et les larves de poissons ont été triés et identifiés jusqu'à leur niveau d'identification pratique le plus bas. La longueur totale (mm) du plus petit et du plus grand taxa de larve de poisson dans chaque échantillon a été mesurée. Les organismes de zooplancton ont été triés en grands groupes et comptés. Comme le nombre d'individus de zooplancton était très élevé, il a fallu diviser les échantillons en parties aliquotes à des fins de dénombrement. Les données ont été ajustées pour inclure ces divisions, puis converties en nombres d'individus par m^3.

Les biais dans les résultats de l'échantillonnage du plancton découlent du fait que des organismes évitent le filet, de la fragmentation de la distribution du plancton, et de l'extrusion de certains organismes à travers le filet. Des études ont démontré que de l'extrusion peut survenir, mais que son intensité dépend de plusieurs facteurs, notamment la vitesse et la durée du remorquage (Johnson et Morse, 1994). Des tailles de mailles de 500 µm sont utilisées lorsque l'échantillonnage est axé sur des larves de poissons, étant donné que moins de petits organismes sont ainsi recueillis, ce qui facilite le tri et le rend plus efficace. De plus, un filet à mailles plus larges diminue le risque que le filet devienne obstrué. Les échantillons conventionnels de plancton sont souvent prélevés à l'aide de filets à mailles de 333 µm, étant donné que les filets à mailles plus fines conservent de plus petits organismes de zooplancton. Le fait que certaines larves de poissons et plusieurs petits organismes de zooplancton puissent être extrudés (forcés de passer à travers le filet pendant le remorquage) à travers un filet à mailles de 500 µm est reconnu; cependant, les vitesses relativement faibles (< 1 nœud) et les durées plutôt brèves (5 minutes) des remorquages diminuent la probabilité d'une extrusion importante qui pourrait introduire un biais dans les échantillons.

3.3 Tâche 3 — Estimer la valeur de l'entraînement proportionnel et du taux de mortalité proportionnel spécifiques aux espèces

Les densités des taxa entraînés ont été estimées pour l'ichtyoplancton et les organismes de zooplancton invertébrés à l'aide des données décrites dans la section portant sur la tâche 2. Ces estimations sont considérées comme étant préliminaires et ne sont pertinentes que pour la période et l'endroit où l'étude sur le terrain a eu lieu.

La densité moyenne des larves de poissons (exprimée sous forme de nombre d'individus par 100 mètres cubes [100 m^{-3}]) prélevées pendant les travaux d'étude sur le terrain a été multipliée par la valeur prévue de la prise d'eau pour ces installations (1 296 000 m^3 $jour^{-1}$) afin de déterminer le nombre d'organismes entraînés par jour pour chacun des taxa. Ce calcul peut être exprimé à l'aide de l'équation suivante :

$$N_{entraîné} = \text{Volume de prise d'eau } (m^3 \text{ jour}^{-1}) \times \text{nombre d'individus } 100\ m^{-3}$$

Les taux d'entraînement ont été calculés séparément pour la partie supérieure (0-10 m) et la partie inférieure (10-20 m) de la colonne d'eau, afin d'examiner les différences possibles entre les deux strates de profondeur en supposant un volume de prise d'eau identique dans ces deux strates.

L'entraînement proportionnel (EP) est la probabilité qu'un individu de plancton donné soit entraîné pendant une journée.

Cette valeur se calcule comme suit :

$$EP = N_{entraînés} / N_{source}$$

où

$N_{entraînés}$ = valeur estimée de larves entraînées pendant une journée, calculée comme densité estimée entraînée dans l'eau cette journée-là, multipliée par le volume de prise d'eau de refroidissement, et
N_{source} = nombre estimé de larves dans la source d'eau cette journée-là.

Si les densités d'œufs et de larves au site de prise d'eau sont semblables à ceux dans la source d'eau, les densités s'annuleront; le rapport volumétrique sera alors le seul facteur. Ici, les densités étaient identiques, alors le calcul de l'EP était réduit au rapport volumétrique, comme suit :

$$EP = 1\,296\,000\ m^3 / 33\,632\,241\,641\ m^3 = 0{,}0000385 \text{ ou } 0{,}004\ \%$$

Le taux de mortalité proportionnel (TMP) décrit par MacCall et al. (1983) est une estimation de la probabilité d'entraînement pendant la période de risque. Cette valeur est aussi appelée la mortalité conditionnelle ou la mortalité fractionnelle. L'estimation du TMP nécessite l'utilisation d'une estimation de l'EP comme valeur entrante. Le TMP est calculé comme suit :

$$TMP = 1-(1-EP)^d$$

où d est la durée en jours de la période de risque.

La période de risque est fondée sur la durée de vie du plancton spécifique aux espèces; cette durée de vie provient de la documentation scientifique portant sur la croissance quotidienne des larves.

Comme les renseignements sur la durée de vie des larves de plancton des taxa prélevés sont limités, le TMP de trois petites espèces pélagiques a été évalué à l'aide de la durée de vie des larves estimée à partir de la documentation; cette estimation a été utilisée comme valeur entrante dans l'équation du TMP. Ces trois taxa, soit les chinchards (*Trachurus* sp.), la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et les anchois communs (*Engraulis encrasicolus*) sont de petites espèces pélagiques ciblées par les pêches artisanales régionales dans la zone du projet.

4.0 Résultats

4.1 Composition et densités de l'ichtyoplancton

Les échantillons prélevés dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes ont permis de recenser 110 individus de 33 taxa de poissons représentant 21 familles et 9 ordres (**tableau 1**). Les ordres comportant le plus grand nombre d'espèces étaient les poissons semblables à la perche (Perciformes) et les poissons plats (Pleuronectiformes), respectivement représentés par onze et neuf

taxa. Parmi les différents taxa contribuant le plus à la densité totale de larves dans la région côtière, on trouve les ombrines et les otolithes (Sciaenidae) (29,1 %), les sardines (*Sardinella* spp.) (7,5 %), les chinchards (*Trachurus* spp.) (7,2 %), les bars (Serranidae) (4,6 %) et les bregmaceros (*Bregmaceros sp.)* (4,6 %).

Les échantillons prélevés pendant l'été ont permis de recenser 46 taxa de larves de poissons représentant 22 familles et 9 ordres (**tableau 1**). Les ordres comportant le plus grand nombre d'espèces étaient les poissons semblables à la perche (Perciformes) et les poissons plats (Pleuronectiformes), respectivement représentés par 28 et 13 taxa. Les taxas individuels contribuant le plus à la densité totale de larves étaient les petites carangues (*Chloroscombrus chrysurus*), qui représentaient 37,7 % de cette densité; les grunts (Haemulidae; 11,7 %); les carangues/liches (*Caranx*/*Lichia amia*; 11,3 %); les Sciaenidae; 10,6 %; les chinchards (*Trachurus* spp.; 8,4 %); et les soles (*Symphurus* sp.; 4,1 %).

Tableau 1 Liste phylogénique des taxa de larves de poissons prélevées dans les échantillons de plancton à l'hiver 2016 (n=12) et à l'été 2017 (n=10) dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes

Ordre	Famille	Taxon	Hiver (Moyenne n 100 m^{-3})	Été (Moyenne n 100 m^{-3})
Elopiformes	Elopidae (guinée-machètes du Pacifique)	*Elops*	1,1	-
Anguilliformes		Anguilliformes	-	1,1
	Murénidae (murènes)	Murénidae	0,8	7,3
	Ophichthidae (serpents de mer)	Ophichthidae	-	20
	Nettastomatidae (serrivomers à dents)	Nettastomatidae	-	4,8
Clupéiformes		Clupéiformes	4,4	6,4
	Clupeidae (sardines)	Clupeidae	2,6	9,9
		Sardinella	5,7	-
		Sardinella aurita	3,0	56,6
		Sardinella sp.	-	34,6
	Engraulidae (anchois)	Engraulidae	-	6,9
		Engraulis encrasicolus	1,6	-
Myctophiformes	Myctophidae (poissons-lanternes)	*Diaphus*	0,9	-
Aulopiformes	Paralepididae (barracudines)	Paralepididae	-	1,3
	Synodontidae (poissons-lézards)	*Saurida*	0,7	-
Lampridiformes	Lophotidae (poissons-licornes)	Lophotidae	0,8	-
Gadiformes	Bregmacerotidae (codlets)	*Bregmaceros* sp.	4,0	-
Mugiliformes	Mugilidae (mulets)	*Mugi*l sp.	-	1,8
		Mugilidae	-	1,5
Béryciformes		Béryciformes	-	1,2
	Holocentridae (poissons-soldats)	Holocentridae	-	1,7
Scorpaeniformes	Scorpaenidae (rascasses)	Scorpaenidae	-	0,7
Perciformes		Perciformes	3,3	6,9
	Acanthuridae (poissons-chirurgiens)	*Acanthurus* sp.	-	1,7
	Carangidae (carangues/chinchards)	Carangidae	-	0,6
		Caranx sp.	-	10,6
		Caranx/Lichia amia	-	70,8
		Chloroscombrus chrysurus	-	236,5
		Decapterus sp.	-	3,8

Tableau 1 (suite)

Ordre	Famille	Taxon	Hiver (Moyenne n 100 m^{-3})	Été (Moyenne n 100 m^{-3})
		Naucrates sp.	-	0,9
		Seriola sp.	-	0,7
		Trachurus	6,4	-
		Trachurus sp.	-	67,4
	Ephippidae (platax)	Ephippidae	0,7	1,8
Perciformes (suite)	Gerreidae (mojarras)	Gerreidae	-	0,7
	Gobiidae (gobies)	Gobiidae	2,8	8,2
	Haemulidae (grunts)	Haemulidae	2,4	94,6
	Labridae (labres)	Labridae	2,2	-
	Sciaenidae (ombrines et otholithes)	*Leiostomus xanthurus*	4,0	12,6
		Sciaenidae	24,6	66,7
		Stellifer sp.	-	14,5
		Umbrina	0,9	-
	Serranidae (bars)	Serranidae	4,1	11,7
	Sparidae (dorades)	Sparidae	0,6	0,9
	Sphyraenidae (barracudas)	*Sphyraena* sp.	-	10,4
		Sphyraena sphyraena	-	2,8
		Sphyraenidae	-	5,1
	Trachinidae (vives)	Trachinidae	1,1	-
	Trichiuridae (poissons sabres)	*Trichiurus* sp.	-	18,4
Pleuronectiformes		Pleuronectiformes	0,9	2,7
	Bothidae (turbots)	*Monolene*	0,6	-
		Symphurus sp.	-	5,0
	Cynoglossidae (soles)	Cynoglossidae	1,5	-
		Cynoglossus monodi	0,8	-
		Symphurus	1,9	-
		Symphurus sp.	-	28,0
	Paralichthyidae (plies)	*Citharichthys*	0,8	-
		Paralichthyidae	2,1	-
		Syacium papillosum	1,2	-
		Syacium sp.	-	0,9

Tableau 1 (suite)

Ordre	Famille	Taxon	Hiver (Moyenne n 100 m^{-3})	Été (Moyenne n 100 m^{-3})
	Pleuronectidae (poissons dextres)	Pleuronectidae	2,0	-
Tetraodontiformes	Tétraodontinae (poissons-globes)	*Sphoeroides* sp.	-	2,3
	Nombre total de taxa		32	43

Pendant les mois d'hiver, le nombre de larves par 100 m^3 d'eau variait entre 1,7 et 113,5, et avait une valeur moyenne de 35,7. Les nombres les plus élevés de larves ont été prélevés la nuit, à la fois pour la strate de profondeur de 0 à 10 m et celle de 10 à 20 m (**tableau 2**). Les nombres moyens de larves par 100 m^3 étaient plus élevés dans la strate de profondeur de 0 à 10 m à la fois pendant les périodes d'échantillonnage diurnes et nocturnes. Cependant, une analyse de variance à deux critères a démontré qu'il n'existait aucune différence significative entre les prélèvements diurnes et nocturnes et la profondeur de la strate ou entre ces éléments et leur interaction (**tableau 3**). Le nombre d'œufs de poissons présents dans les échantillons de la région côtière variait de 0 à 100,0 œufs 100 m^{-3} et avait une valeur moyenne de 22,3 œufs 100 m^{-3} (**tableau 2**). Les densités d'œufs étaient considérablement plus élevées dans la strate de profondeur de 0 à 10 m (**tableau 3**).

Pendant les mois d'été, le nombre de larves dans les échantillons variait entre 2,4 et 957,6 individus 100 m^{-3} et avait une valeur moyenne de 564,5 individus 100 m^{-3}. Une distribution des moyennes dans les échantillons par période (jour/nuit) et par strate de profondeur est présentée dans le **tableau 2**. Les nombres moyens de larves par 100 m^{-3} ne différait pas significativement entre les strates de profondeur, et leur présence entre le jour et la nuit et leur interaction ne présentaient pas de différences significatives (analyse de variance à deux critères, **tableau 3**). Le nombre d'œufs de poissons présents dans les échantillons prélevés l'été variait de 2,2 à 7715 œufs 100 m^{-3} et avait une valeur moyenne de 394 œufs 100 m^{-3}. Les densités d'œufs ne variaient pas de manière significative entre les strates de profondeur ou la période de la journée (**tableau 3**).

Tableau 2 Moyennes et écarts-types (ÉT) des nombres totaux de larves de poissons et des densités d'œufs (n x 100 m-3) prélevés dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017 Les échantillons (n=3) ont été prélevés dans chacune des combinaisons de période (jour/nuit) et de strate supérieure/inférieure dans la colonne d'eau.

Étude	Heure	Strate	Larves		Œufs	
			Moyenne	ÉT	Moyenne	ÉT
Hiver	Jour	Inférieure	20,7	17,2	2,6	3,3
		Supérieure	28,4	19,0	68,1	49,5
	Nuit	Inférieure	37,9	19,9	2,2	3,1
		Supérieure	54,7	52,7	16,1	15,5
Été	Jour	Inférieure	667,9	601,3	331,6	310,9
		Supérieure	471,7	245,2	841,2	1 022,1
	Nuit	Inférieure	466,5	656,3	165,4	223,6
		Supérieure	646,8	439,6	505,5	160,6

Tableau 3 **Résultats de l'analyse de variance à deux critères relativement aux effets de la période de la journée (jour/nuit) et de la profondeur (strates de la colonne d'eau) sur la densité des larves et des œufs de poissons recueillis dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017. DDL = Degrés de liberté; MQ = Moyenne quadratique; F= ratio de Fisher (MQ/variance résiduelle). Les résultats significatifs (p<0,05) sont indiqués en caractères gras.**

Étude	Source	DDL	MQ	Larves	Valeur p	MQ	Œufs	Valeur p
				F			F	
Hiver	Heure	1	1 489,5	1,6	0,25	2 061,9	3	0,12
	Profondeur	1	412,3	0,4	0,53	4 732,2	**6,9**	**0,03**
	Temps x profondeur	1	47,24	0,05	0,83	1 999,5	2,9	0,12
	Résidus	8	948,99			677,5		
Été	Heure	1	414	0,002	0,969	15	0,381	0,56
	Profondeur	1	5 204	0,021	0,889	48,8	1,239	0,308
	Temps x profondeur	1	85 022	0,348	0,577	1,7	0,044	0,841
	Résidus	6	244 572			39,4		

La composition taxonomique et l'abondance des larves de poissons dans les échantillons prélevés dans la zone côtière pendant l'hiver étaient dominées en nombre par les larves d'espèces de substrats meubles, qui, collectivement, ont contribué à environ 50 % du nombre total de larves dans ces échantillons. Les espèces de substrats meubles comprenaient des Sciaenidae (ombrines, otolithes et acoupas royaux), des Paralichthyidae (plies), des Sparidae (dorades) et des Aulopiformes (poissons-lézards). Les espèces pélagiques côtières (sardines, anchois, carangues) contribuaient à un autre 16 % des larves prélevées.

La plage de longueurs totales pour les taxa prélevés (sauf pour les anguilles) pendant l'hiver 2016 est présentée par strate de profondeur dans la **figure 3**. Les plus grands individus de sciaenidés et de gobiidés ont été prélevés dans la partie inférieure de la colonne d'eau.

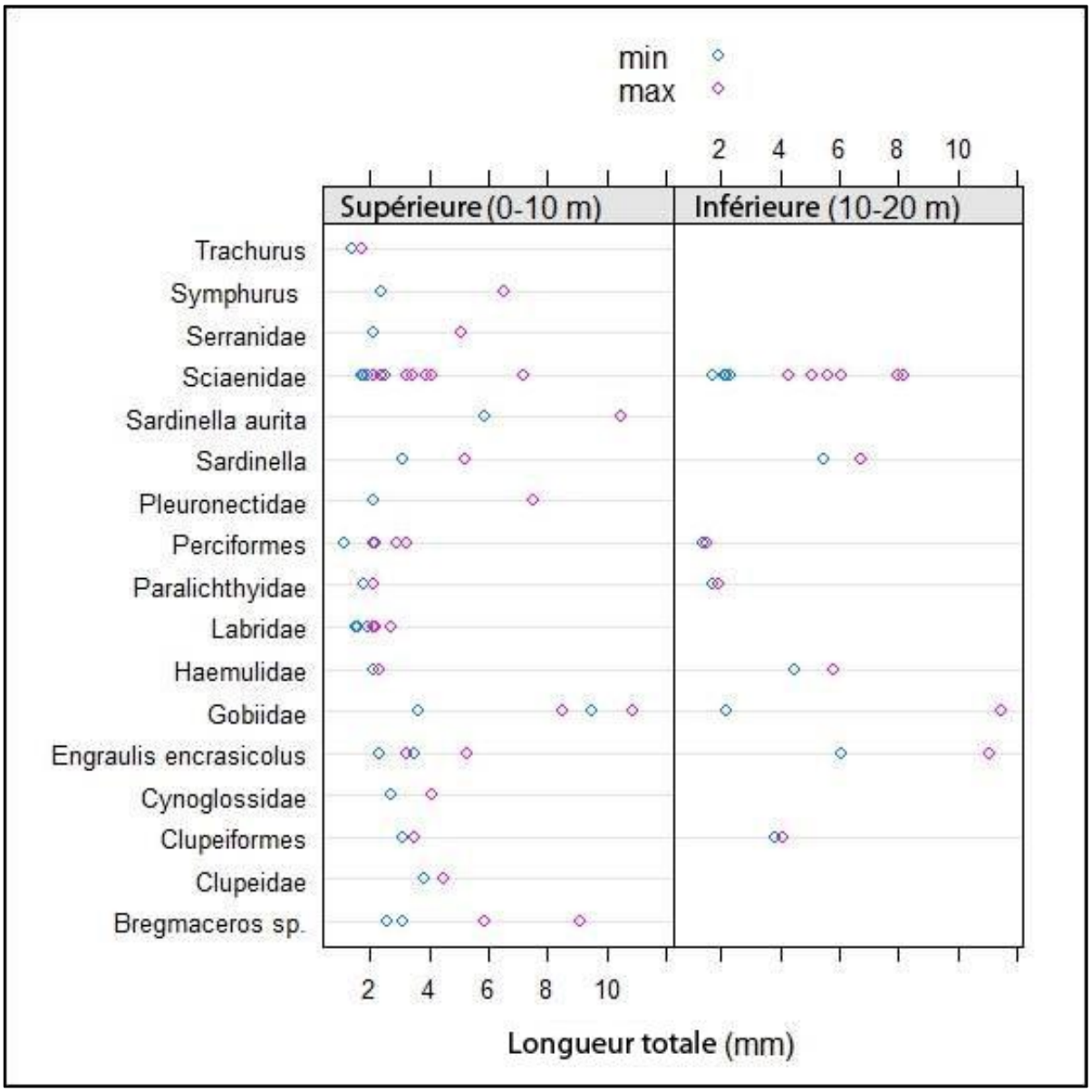


Figure 3 **Mesures de la longueur totale des larves de poissons (exception faite des anguilles) prélevées dans la zone côtière à l'hiver 2016, par strate de profondeur**

La composition et l'abondance taxonomiques des larves de poissons prélevées dans la zone côtière pendant l'été étaient dominés par les petites carangues (*Chloroscombrus chrysurus*), les grunts (Haemulidae), les carangues/liches (*Caranx*/*Lichia amia*), les Sciaenidae, les chinchards (*Trachurus* spp.) et les soles (*Symphurus* sp.). La plage de longueurs observées pour les taxa abondants dans les échantillons prélevés pendant l'été est présentée à la **figure 4**.

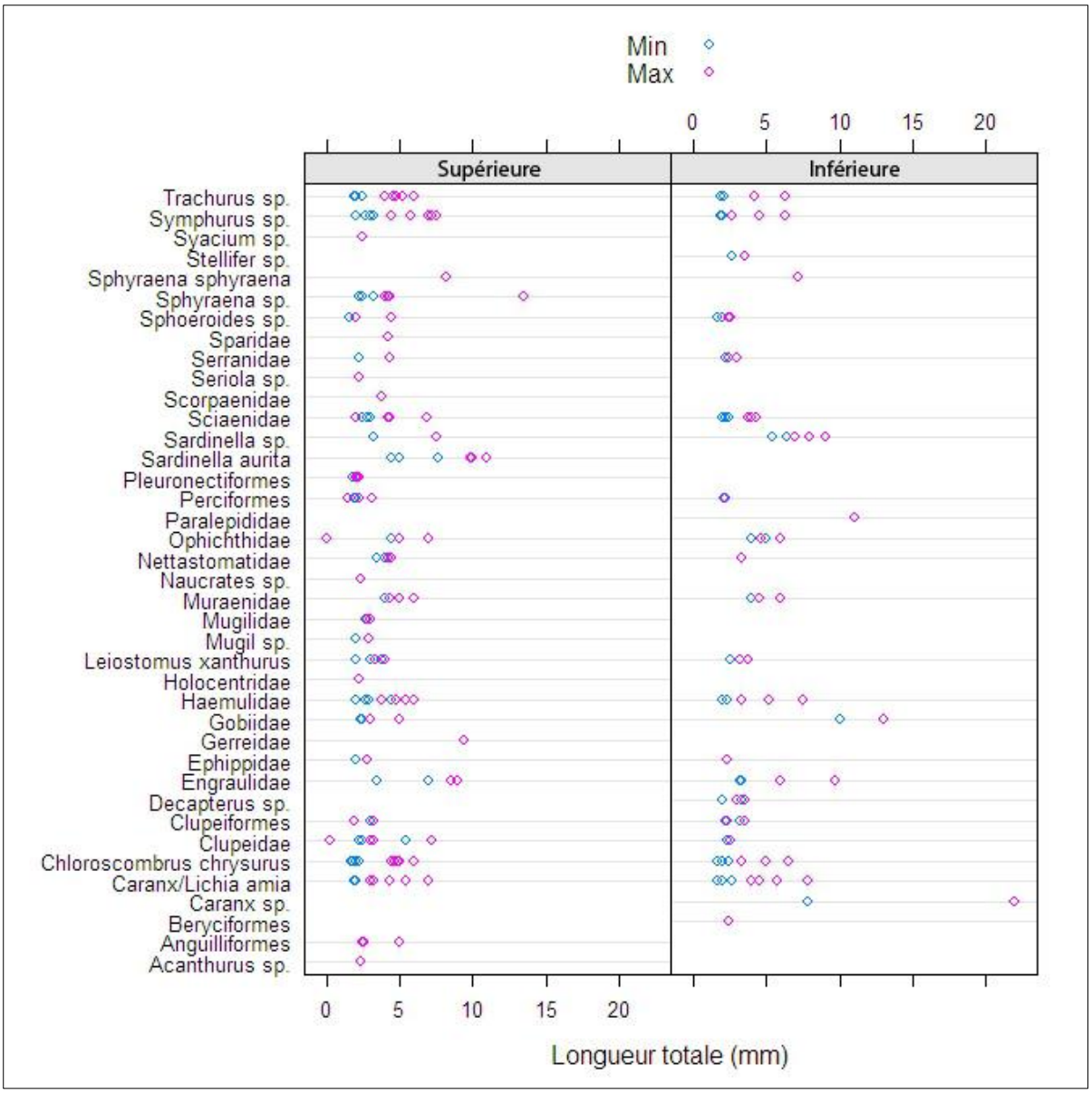


Figure 4 **Mesures de la longueur totale des larves de poissons prélevées dans la zone côtière à l'été 2017, par strate de profondeur**

4.2 Composition et densités du zooplancton

Les échantillons prélevés l'hiver ont permis d'identifier 24 groupes de zooplancton appartenant à plusieurs embranchements, notamment les arthropodes, les mollusques, les cnidaires et les chaetognathes (**tableau 4**). Les groupes présentant les densités les plus élevées faisaient partie de l'embranchement des copépodes. Les groupes individuels présentant les plus importantes contributions à la densité totale dans l'emplacement côtier étaient les copépodes (64,0 %), *Lucifer* (12,7 %), les chaetognathes (8,3 %), les crevettes (2,5 %) et les ostracodes (2,3 %).

Les échantillons prélevés pendant l'été dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes ont permis de recenser 19 grands groupes de plancton (**tableau 4**). Les groupes contribuant le plus à l'abondance totale étaient *Lucifer* sp. (57,2 %), les copépodes (16,9 %), les caridines (7,6 %), les dolioles (4,5 %), les cladocères (3,2 %), les chaetognathes (3,0 %), et les larves de crabes (2,9 %).

Tableau 4 Densités moyennes (individus m^{-3}) des principaux groupes de zooplancton présents dans les échantillons prélevés dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017, présentées en ordre alphabétique de groupe

Groupe	Terminal du hub GNL près des côtes	
	Hiver	Été
Amphipodes	8,6	7,1
Annélides	1,7	-
Anomura	-	34,1
Bivalves	1,1	-
Caridines	-	79,4
Chaetognates	31,7	39,1
Cladocères	30,8	33,0
Cnidaires	-	-
Œufs de copépodes	-	-
Copépodes	276,1	177,5
Larves de crabes	25,3	34,3
Crustacés (non identifiés)	-	-
Cténophores	3,1	-
Dolioles	-	67,3
Échinodermes	1,6	-
Foraminifères	-	-
Gastropodes	4,1	2,2
Hétéropodes	-	-
Hydrozoaires	1,4	28,0
Ispodes	3,1	-
Appendiculaires	1,0	6,3
Larves de homards	-	13,5
Lucifer spp.	116,8	599,9
Macruridés	-	8,5
Malacostracés	-	6,1
Mysidacés	17,4	15,2
Larves de pieuvres	-	-
Ostracodes	37,3	-
Crevettes de la famille des Penaediea	-	5,4
Polychètes	1,5	2,2
Ptéropodes	5,8	-
Radiolaires	1,3	-
Scyphozoaires	3,9	-
Crevettes	15,2	-
Siphonophores	7,6	24,7
Larves de calmars	0,4	-
Squalidés	-	-
Tuniciers	3,3	-
Nombre total de groupes	**24**	**19**

Les densités de zooplancton à l'hiver et à l'été représentaient plus de 99 % des organismes prélevés dans les échantillons de plancton; les œufs et les larves de poissons ne contribuaient qu'à moins de 0,01 % des densités totales. À l'hiver, les densités totales de zooplancton variaient entre 179,6 et 1 345,3 individus par mètre cube (m^{-3}), et la densité moyenne était de 522,5 individus m^{-3}. À l'été, les densités totales de zooplancton variaient entre 51,9 et 2 363,1 individus par mètre cube (m^{-3}), et la densité moyenne était de 1 047,0 individus m^{-3}. Les deux calculs de densités saisonniers sont des ordres de grandeur plus élevés que les densités de poissons habituellement observées. Un résumé des statistiques liées aux densités totales de zooplancton dans la région du terminal du hub GNL près des côtes à l'hiver et à l'été est fourni dans le **tableau 5.**

Tableau 5 Moyennes et écarts-types (ÉT) des densités totales de zooplancton (individus m^{-3}) prélevées dans la région du terminal du hub GNL près des côtes, dans la zone de mi-profondeur et dans la zone offshore pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017

Heure	Strate (m)	Moyenne — hiver	ÉT	Moyenne — été	ÉT
Zone côtière					
Jour	0-10	444,13	136,40	1 435,92	735,37
	10-20	395,36	167,63	1 085,24	1 165,43
Nuit	0-10	598,65	124,52	772,56	912,81
	10-20	652,01	613,44	680,84	889,44

L'analyse de variance à deux critères n'a mis en lumière aucune différence significative dans la densité de zooplancton entre la période (jour/nuit) ou entre les différentes strates de profondeur, que ce soit pendant l'hiver ou pendant l'été (**tableau 6**).

Tableau 6 Résultats de l'analyse de variance à deux critères pour la densité des individus de zooplancton (individus m^{-3}) prélevés dans la région du terminal du hub GNL près des côtes pendant l'étude de l'été 2017. DDL = Degrés de liberté; MQ = Moyenne quadratique; F= ratio de Fisher (MQ/variance résiduelle). Les résultats significatifs sont indiqués en caractères gras.

Source	DDL	Hiver			Été		
		MQ	F	Valeur p	MQ	F	Valeur p
Zone côtière							
Heure	1	16	0,001	0,991	684 059	0,757	0,418
Profondeur	1	12 697	1,156	0,314	152 644	0,169	0,695
Temps x profondeur	1	7 821	0,071	0,796	40 238	0,045	0,84
Variance résiduelle	8	109 629			903 722		

4.3 Taux d'entraînement

4.3.1 Ichtyoplancton

Les taux d'entraînement calculés pour les dix taxa d'ichtyoplancton les plus abondants dans la partie supérieure de la colonne d'eau (0-10 m) à l'hiver dans le **tableau 7**. Les taux d'entraînement quotidiens les plus élevés sont ceux du taxa des sciaenidés (des ombrines et des otholithes) avec une valeur estimée de 267 952 individus. Après les sciaenidés se trouvaient les larves de sardines (*Sardinella* sp.) avec un taux d'entraînement quotidien moyen de près de 44 962 individus. La sardinelle ronde (*S. aurita)*) affichait un taux d'entraînement quotidien de près de 16 935 individus. L'entraînement quotidien total de tous les taxa prélevés a été estimé à 538 540 individus. Le taux d'entraînement pour les œufs de poissons dans la partie supérieure de la colonne d'eau avait une moyenne d'environ 340 416 individus (**tableau 7**).

Les taux d'entraînement pour les dix taxa les plus abondants dans l'échantillon prélevé pendant l'été dans la partie supérieure de la colonne d'eau sont aussi présentés dans le **tableau 7**. Les nombres de larves de poissons recueillies dans les échantillons prélevés l'été étaient considérablement plus élevés que ceux dans les échantillons prélevés l'hiver. Les dix taxa les plus abondants comportaient entre 0,1 et 2,7 × 10^6 individus par jour (**tableau 7**). Les taxa les plus abondants étaient les petites carangues, des grunts non identifiés, des carangues/liches non identifiées ainsi que des ombrines et des otolithes. L'estimation de l'entraînement pour les ombrines et les otolithes pendant l'été (301 662) était relativement similaire à celle de l'hiver (267 952). Cependant, pour l'été, les estimations relatives aux sardines, collectivement représentées par les espèces *Sardinella* sp. et *Sardinella aurita*, étaient considérablement plus élevées que les estimations pour l'hiver pour les mêmes taxa (**tableau 7**). Ces estimations dépassaient toutes les valeurs les plus élevées déterminées pour les échantillons

prélevés pendant l'hiver, atteignant jusqu'à dix fois les valeurs propres aux échantillons d'hiver. Les estimations reflètent l'augmentation relative de l'activité de frai régionale pendant les mois d'été. Le nombre total estimé de larves entraînées en une seule journée pour la partie supérieure de la colonne d'eau pendant l'été était de 7 020 753 individus. Le nombre total d'œufs de poissons entraînés par jour était de 3 122 903 (**tableau 7**).

Tableau 7 Estimation de l'entraînement d'ichtyoplancton pour les 10 taxa les plus abondants prélevés dans la partie supérieure (0 à 10 m) de la colonne d'eau dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017 R = ordre d'importance en matière d'abondance

Taxon	Hiver				Été			
	Moyenne (n 100 m^{-3})	%	R	Entraînement (n $jour^{-1}$)	Moyenne (n 100 m^{-3})	%	R	Entraînement (n $jour^{-1}$)
Chloroscombrus chrysurus	-	-	-	-	209,2	38,6	**1**	2 710 790
Haemulidae	0,3	0,7	-	-	80,8	14,9	**2**	1 047 358
Caranx/Lichia amia	-	-	-	-	59,8	11,0	**3**	774 602
Sciaenidae	20,7	49,8	**1**	267 952	23,3	4,3	**6**	301 662
Sardinella aurita	1,3	3,1	**7**	16 935	34,0	6,3	**4**	440 010
Trachurus sp.	-	-	-	-	30,7	5,7	**5**	397 734
Sardinella sp.	-	-	-	-	14,8	2,7	**7**	191 677
Symphurus sp.	-	-	-	-	12,3	2,3	**8**	159 989
Ophichthidae	-	-	-	-	10,9	2,0	**9**	141 787
Perciformes	2,0	4,8	**3**	25 674	7,5	1,4	-	-
Sphyraena sp.	-	-	-	-	8,4	1,5	**10**	108 260
Leiostomus xanthurus	1,3	3,1	**8**	16 804	6,8	1,3	-	-
Serranidae	0,7	1,7	-	-	6,1	1,1	-	-
Clupeidae	1,0	2,3	-	-	5,5	1,0	-	-
Murénidae	0,1	0,3	-	-	5,1	0,9	-	-
Sardinella	3,5	8,3	**2**	44 962	0,0	0,0	-	-
Gobiidae	1,5	3,5	**5**	19 047	2,4	0,4	-	-
Clupéiformes	0,7	1,7	-	-	3,3	0,6	-	-
Labridae	1,7	4,1	**4**	22 011	0,0	0,0	-	-
Pleuronectiformes	0,3	0,6	-	-	1,6	0,3	-	-
Bregmaceros sp.	1,3	3,2	**6**	17 430	0,0	0,0	-	-
Engraulis encrasicolus	1,2	2,9	**9**	15 810	0,0	0,0	-	-
Trachurus	1,1	2,6	**10**	13 824	0,0	0,0	-	-
Nombre total de larves	41,6			538 539	541,7			7 020 753
Nombre total d'œufs	26,3			340 416	241,0			3 122 903

Dans la partie inférieure de la colonne d'eau (10 à 20 m), les échantillons propres à l'entraînement pendant l'hiver de larves de poissons étaient dominés par les sciaenidés, avec une moyenne quotidienne estimée de plus de 263 047 individus (**tableau 8**). Les autres taxa les plus abondants étaient ensuite les gobiidés (gobies), qui comptaient plus de 22 000 individus par jour, ainsi qu'une espèce de sciaenidés non identifiés (espèces de sciaenidés 1), qui présentait plus de 18 000 individus par jour. L'entraînement quotidien total était de 379 465 larves. Le nombre total estimé d'œufs de poissons entraînés était de 23 220.

Les échantillons prélevés pendant l'été dans la partie inférieure de la colonne d'eau étaient dominés en nombre par les petites carangues, suivies des ombrines et des otolithes (**tableau 8**). L'entraînement de ces deux taxa était respectivement de 2,6 × 10^6 individus par jour et de 1,3 individu par jour. Ces valeurs dépassaient les estimations pour les petites carangues, les ombrines et les corbs propres à la partie supérieure de la colonne d'eau pendant les mêmes travaux d'échantillonnage. Une fois de plus, les nombres totaux d'œufs et de larves prélevés dépassaient largement les nombres documentés pour la même région pendant l'hiver. Le nombre total estimé de larves entraînées en une seule journée pour la partie inférieure de la colonne d'eau pendant l'été était de 7 612 072 individus. Le nombre total d'œufs de poissons entraînés par jour était de 7 112 143.

Tableau 8 Estimation de l'entraînement d'ichtyoplancton pour les 10 taxa les plus abondants prélevés dans la partie inférieure (10 à 20 m) de la colonne d'eau dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes pendant les études de l'hiver 2016 et de l'été 2017. R = ordre d'importance en matière d'abondance

Taxon	Hiver				Été			
	Moyenne (n 100 m^{-3})	%	R	Entraînement (n $jour^{-1}$)	Moyenne (n 100 m^{-3})	%	R	Entraînement (n $jour^{-1}$)
Chloroscombrus chrysurus	-	-	-	-	216,6	36,9	**1**	2 807 382
Sciaenidae	20,3	69,3	**1**	263 047	96,8	16,5	**2**	1 255 060
Caranx/Lichia amia	-	-	-	-	67,7	11,5	**3**	877 480
Trachurus sp.	-	-	-	-	63,6	10,8	**4**	824 708
Haemulidae	0,5	1,6	**8**	6 142	51,6	8,8	**5**	668 460
Symphurus sp.	-	-	-	-	33,5	5,7	**6**	433 795
Sardinella sp.	-	-	-	-	12,9	2,2	**7**	166 721
Ophichthidae	-	-	-	-	9,0	1,5	**8**	116 857
Leiostomus xanthurus	1,4	4,7	**3**	18 022	5,8	1,0	**10**	75 103
Clupeidae	0,3	1,2		4 522	6,3	1,1	**9**	81 955
Gobiidae	1,7	6,0	**2**	22 616	2,5	0,4	-	-
Clupéiformes	0,7	2,5	**4**	9 529	3,2	0,5	-	-
Perciformes	0,7	2,5	**5**	9 529	0,8	0,1	-	-
Paralichthyidae	0,5	1,7	**6**	6 353	-	-	-	-
Labridae	0,5	1,7	**7**	6 278	-	-	-	-
Pleuronectidae	0,4	1,5	**9**	5 651	-	-	-	-
Engraulis encrasicolus	0,4	1,3	**10**	4 948	-	-	-	-
Nombre total de larves	29,3			379 465	587,4			7 612 072
Nombre total d'œufs	1,8			23 220	548,8			7 112 143

4.4 Taux de mortalité proportionnel

MacCall et al. (1983) suggèrent que le TMP peut être considéré comme étant une estimation de la mortalité des niveaux de population. Les organismes dont la durée de vie sous forme de plancton est plus courte pourraient être plus à risques d'être entraînés, puisqu'ils proviendraient de zones de frai plus près du point de prise d'eau, alors que ceux ayant une durée de vie larvaire plus longue pourraient provenir d'endroits beaucoup plus éloignés et être ainsi moins exposés aux risques d'entraînement.

Trois taxa de petites espèces pélagiques (c.-à-d. les carangues, *Trachurus* sp.; les sardinelles rondes, *Sardinella aurita*; et les anchois communs, *Engraulis encrasicolus*) ont fait l'objet d'évaluations pour déterminer leur TMP, à l'aide des durées de vie larvaires estimées à partir de la documentation, qui ont été utilisées comme données entrantes dans les calculs de TMP (**tableau 9**).

Les valeurs estimées de TMP calculées sont très faibles pour ces trois taxa; ces résultats préliminaires indiquent que les impacts sur les niveaux de populations découlant de la prise d'eau par les installations flottantes de GNL seront minimes. Le TMP des larves des crabes, des crevettes et des mollusques n'a pas été calculé, en raison du manque de données propres à ces espèces et nécessaires pour déterminer la durée de vie larvaire du plancton de ces espèces.

Tableau 9 Estimations du taux de mortalité proportionnel (TMP) des larves de certaines espèces de poissons

Taxon	Entraînement proportionnel (EP)	Durée de vie larvaire (jours)	Survie (1-EP)[a]	TMP 1-(1-EP)[b]
Trachurus sp.	$3{,}85 \times 10^{-5}$	30[1]	0,998844	0,001156
Sardinella aurita	$3{,}85 \times 10^{-5}$	28[2]	0,998921	0,001079
Engraulis encrasicolus	$3{,}85 \times 10^{-5}$	12[3]	0,999538	0,000462

1 - Van Beveren et al., 2016.
2 - Mbaye et al., 2015
3 - Dulcic, 1997.
a - Taux de survie par jour
b - Taux de mortalité proportionnel par jour

5.0 Discussion

Les échantillons propres au site pour l'été et l'hiver ont permis de cerner l'ampleur de la présence et de l'abondance de l'ichtyoplancton et du zooplancton dans cette région. Les différences spectaculaires entre les nombres d'individus prélevés pendant les deux saisons témoignent de l'effet du frai de plusieurs-espèces sur la composition et l'abondance des échantillons de plancton. La zone du plateau au large de la frontière maritime entre la Mauritanie et le Sénégal abrite un ensemble diversifié d'espèces démersales et pélagiques qui fraient en pondant des œufs dans la colonne d'eau. D'autres auteurs ont documenté une variation semblable entre les saisons et les régions au large du nord-ouest de l'Afrique (Arkhipov, 2015). Bien que les différences entre les nombres recensés l'hiver et ceux recensés l'été soient considérables, les échantillons à plus petites échelle prélevés le jour et la nuit et dans les deux strates de profondeur de 10 m ne variaient pas significativement les uns des autres.

L'estimation de l'EP de 0,004 % présenté ici est conservatrice et est typique des zones côtières libres présentant une circulation complexe et un habitat relativement uniforme (colonne d'eau et plancher océanique plat). Les estimations de l'EP pour les étendues d'eau intérieures présentant une faible circulation sont beaucoup plus élevées (p. ex., de 1 à 30 %; Steinbeck et al., 2007). Il est important de réaliser que ces pertes d'entraînement associées aux projets représentent une petite fraction du nombre total d'œufs produits par les populations adultes régionales reconnues en période de frai. Par exemple, les femelles de l'espèce de sciaenidés ouest-africaine *Pseudotolithus elongatus* peuvent pondre plus de 200 000 œufs pendant un même événement de frai (Ekanem et al., 2004). Les sardinelles rondes peuvent pondre entre 26 000 et 316 000 œufs pendant un même événement, et la plupart des individus fraient plusieurs fois pendant une même saison (Tsikliras et Antonopoulou, 2006). Dans les eaux de la haute mer, les variations entre les échantillons peuvent aussi être très élevées. Les larves sont reconnues comme étant distribuées en amas ou en plaques distinctes dans le paysage océanique (McManus et Woodson, 2012). Les individus de certains taxa peuvent s'agréger en grands nombres, alors que d'autres sont répartis de façon clairsemée. Par exemple, les petites carangues, l'espèce la plus abondante dans les échantillons prélevés pendant l'étude de l'été, est reconnue pour former des agrégations dans d'autres régions (Leffler, 1989). Les échantillons utilisés ici devraient refléter fidèlement le niveau de variation attendu pour un point unique de prise d'eau dans une région géographique donnée.

De plus, même si cette analyse indique qu'un très faible pourcentage du plancton est à risque, la plupart des individus d'ichtyoplancton, ainsi que les organismes de phytoplancton et de zooplancton dont les larves de poissons se nourrissent, sont présents à grande échelle, bien au-delà de la population calculée pour la source d'eau de laquelle l'eau de refroidissement sera puisée. Arkhipov (2009), à l'aide de données associées à des échantillons d'ichtyoplancton prélevés au-dessus des eaux du plateau au large de la Mauritanie de 1997 à 2008, a estimé les stocks actuels d'eaux et de larves pour plusieurs espèces pélagiques entre 16° et 21° N. Les stocks actuels sont une estimation

du nombre total d'œufs ou de larves (stocks) dans une zone donnée à un moment particulier. Les stocks actuels estimés d'œufs de *Sardinella aurita* avaient une valeur moyenne de 111,1 x10^{10} et variaient entre 546,1 × 10^{10} œufs en juin-juillet 1998 et 0 en décembre-janvier 2005-2006. Les stocks actuels de larves de *S. aurita* pendant la même période avaient une valeur moyenne de 968,7 × 10^{9} et variaient entre 545,4 × 10^{10} en août 2001 et 0 en juin-juillet 1998. Les stocks actuels d'autres espèces pélagiques, notamment les chinchards (*Trachurus* spp.) et les grandes allaches (*S. maderensis*) étaient des mêmes ordres de grandeur.

Les taxa de plancton largement distribués devraient provenir du plateau et, dans une moindre mesure, des eaux océaniques. Étant donné que l'embouchure du fleuve Sénégal se situe le long de la partie sud de la frontière est de la source d'eau, il est possible que des organismes d'ichtyoplancton et de zooplancton soient transportés du fleuve jusqu'à l'ensemble de plancton présent dans la source d'eau. Bien qu'il existe peu de connaissances sur le plancton vivant dans le fleuve Sénégal, Champalbert et al. (2007) y ont documenté la présence de larves de crevettes, de crabes et de poissons. Une partie de ces larves pourrait certainement être transportée par advection dans la population de plancton de la source d'eau, selon la saison et la configuration des courants, mais la composition des échantillons prélevés dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes ne témoigne pas de la présence de nombreux taxa d'origine estuarienne.

Même si les organismes de plancton invertébrés (en particulier les larves de crevettes, de crabes et de mollusques) pourraient être touchés de manière semblable par la prise d'eau de refroidissement, ces groupes n'ont pas été évalués, étant donné qu'aucun individu n'a été identifié à un niveau taxonomique qui aurait permis d'en faire une évaluation valable. En dépit de leur grande abondance, les groupes holoplanctoniques comme les copépodes, les chaetognates, les siphonophores, les amphipodes et les mysidacés sont rarement évalués, en raison de leur grande répartition géographique et de leur taux de renouvellement élevé de la population (Steinbeck et al., 2007). Les estimations présentées dans la présente analyse sont considérées comme étant représentatives de la période pendant laquelle les échantillons ont été prélevés. Les nombres et types de larves présents différeront selon la période de l'année, étant donné que les tendances en matière de frai et les courants changent au fil des saisons. Les échantillons prélevés lors d'une autre période présenteront probablement une composition taxonomique, des densités et des vitesses moyennes de courants différentes; un ou plusieurs de ces facteurs pourraient modifier les estimations liées à l'entraînement ainsi que le rapport d'EP.

Il est intrinsèquement difficile d'extrapoler de manière fiable les effets des pertes d'entraînement sur les niveaux des populations, en raison de nombreux facteurs confusionnels, notamment la température de l'eau, sa salinité et les concentrations en nutriments (Berraho et al., 2015; Hinde et al., 2017; Arkhipov, 2009); les particularités de la circulation de l'eau et l'upwelling (Auger et al., 2016; Olivar et al., 2016); la disponibilité des proies (Hinde et al., 2017); et la variabilité des moments et des lieux de frai des organismes adultes (Arkhipov, 2009).

6.0 Résumé

Des échantillons de plancton ont été prélevés dans deux strates de profondeur différentes, à la fois pendant le jour et pendant la nuit, à l'hiver 2016 et à l'été 2017. Selon les échantillons prélevés à trois stations choisies au hasard dans la zone du terminal du hub GNL près des côtes, les densités des œufs et des larves étaient plus élevées dans la strate de profondeur de 0 à 10 m, avec les valeurs maximales évidentes pendant la nuit. Les densités de zooplancton représentaient plus de 99 % des organismes prélevés dans les échantillons de plancton; les œufs et les larves de poissons ne contribuaient qu'à moins de 0,01 % des densités totales. La diversité des taxa recueillis représente l'ensemble attendu pour la profondeur de l'eau et la latitude étudiées. La plupart des taxa prélevés étaient des formes côtières ou des formes vivant sur le plateau, notamment des carangidae (carangues, liches et chinchards), gobidés (gobies), des sciaenidés (ombrines et otolithes), des Cynoglossidae (soles), des Paralichthyidae (plies) et des Bothidae (turbots) qui vivent le long de l'environnement de substrat meuble du plateau interne (profondeurs de <60 m). Selon les tailles des larves recueillies, plusieurs d'entre elles pourraient avoir été reproduites dans la source d'eau (c.-à-d. dans un rayon de 173 km du site proposé du FLNG). Quelques taxa océaniques comme des poissons-lanternes (*Diaphus* sp.) ont aussi été prélevés, ce qui indique que certaines larves nées dans des eaux plus profondes (>300 m) se sont déplacées vers les côtes, comme l'indique la documentation portant sur cette région (Olivar et al., 2016; John et Zelck, 1997).

Les taux d'entraînement quotidiens calculés pour les taxa d'ichtyoplancton de la partie supérieure de la colonne d'eau en hiver étaient les plus élevés pour le taxon des sciaenidés (ombrines et otolithes), qui contribuait à près de 46 % des pertes totales d'entraînement. Les pertes d'entraînement associées aux autres taxa d'ichtyoplancton (p. ex., *Sardinella* sp.), étaient de 9 % ou moins. Dans la partie inférieure de la colonne d'eau, l'entraînement des larves de poissons était également dominé par les sciaenidés.

À l'été, l'augmentation spectaculaire de la densité de l'ichtyoplancton a mené à des taux d'entraînement qui dépassaient largement les estimations propres à l'hiver. Les petites carangues, un certain nombre de taxa de chinchards, des grunts et des sardines formaient la majeure partie des individus. Malgré ces différences saisonnières, les pertes d'entraînement représentent une fraction extrêmement faible des stocks actuels.

Le rapport entre les densités entraînées et les densités présentes dans la source d'eau est de 0,004 %. Ce rapport est constant pour tous les taxa évalués, étant donné que des densités d'entraînement et des densités de source d'eau identiques ont été utilisées dans les calculs. Les différences de densité entre les strates de profondeurs ne sont pas évidentes pour les différents taxa; le traitement statistique plus poussé que les données sommaires est problématique, étant donné la nature sporadique des données.

L'estimation de l'EP de 0,004 % présenté ici est conservatrice et est typique des zones côtières libres présentant une circulation complexe et un habitat relativement uniforme (colonne d'eau et plancher océanique plat). De plus, même si cette analyse indique qu'un très faible pourcentage du plancton est à risque, la plupart des individus d'ichtyoplancton, ainsi que les organismes de phytoplancton et de zooplancton dont les larves de poissons se nourrissent, sont présents à grande échelle, bien au-delà de la population calculée pour la source d'eau de laquelle l'eau de refroidissement sera puisée.

Les taxa de plancton largement distribués devraient provenir du plateau et, dans une moindre mesure, des eaux océaniques. Étant donné que l'embouchure du fleuve Sénégal se situe le long de la partie sud de la frontière est de la source d'eau, il est possible que des organismes d'ichtyoplancton et de zooplancton soient transportés du fleuve jusqu'à l'ensemble de plancton présent dans la source d'eau. Bien qu'il existe peu de connaissances sur le plancton vivant dans le fleuve Sénégal, il est possible qu'une certaine partie des larves de crevettes, de crabes et de poissons provenant du fleuve Sénégal soit transportée par advection dans la population de plancton de la source d'eau, selon la saison et la configuration des courants.

Les individus de plancton invertébrés (p. Ex., les larves de crevettes, de crabes et de mollusques) seraient touchés d'une manière semblable par la prise d'eau de refroidissement, bien que ces groupes n'aient pas été évalués dans la présente analyse. En dépit de leur grande abondance, les groupes holoplanctoniques comme les copépodes, les chaetognates, les siphonophores, les amphipodes et les mysidacés sont rarement évalués, en raison de leur grande répartition géographique et de leur taux de renouvellement élevé de la population. Les estimations présentées dans la présente analyse sont considérées comme étant représentatives des deux périodes d'échantillonnage, soit l'hiver et l'été. Les nombres et types de larves présents différeront selon la période de l'année, étant donné que les tendances en matière de frai et les courants changent au fil des saisons. Cette particularité a été démontrée par les différences dans la composition et l'abondance des larves de poissons dans les échantillons prélevés l'été et l'hiver.

Enfin, il est intrinsèquement difficile d'extrapoler de manière fiable les effets des pertes d'entraînement sur les niveaux des populations, en raison de nombreux facteurs confusionnels, notamment la température de l'eau, sa salinité et les concentrations en nutriments (Berraho et al., 2015; Hinde et al., 2017; Arkhipov, 2009); les particularités de la circulation de l'eau et l'upwelling (Auger et al., 2016; Olivar et al., 2017); la disponibilité des proies (Hinde et al., 2017); et la variabilité des moments et des lieux de frai des organismes adultes (Arkhipov, 2009). Le niveau de variation est mis en lumière par les différences au sein des densités d'ichtyoplancton entre les échantillons prélevés l'hiver et ceux prélevés l'été dans les zones côtières et offshore.

7.0 Documentation citée

Arkhipov, A.G. 2009 : Seasonal and inter-annual variation of ichthyoplankton off Mauritania. Journal of Ichthyology 49(6):460-468.

Arkhipov, A.G. 2015. Dynamics of abundance of eggs and larvae of common fish species in the central part of the Eastern Central Atlantic. Journal of Ichthyology 55 (2): 217-223

Auger, P., T. Gorgues, E. Machu, O. Aumont et P. Brehmer. 2016. What drives the spatial variability of primary productivity in the north-west African upwelling system? A modeling approach. Biogeosciences 13:6419-6440.

Berraho, A., L. Somoue, S. Hernández − León et L. Valdés. 2015. Zooplankton In The Canary Current Large Marine Ecosystem, pp. 183-196. Tiré de : Valdés, L. et Déniz-González, I. (réd.). Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. Governmental Oceanographic Commission Technical Series 115.

Boreman, J., C.P. Goodyear et S.W. Christensen. 1978. An empirical transport model for evaluating entrainment of aquatic organism by power plants. FWS/OBS-78/90. U.S. Fish and Wildlife Service, Ann Arbor, MI.

Boreman, J., C.P. Goodyear et S.W. Christensen. 1981. An empirical methodology for estimating entrainment losses at power plants sited on estuaries. Transactions of the American Fishery Society 110:253-260.

Champalbert, G., M. Pagano, P. Sene et D. Corbin. 2007. Relationships between meso- and macro-zooplankton communities in the Senegal River estuary. Estuarine and Coastal Shelf Science 74:381-394.

Dulcic, J., 1997. Growth of anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L.), larvae in the Northern Adriatic Sea. Fisheries Research 31:189-195.

Ekanem, S.B., M. Achima et M. M. Ekere. 2004. Studies on some reproductive aspects of *Pseudotolithus elongatus* in the Cross River estuary, Nigeria. Scientia Marina 68(2):265-271.

Entrix, Inc. 2007. Draft Environmental Impact Statement for Calypso LNG Deepwater Port License Application. DOT docket number USCG-2006-26009. Préparé pour USCG Deepwater Ports Standards Division (CG03PSO-5), Washington, D.C.

Golar LNG. 2017. Summary of indicative emissions and discharges of Mkl FLNG. Rapport pour Kosmos, 8 pp.

Hamann, I., H.-Ch. John et E. Mittlestaedt. 1981. Hydrography and its effect on fish larvae in the Mauritanian upwelling area. Deep-Sea Research 28:561-575.

Hanel, R., H.John, O. Meyer-Klaeden, U. Piatkowski. 2010. Larval fish abundance, composition and distribution at Senghor Seamount (Cape Verde Islands). Journal of Plankton Research 23(11): 1541-1556

Hinde, A., B. Amina, B. Tarik, A. Aziz, M. Ahmed, et E. Ahmed. 2017. Autumn larval fish assemblages in the northwest African Atlantic coastal zone. Chinese Journal of Oceanology and Limnology 35(3):515-527.

John, H.-Ch. et C. Zelck. 1997. Features, boundaries, and connecting mechanisms of the Mauritanian Province exemplified by oceanic fish larvae. Helgolander Meersunters 51:213-240.

Johnson, D. L. et W.W. Morse. 1994. Net extrusion of larval fish: correction factors for 0.333 mm versus 0.505 mm mesh bongo nets. NAFO Science Council Studies 20:85-92.

Laurindo, L.C., A.J. Mariano et R. Lumpkin. 2017. An improved surface climatology for the global ocean from drifter observations. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 1124:75-92.

Leffler, D. L. 1989. Composition, abundance, and small-scale distribution of ichthyoplankton off the Louisiana-Mississippi Barrier Islands, with special emphasis on the age, growth, and mortality of *Chloroscombrus chrysurus.* Thèse de Maîtrise, université Louisana State. Agricultural and Mechanical College, Louisiane. 150 p.

Lumpkin, R. et D.L. Johnson. 2013. Global ocean surface velocities from drifters: Mean, variance, El Niño–Southern Oscillation response, and seasonal cycle. J. Geophys. Res. Oceans 118:2992-3006.

MacCall, A.D., K.R. Parker, R. Leithiser et B. Jessee. 1983. Power plant impact assessment: A simple fishery production model approach. Fishery Bulletin 81(3):613-619.

Marine Geoscience Data System. 2017. Interdisciplinary Earth Data Alliance (IEDA) Data Browser. Accessible au : www.marine-geo.org. Dernière consultation : Août 2017.

Mbaye, B.C., T. Brochier, V. Echevin, A. Lazar, M. Lévy, E. Mason, A.T. Gaye et E. Machu. 2015. Do *Sardinella aurita* spawning seasons match local retention patterns in the Senegalese-Mauritanian upwelling region? Fisheries Oceanography 24(1):69-89.

McManus, M.A. et C.B. Woodson. 2012. Plankton distribution and ocean dispersal. Journal of Experimental Biology 215:1008-1016.

Menna, M., S. Faye, P.-M. Poulain, L. Centurioni, A. Lazar, A. Gaye, B. Sow et D. Dagorne. 2016. Upwelling features off the coast of north-western Africa in 2009-2013. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata 57(1):71-86.

Olivar, M.P. A. Sabates, M.V. Pastor et J.L. Pelegri. 2016. Water masses and mesoscale control on latitudinal and cross-shelf variations in larval fish assemblages off NW Africa. Deep-Sea Research I: Oceanographic Research Papers 117:120-137.

Raimondi, P. 2016. Overview of impacts of ocean intakes on the marine environment, mitigation strategies, and implications of the new California policy regarding ocean intakes. Accessible au : http://waterinthewest.stanford.edu/sites/default/files/related_documents/Pete%20Raimondi.pdf. Dernière consultation : 17 mai 2016.

Ryan, W.B.F., S.M. Carbotte, J.O. Coplan, S. O'Hara, A. Melkonian, R. Arko, R.A. Weissel, V. Ferrini, A. Goodwillie, F. Nitsche, J. Bonczkowski et R. Zemsky. 2009. Global Multi-Resolution Topography synthesis. Geochem. Geophys. Geosyst. 10, Q03014. doi: 10.1029/2008GC002332.

Steinbeck, J.R., J. Hedgepeth, P. Raimondi, G. Cailliet et D.L. Mayer. 2007. Assessing Power Plant Cooling Water Intake System Entrainment Impacts. Rapport soumis à la California Energy Commission. CEC-700-2007-010. 105 pp. Appendix E - Guidance Documents for Assessing Entrainment Including Additional Information on the Following Loss Rate Models: Fecundity Hindcasting (FH), Adult Equivalent Loss (AEL) and Area Production Forgone using an Empirical Transport Model (ETM/APF).

Tsikliras, A.C. Et E. Antonopoulou. 2006. Reproductive biology of round sardinella (*Sardinella aurita*) in the north-eastern Mediterranean. Scientia Marina 70(2):281-290.

Université de Miami. 2017. Surface Currents in the Atlantic Ocean. Global Ocean Surface Velocities from Drifters. Accessible au : http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/img_gosv_seasonal.php. Dernière consultation : Août 2017.

Van Beveren, E., M. Klein, E.A. Serrão, E.J. Goncalves et R. Borges. 2016. Early life history of larvae and early juvenile Atlantic horse mackerel *Trachurus trachurus* off the Portuguese west coast. Fisheries Research 183:111-118.

ANNEXE N : RAPPORTS DE MODÉLISATION DES SCÉNARIOS D'ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS

Annexe N
Rapports de modélisation des scénarios d'événements accidentels

CONTENU DE L'ANNEXE

N-1 Rapports de modélisation de déversement d'hydrocarbures

- N-1a Rapport de modélisation de déversement d'hydrocarbures – défaillance de tête de puits
- N-1b Rapport de modélisation de déversement d'hydrocarbures – défaillance du FPSO en raison d'une collision avec un navire
- N-1c Rapport de modélisation de déversement d'hydrocarbures – collision avec un navire poseur de conduites
- N-1d Rapport de modélisation de déversement d'hydrocarbures – étude du fleuve Sénégal

N-2 Rapport sur la modélisation des conséquences pour l'Étude de dangers

ANNEXE N-1 : RAPPORTS DE MODÉLISATION DE DÉVERSEMENT D'HYDROCARBURES

ANNEXE N-1a : RAPPORT DE MODÉLISATION DE DÉVERSEMENT D'HYDROCARBURES – DÉFAILLANCE DE TÊTE DE PUITS

Rapport sur la modélisation des déversements accidentels d'hydrocarbures, défaillance de tête de puits : Tortue Phase 1a

BP p.l.c.

Numéro du document : GEOM0132a R03
Date d'émission : 19 janvier 2018

Oil Spill Response Limited
Lower William Street
Southampton
SO14 5QE
Royaume-Uni
Tél. : +44 (0)23 8033 1551
Fax : +44 (0)23 8022 1972

SOMMAIRE EXÉCUTIF

La modélisation de déversement accidentel d'hydrocarbures a été faite par Oil Spill Response Ltd. (OSRL) pour le compte de BP, sur le projet Tortue Phase 1a, au large du Sénégal et de la Mauritanie (Figure 1). Les résultats de cette analyse aideront à élaborer un plan d'urgence et une étude d'impact sur l'environnement pour la région en cas de déversement d'hydrocarbures. Les scénarios modélisés sont résumés dans le Tableau 1.

Scénario 1 : explosion d'un puits de 227 000 m^3 de condensat sur 60 jours en été (avril à septembre)

Scénario 2 : explosion d'un puits de 227 000 m^3 de condensat sur 60 jours en hiver (octobre à mars)

Un déversement à cet emplacement, à environ 120 km de la côte, a une probabilité de 96 % d'impact sur le rivage (impact léger ou plus important) si le déversement se produit en été et une probabilité de 33 % d'impact sur le rivage s'il se produit en hiver. La Mauritanie et le Sénégal sont les deux seuls pays à risquer un impact du littoral, mais le Sénégal risque d'être plus sévèrement touché.

Les eaux de la Mauritanie et le Sénégal seront touchés par ce scénario de déversement. Alors qu'un plus grand nombre de pays seront impactés dans le scénario été (9 pays en été contre 6 pays en hiver), un déversement en hiver est beaucoup plus susceptible d'impacter les eaux du Cap-Vert (51 % en été contre 100 % en hiver) et de la Gambie (42 % en été contre 92 % en hiver).

Cependant, l'épaisseur du déversement de condensat se limite surtout à des films très minces d'hydrocarbures aux reflets argentés et irisé qui se disperseront plus facilement. Une faible surface du déversement d'hydrocarbure pourrait avoir une apparence métallique (> 5 µm) dans la zone locale autour du puits (env. 25 km). En raison de la forte turbidité créée par le gaz au niveau du puits, les gouttelettes de condensat sont très petites. Par conséquent, elles remontent vers la surface plus lentement et ne se concentrent pas de la même façon que s'il y avait absence de gaz.

HISTORIQUE DU DOCUMENT

Numéro du document	Révision	Type de document	Auteur	Révision technique	Révision du format	Date d'émission
GEOM0132a	R01	Rapport préliminaire de modélisation	JKM	LHM	SJB	24 novembre 2017
GEOM0132	R02	Commentaires des clients pris en compte	JKM	LHM	SJB	12 janvier 2018
GEOM0132	R03	Commentaires des clients pris en compte	LHM	N/A	N/A	19 janvier 2018

JKM, Jenny Kirsty Mitchell LHM, Liam Harrington-Missin SJB, Simon Blaen

CLAUSES DE NON-RESPONSABILITÉ

- Les résultats de la modélisation ne doivent être utilisés qu'à titre indicatif et les stratégies d'intervention ne doivent pas se baser uniquement sur ces résultats.
- La résolution/qualité des données relatives aux vents et aux courants marins varie selon les régions et les modèles. Comme pour tout modèle, la qualité et la fiabilité des résultats dépendent de celles des données d'entrée.

Compte tenu de ce qui précède, tous les conseils, modélisations et autres renseignements fournis sont génériques et donnés à titre d'exemple uniquement. Ils ne sont pas destinés à être utilisés pour un cas spécifique. Le destinataire de tout conseil, modélisation ou autre information fournis par OSRL ou en son nom, reconnaît et convient qu'un certain nombre de variables peuvent avoir une incidence sur un déversement d'hydrocarbures et, à ce titre, doit être traité individuellement. OSRL décline toute responsabilité en ce qui concerne ces conseils, modélisations ou autres informations ; le destinataire de ces informations indemnise et dégage de toute responsabilité OSRL, ses dirigeants, employés, actionnaires, mandataires, contractants et sous-traitants pour les coûts, pertes, réclamations ou responsabilités découlant de ces conseils, modélisations, formations ou autres informations.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 5
1.1 CONTEXTE 5
1.2 OBJECTIFS 5
1.3 MISE EN PLACE DE LA MODELISATION 8
1.4 SEUILS 9

2 RÉSULTATS 11
2.1 RESULTATS STOCHASTIQUES 11
2.2 COMPARAISON ENTRE HIVER ET ETE 36
2.3 PIRE SCENARIO DE DEVERSEMENT D'HYDROCARBURES 38

3 CONCLUSION 45
3.1 IMPACT SUR LE LITTORAL 45
3.2 IMPACT SUR LA SURFACE 45

Annexe A. DONNÉES D'ENTRÉE FOURNIES AU MODÈLE 47
Annexe B. DONNÉES MÉTÉO-OCÉANIQUES 48
Annexe C. JUSTIFICATION DE LA DURÉE DES DÉVERSEMENTS 50
Annexe D. MAILLAGE DE L'HABITAT 54
Annexe E. CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES 55
Annexe F. LOGICIEL ET MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES 58
Annexe G. GLOSSAIRE DES TERMES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS 60
Annexe H. RÉFÉRENCES 63

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La modélisation de déversement accidentels d'hydrocarbures a été faite par Oil Spill Response Ltd. (OSRL) pour le compte de BP, sur le projet Tortue Phase 1a, au large du Sénégal et de la Mauritanie (Figure 1). Les résultats de cette analyse étayeront le plan d'urgence en cas de déversement accidentels d'hydrocarbures et l'évaluation des incidences environnementales pour la région. Les scénarios modélisés sont résumés dans le Tableau 1.

Scénario 1 : explosion d'un puits de 227 000 m^3 de condensat sur 60 jours en été (avril à septembre)

Scénario 2 : explosion d'un puits de 227 000 m^3 de condensat sur 60 jours en hiver (octobre à mars)

La simulation a été réalisée à l'aide du modèle préparation à la lutte contre les déversements accidentels d'hydrocarbures (Oil Spill Contingency and Response, OSCAR) de la société SINTEF. OSCAR est un outil de modélisation 3D utilisé pour prédire le mouvement et le devenir des hydrocarbures à la surface de la mer et à travers la colonne d'eau (voir ANNEXE F pour plus d'informations).

1.2 Objectifs

L'objectif de ce rapport est de présenter le risque pour la surface de la mer et le littoral en créant des cartes spatiales de :

1. probabilité : estimation de la possibilité qu'une zone soit touchée.
2. heure d'arrivée : estimation de la vitesse à laquelle une zone pourrait être touchée.
3. épaisseur de l'émulsion : estimation de la gravité de l'impact sur une zone.

Les données de ces cartes nous permettent de répondre aux questions suivantes :

1. À quelle vitesse le condensat pourrait-il atteindre les rivages avoisinants et en quelle quantité (masse) ?
2. Quels sont les pays les plus susceptibles d'être affectés par un déversement de condensat du gisement Tortue phase 1a ?
3. Quelles sensibilités environnementales pourraient être affectées par un déversement de condensat provenant du puits Tortue phase 1a ?

Tableau 1 : Mise en place du scénario

Description	Explosion du puits : été	Explosion du puits : hiver
Saison	Avril à septembre	Octobre à mars
Latitude	16° 05' 14.7516" N	
Longitude	017° 37' 32.718" W	
Volume total des déversements	227 000 m3	
Masse total des déversements	189 747,3 t	
Durée	60 jours	
Profondeur des déversements	2 725 m	
Rive la plus proche	env. 120 km, St Louis, Sénégal	

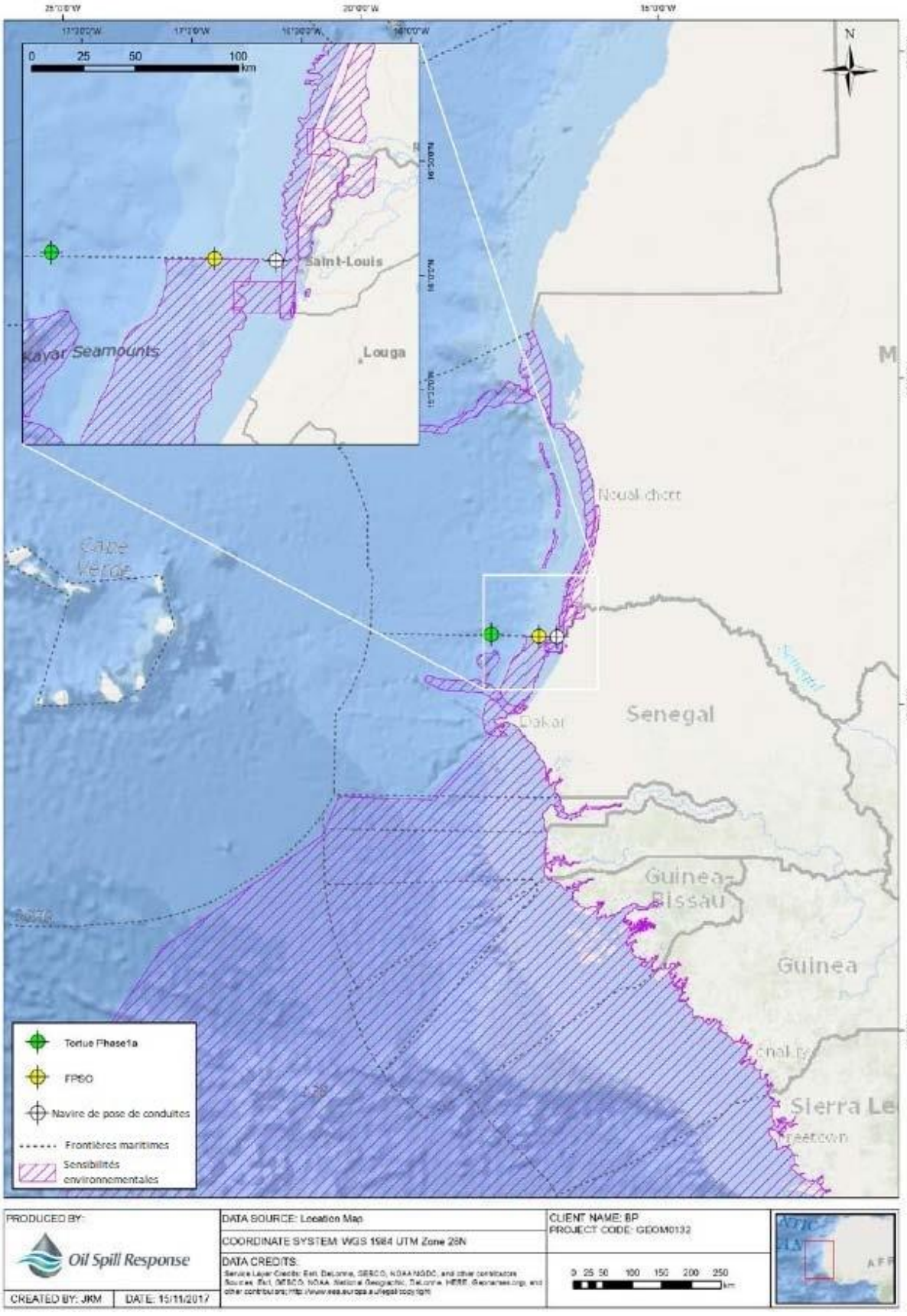


Figure 1 : Carte indiquant l'emplacement des déversements (point vert)

1.3 Mise en place de la modélisation

Deux simulations stochastiques du pire scénario ont été réalisées pour le projet Tortue phase 1a (Tableau 2), avec un total de 308 trajectoires individuelles post-traitées pour le scénario afin de créer les résultats stochastiques. Chaque trajectoire a débuté à une date différente, de sorte que chaque déversement a pu être simulé à l'aide d'une gamme de conditions vents-courants marins.

Trois années de données hydrodynamiques (source Copernic et NOAA) ont été utilisées dans le modèle. Voir ANNEXE A à

ANNEXE E pour plus d'information sur la mise en place du modèle.

Tableau 2 : Résumé de la configuration stochastique des scénarios de déversement

Description	Explosion du puits en été	Explosion du puits en hiver
Emplacement	16° 05' 14.7516" N 017° 37' 32.718" W	
Période de l'année	Avril à septembre	Octobre à mars
Période des déversements	60 jours	
Taux de déversement	3 783,3 m^3/jour	
Total des déversements(volume)	227 000 m^3	
Durée totale	95 jours	
Nombre total de trajectoires	154	154
Durée entre les trajectoires	4 jours, 14 heures	3 jours, 3 heures

1.4 Seuils

Les seuils définissent le point au-dessous duquel les données ne sont plus informatives. Par exemple, lorsque l'épaisseur de l'émulsion de surface est inférieure à 0,04 µm, les hydrocarbures ne sont plus visibles à l'œil nu et peuvent donc être considérés comme négligeables pour une intervention. Les seuils appliqués à cette étude sont donnés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Seuils utilisés dans l'étape du post-traitement de la modélisation

Seuil	Valeur	Description
Surface	Emplacement	Le code d'apparence de l'accord de Bonn définit cinq épaisseurs de couches d'hydrocarbures en fonction de leurs effets optiques et de leurs couleurs réelles. 0,04 µm est l'épaisseur minimale visible à l'œil nu.
Colonne d'eau	6 ppb (dissoute)	Faible niveau d'exposition aux hydrocarbures dissous dans l'eau.
	70 ppb (total)	Niveau d'exposition à l'hydrocarbure entraîné, OSCAR a prédit une concentration sans effet (CSEP).
Littoral	0,1 l/m^2	Seuil inférieur correspondant à un impact léger d'après le document ITOPF « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux ».

La valeur utilisée dans les cartes d'épaisseur des émulsions de surface dans ce document est dérivée du code d'apparence de Bonn (Tableau 4).

Tableau 4 : Valeur utilisée pour les résultats relatifs à l'épaisseur de l'émulsion à la surface de la mer

Apparence	Intervalle d'épaisseur de couche	Couleur
Reflet (argenté/gris)	0,04 µm à 0,3 µm	
Irisé (Arc-en-ciel)	0,3 µm à 5 µm	
Métallique	5 µm à 50 µm	
Vraie couleur discontinue	50 µm à 200 µm	
Vraie couleur continue	> 200 µm	

La valeur d'épaisseur utilisée dans les cartes des rives dans ce document est tirée du Document d'information technique n° 6 de l'ITOPF, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » (ITOPF, 2011b ; Tableau 7). Un impact très léger est jugée négligeable par l'ITOPF (ITOPF, 2011b) ; aucune réponse pratique n'est requise pour un rivage très légèrement impacté, hormis la surveillance du déversement d'hydrocarbures.

Tableau 5 : Valeur utilisée pour les concentrations dissoutes dans la colonne d'eau

Classification de la colonne d'eau	Concentration	Couleur
Faible	< 50 ppb	
Moyenne	50 à 400 ppb	
Élevée	> 400 ppb	

Tableau 6 : Valeur utilisée pour les concentrations totales de la colonne d'eau

Concentration	Couleur
< 150 ppb	
150 à 500 ppb	
500 à 750 ppb	
750 à 1000 ppb	
> 1000 ppb	

Tableau 7 : Valeur utilisée pour les résultats de l'épaisseur de l'émulsion du littoral

Classification des impacts côtiers	Concentration	Épaisseur	Couleur
Impact léger	0,1 à 1 l/m^2	0,1 mm à 1,0 mm	
Impact modéré	1 à 10 l/m^2	1 mm à 10 mm	
Impact fort	> 10 l/m^2	> 10 mm	

2 RÉSULTATS

2.1 Résultats stochastiques

Les résultats stochastiques du scénario 1 ont été calculés à partir de 154 trajectoires. Le scénario prévoit le rejet de 227 000 m^3 de condensat sur 60 jours pendant l'été (avril à septembre) et est suivi pendant 35 jours supplémentaires.

Les résultats sont les suivants:

Surface de la mer

Figure 2 : Explosion de puits : probabilité d'impact par cellule en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 3 : Explosion du puits : temps minimum d'arrivée en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 4 : Explosion du puits : épaisseur maximale de l'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 5 : Explosion du puits : épaisseur moyenne de l'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 6 : Explosion du puits : temps maximum d'exposition en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Littoral

Figure 7 : Explosion de puits : probabilité d'impact par cellule sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 8 : Explosion du puits : temps minimum d'arrivée sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 9 : Explosion de puits : impact sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 10 : Explosion d'un puits : impact sur le rivage, probabilité relative au temps d'arrivée sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 11 : Explosion d'un puits : impact sur le rivage, probabilité relative au volume (masse) atteignant le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Tableau 8 : Sévérité de la pollution du rivage suite à l'explosion d'un puits de Tortue Phase 1a

Colonne d'eau (hydrocarbures dissous)

Figure 12 : Explosion de puits : colonne d'eau (dissoute), probabilité d'impact par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 13 : Explosion du puits : colonne d'eau (dissoute), temps minimum d'arrivée, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 14 : Explosion du puits : colonne d'eau (dissoute), concentrations, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 15 : Explosion du puits : colonne d'eau (dissoute), temps maximum d'exposition, été (gauche) et hiver (droite)

Colonne d'eau (total des hydrocarbures)

Figure 16 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), probabilité d'impact par cellule, été (gauche) et hiver (droite)
Figure 17 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), temps minimum d'arrivée, été (gauche) et hiver (droite)
Figure 18 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), concentrations, été (gauche) et hiver (droite)
Figure 19 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), temps maximum d'exposition, été (gauche) et hiver (droite)

Explosion du puits

Surface

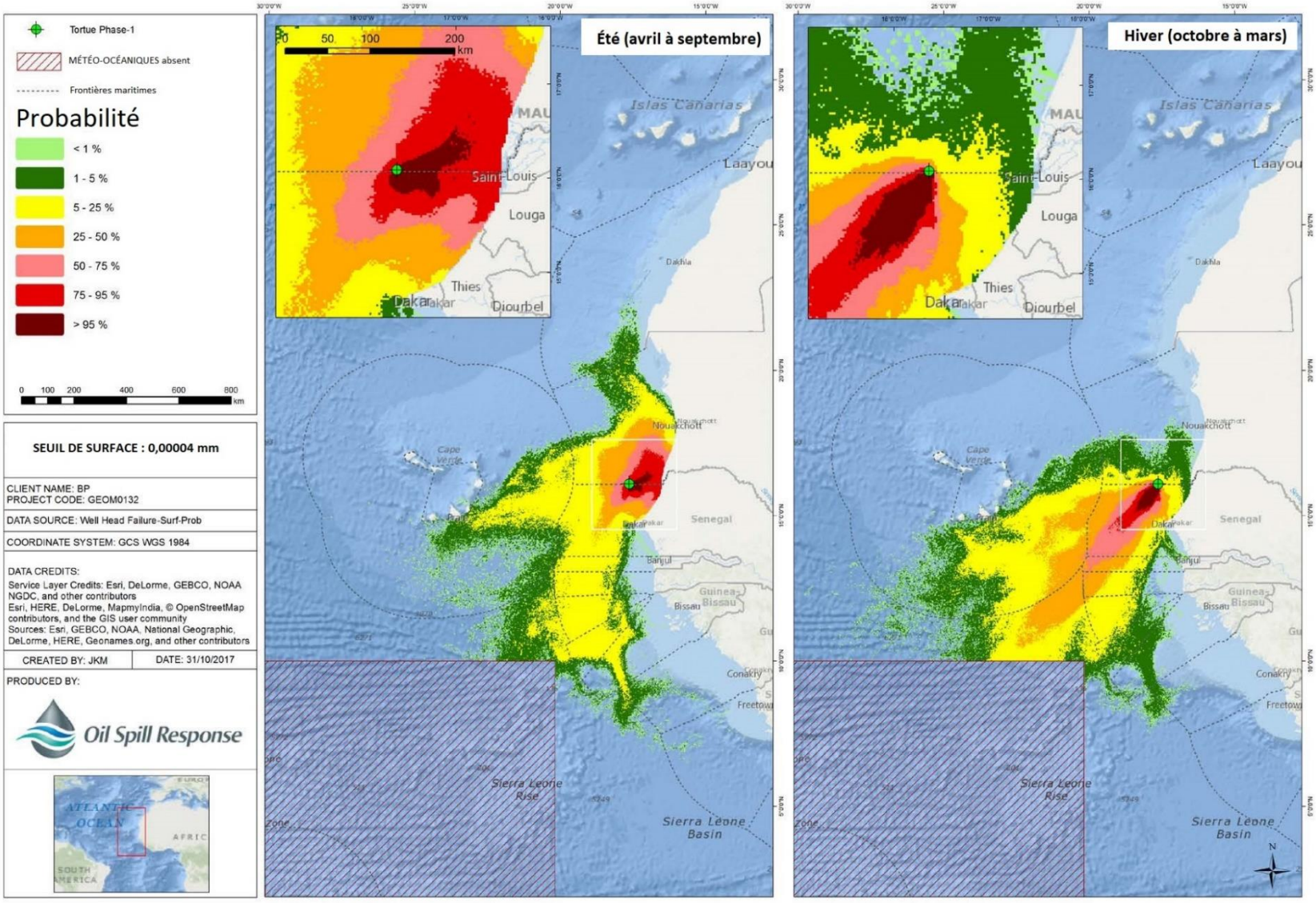


Figure 2 : Explosion de puits : probabilité d'impact par cellule en surface, été (gauche) et hiver (droite)

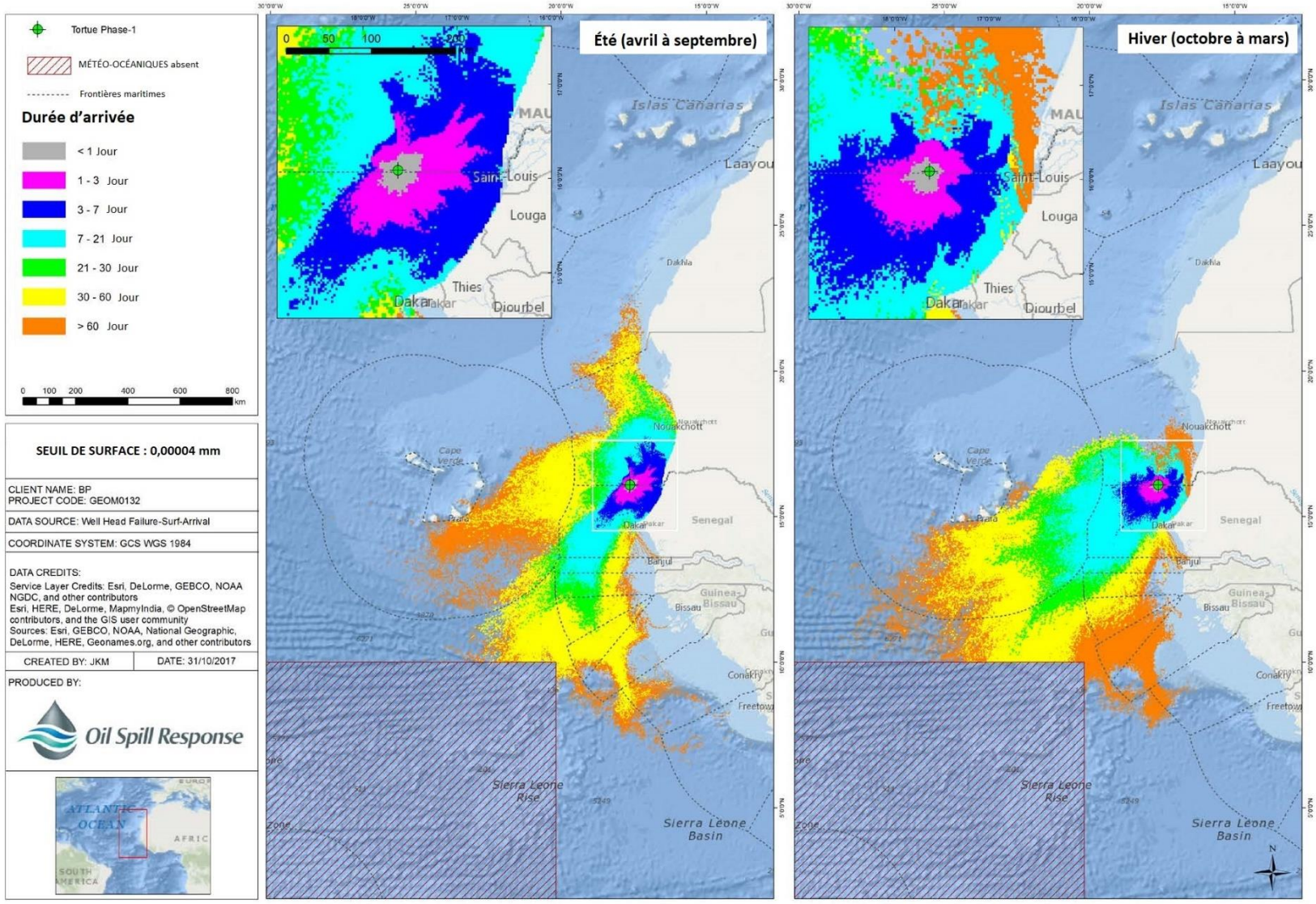


Figure 3 : Explosion du puits : temps minimum d'arrivée en surface, été (gauche) et hiver (droite)

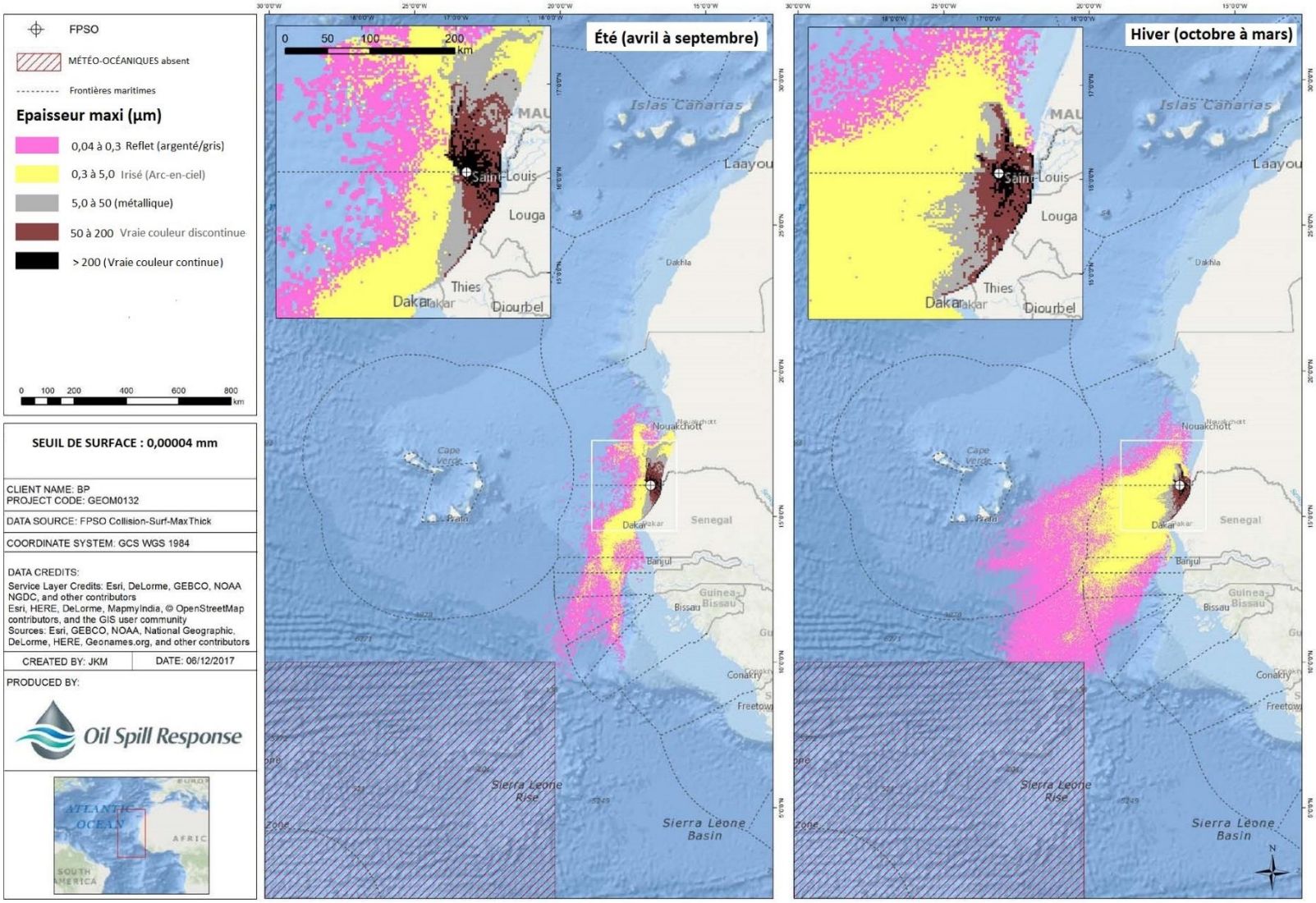


Figure 4 : Explosion du puits : épaisseur maximale de l'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

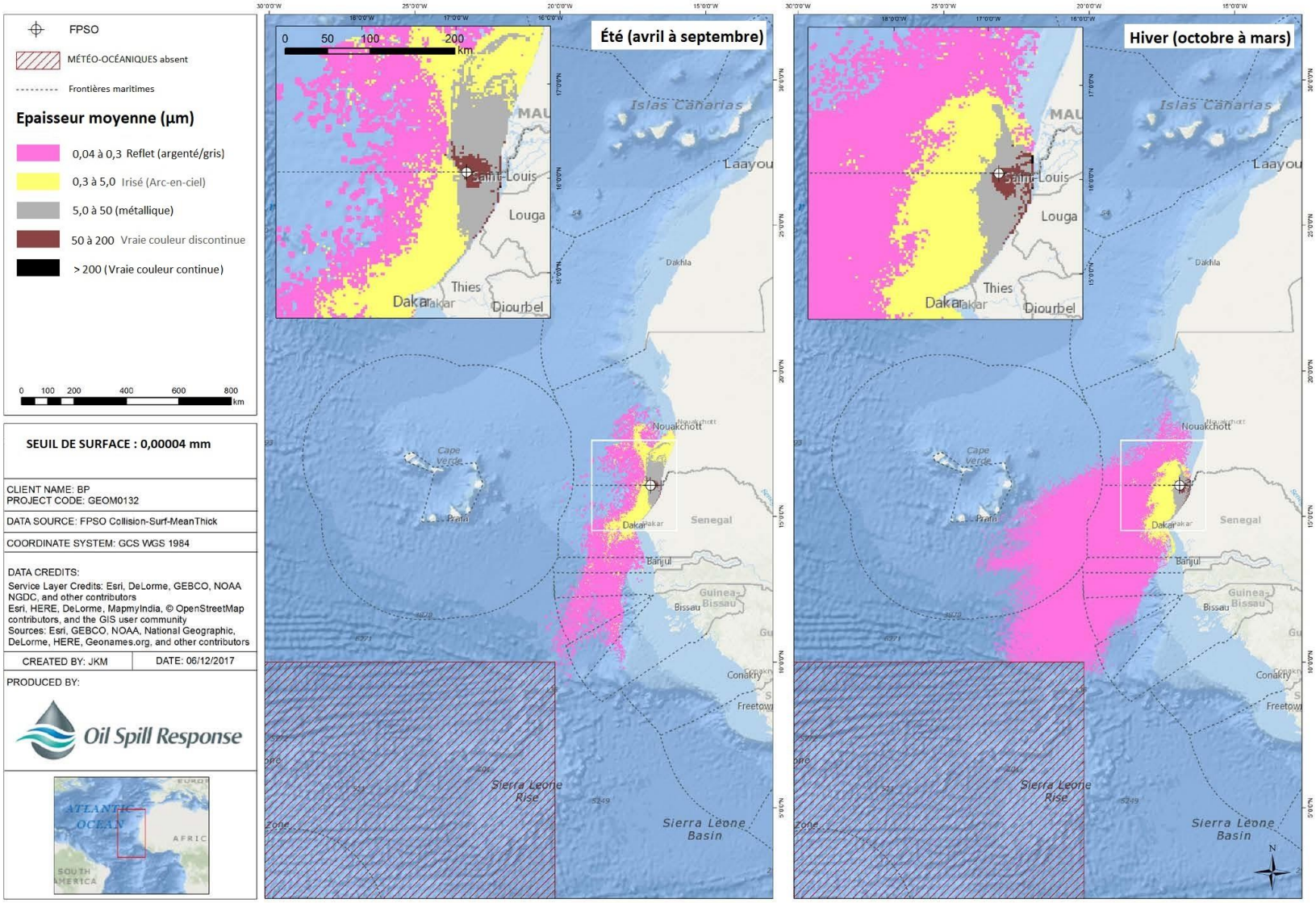


Figure 5 : Explosion du puits : épaisseur moyenne de l'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

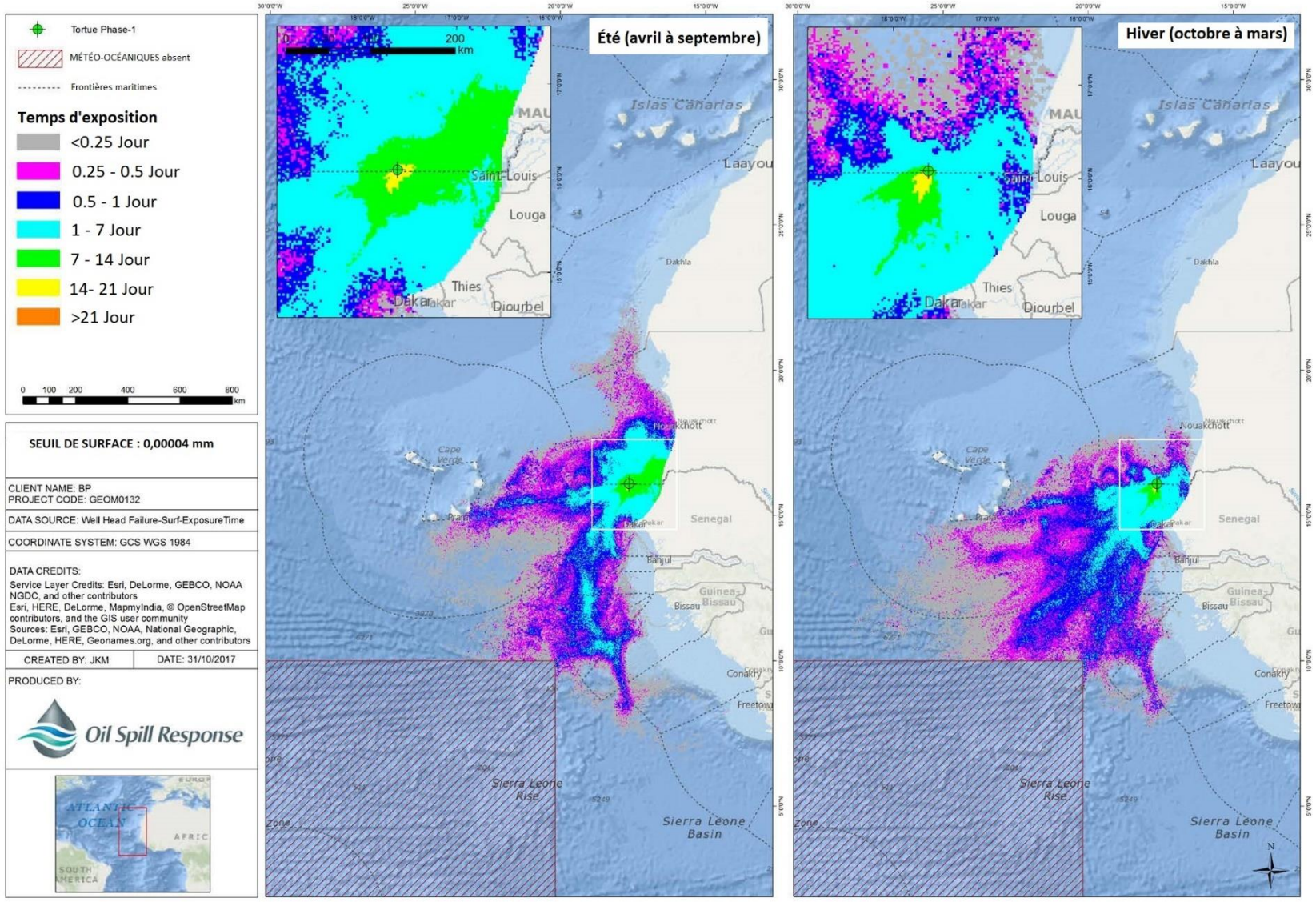


Figure 6 : Explosion du puits : temps maximum d'exposition en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Explosion du puits

Littoral

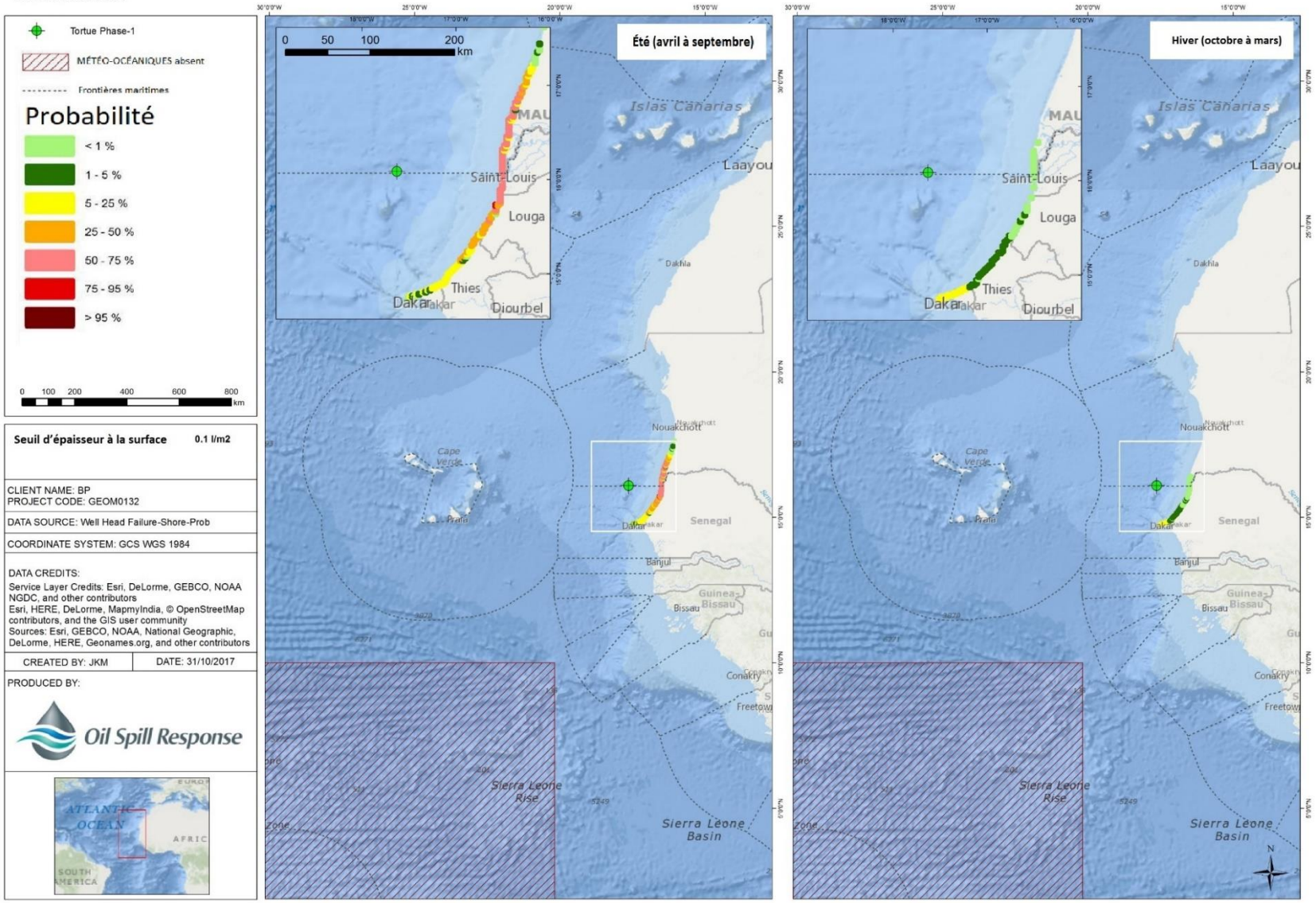


Figure 7 : Explosion de puits : probabilité d'impact par cellule du rivage, été (gauche) et hiver (droite)

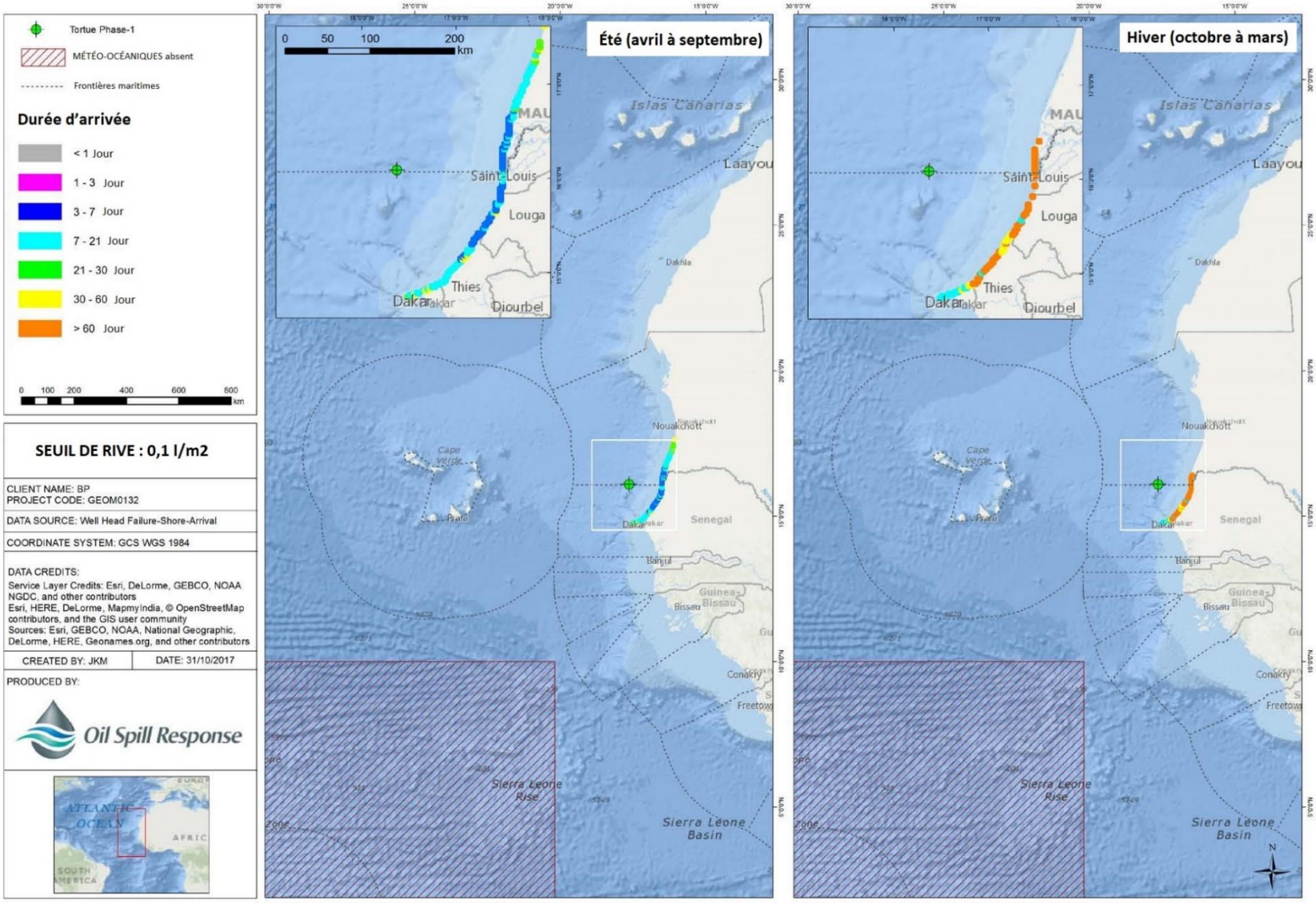


Figure 8 : Explosion du puits : temps minimum d'arrivée sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

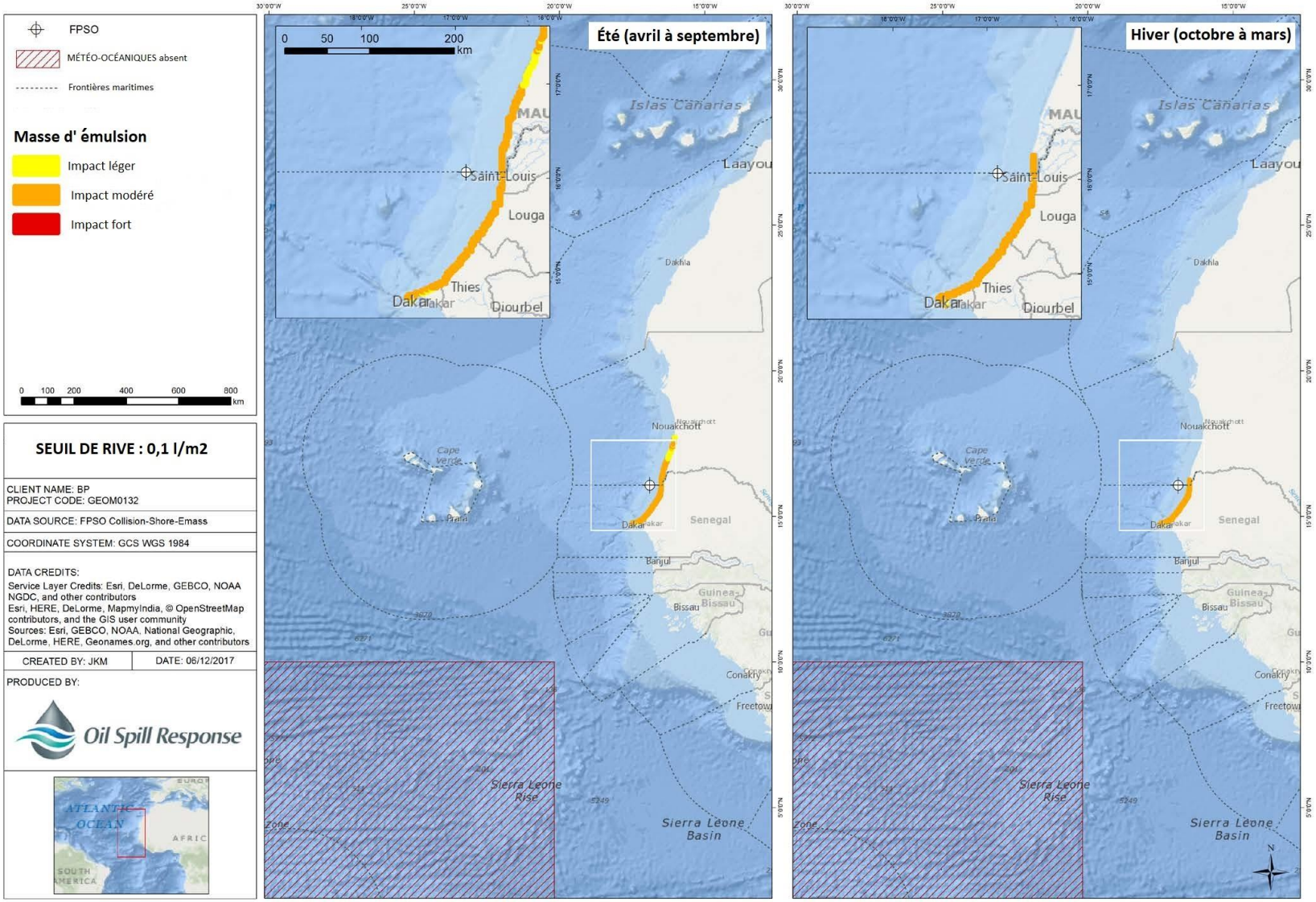


Figure 9 : Explosion de puits : impact sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

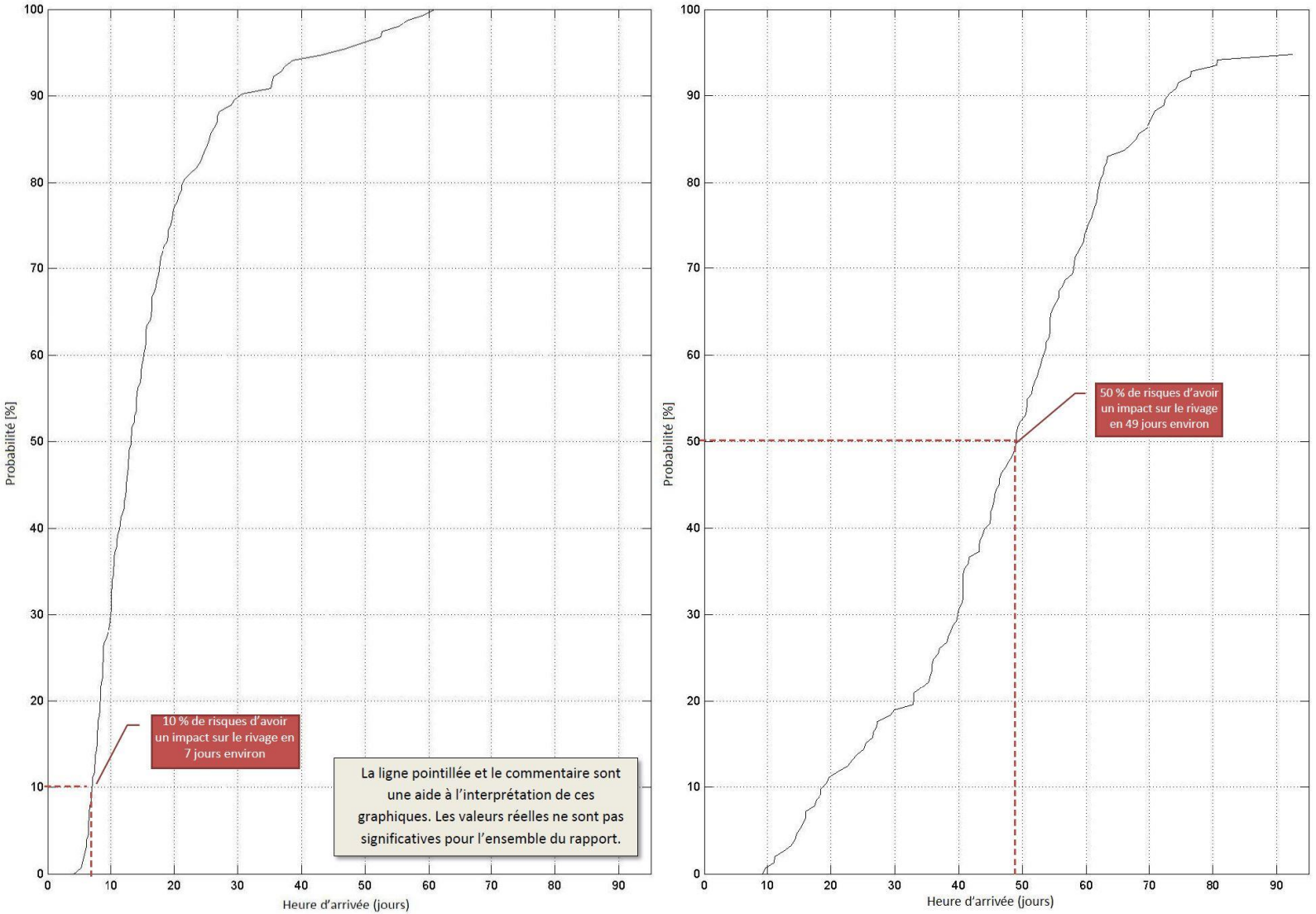


Figure 10 : Explosion d'un puits : impact sur le rivage, probabilité relative au temps d'arrivée sur le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

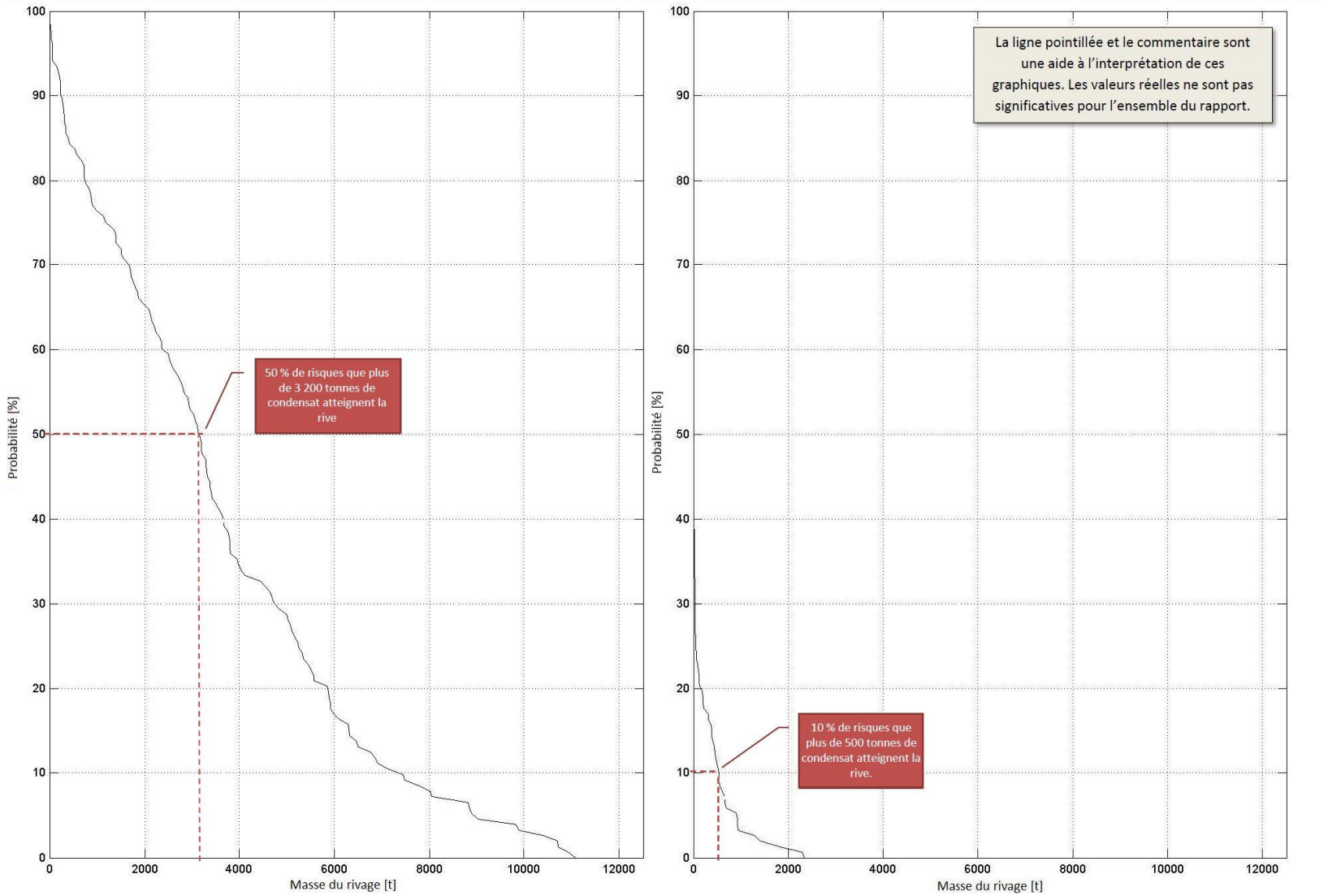


Figure 11 : Explosion d'un puits : impact sur le rivage, probabilité relative au volume (masse) atteignant le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Les tableaux Tableau 8 et Tableau 9 affichent le nombre de simulations entraînant différents niveaux d'impact sur le littoral d'après le document d'information technique (Technical Information Paper, TIP) de l'ITOPF. 6, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » et la longueur du rivage impacté. Pour plus d'informations, voir la section 0 Seuils.

Tableau 8 : Sévérité de l'impact du rivage suite à l'explosion d'un puits de Tortue Phase 1a

Référence ITOPF	**Impact léger, modéré et fort**		**Impact léger et modéré**		Impact léger		Aucune incidence importante	
Référence SCAT d'OSRL	**Épaisseur**		**Couverture**		Couche			
Saison	**Été**	**Hiver**	**Été**	**Hiver**	Été	Hiver	Été	Hiver
Nombre de simulations	**0 sur 154**	**0 sur 154**	**130 sur 154**	**29 sur 154**	18 sur 154	22 sur 154	6 sur 154	103 sur 154
Probabilité	**0 %**	**0 %**	**84 %**	**19 %**	12 %	14 %	4 %	67 %

Chacune des 154 trajectoires est classée dans une seule catégorie en fonction de l'impact côtier le plus sévère. Par exemple, une trajectoire qui possède au moins une cellule classée *impact fort* sera placée dans la catégorie impact fort, indépendamment du nombre d'autres cellules classées impact *léger* ou *modéré*.

Tableau 9 : Longueur du rivage touché à la suite de l'explosion d'un puits Tortue Phase 1a.

			Meilleur cas	Moyen (50e percentile)	Pire cas
Longueur du rivage impacté	**Fort**	**Été**	**0 km**	**0 km**	**0 km**
		Hiver	**0 km**	**0 km**	**0 km**
	Modéré	**Été**	**0 km**	**87 km**	**294 km**
		Hiver	**0 km**	**3 km**	**54 km**
	Léger	Été	0 km	99 km	185 km
		Hiver	0 km	8 km	98 km

Les données présentées dans ces tableaux peuvent être interprétées comme suit

- Dans le meilleur des cas, il n'y aura pas d'impact sur le littoral (4 % de probabilité que cela se produise en été et 67 % de probabilité que cela se produise en hiver).
- Dans un cas « classique » (50e percentile), il y aura :
  - Été = pas d'impact fort, 87 km d'impact modéré et 99 km d'impact léger.
  - Hiver = pas d'impact fort, 3 km d'impact modéré et 8 km d'impact léger.
- Dans le pire des cas (valeur maximum[1]), il y aura :
  - Été = pas d'impact fort, 294 km d'impact modéré et 185 km d'impact léger.
  - Hiver = pas d'impact fort, 54 km d'impact modéré et 98 km d'impact léger.

[1] Notez qu'il s'agit de la longueur maximale du rivage dans chaque catégorie. Il Il ne s'agit pas d'une référence à 1 trajectoire extraite de la stochastique.

Explosion du puits

Cartes de la colonne d'eau

Concentrations dissoutes

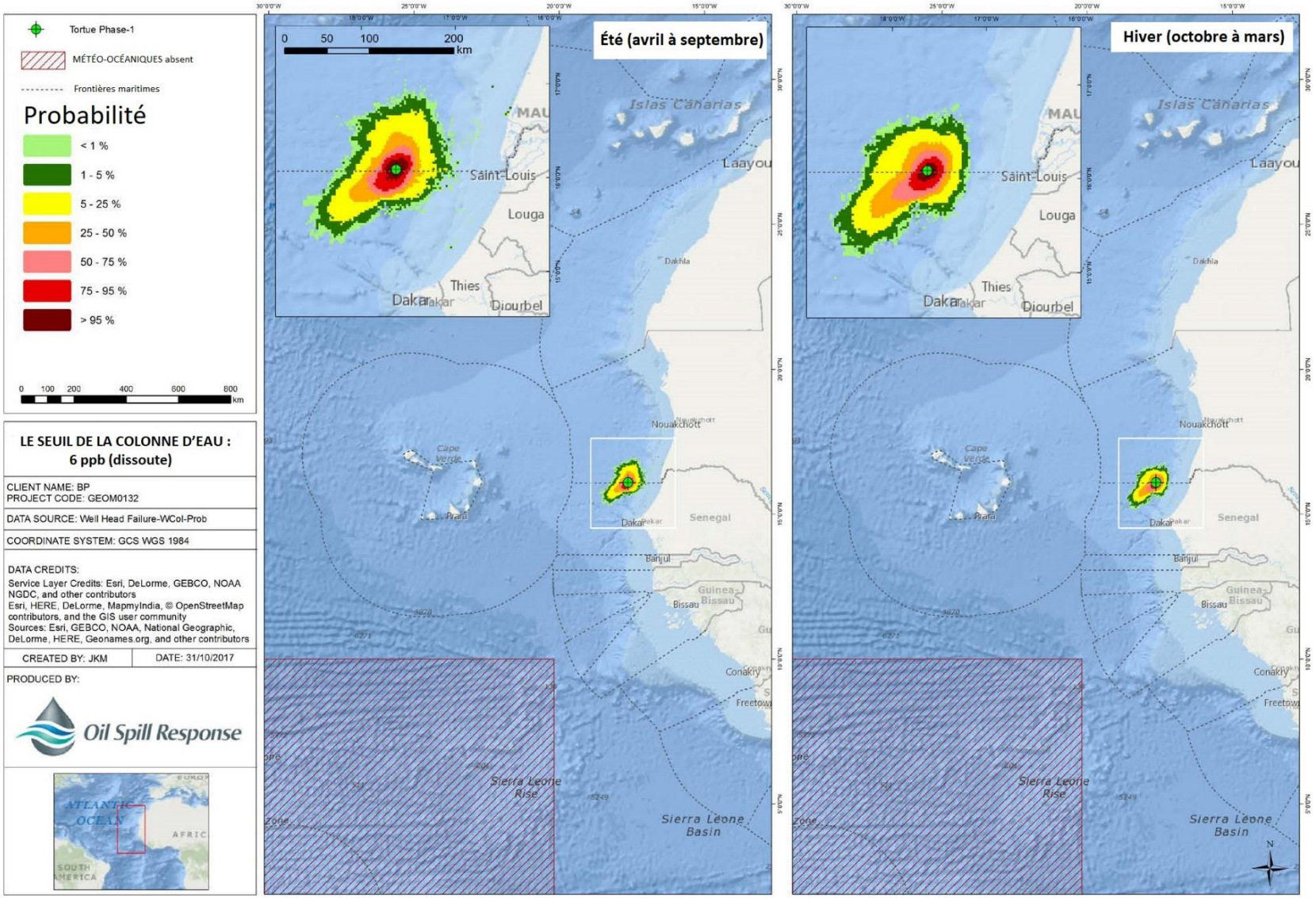


Figure 12 : Explosion de puits : colonne d'eau (dissoute), probabilité d'impact par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

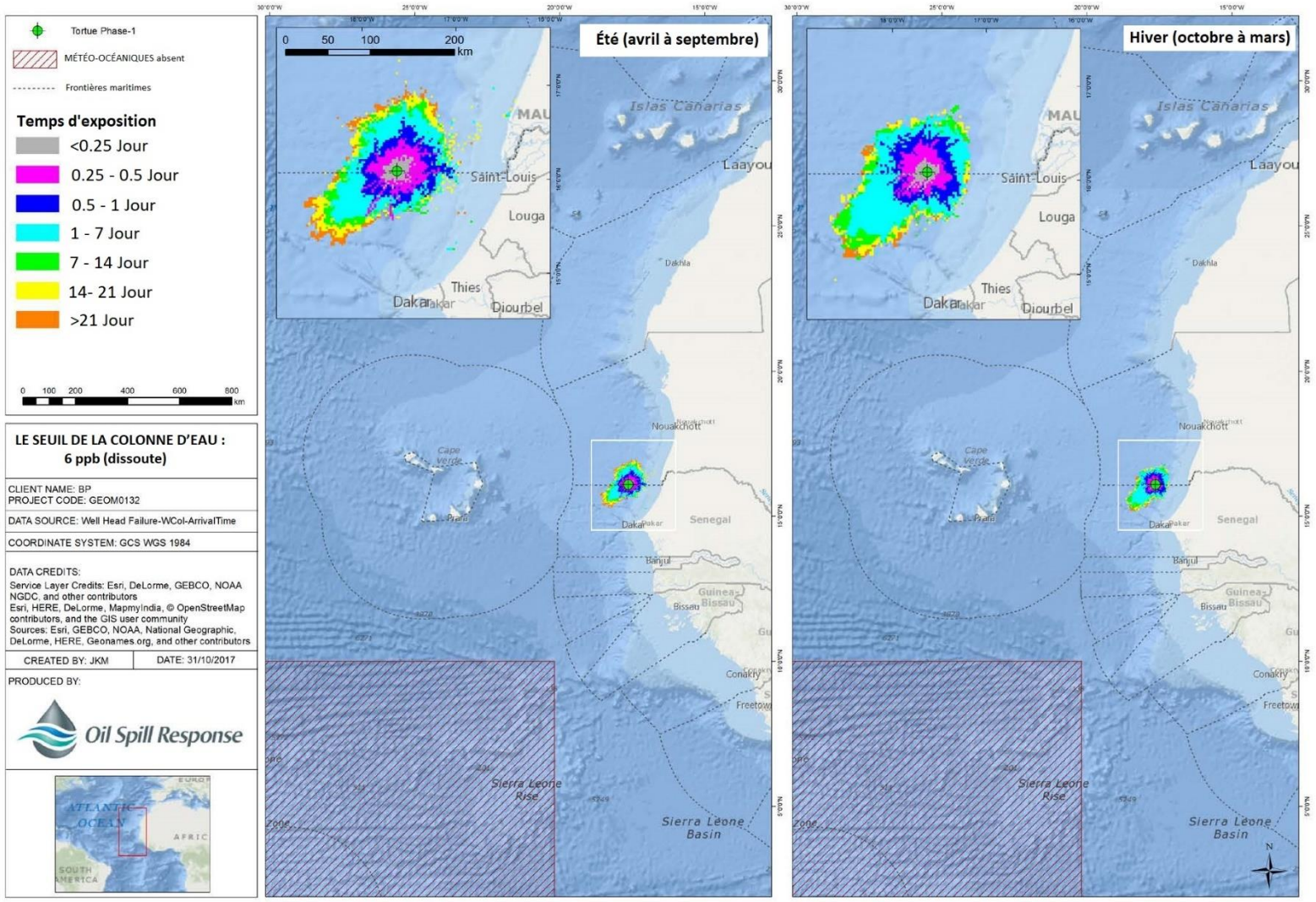


Figure 13 : Explosion du puits : colonne d'eau (dissoute), temps minimum d'arrivée, été (gauche) et hiver (droite)

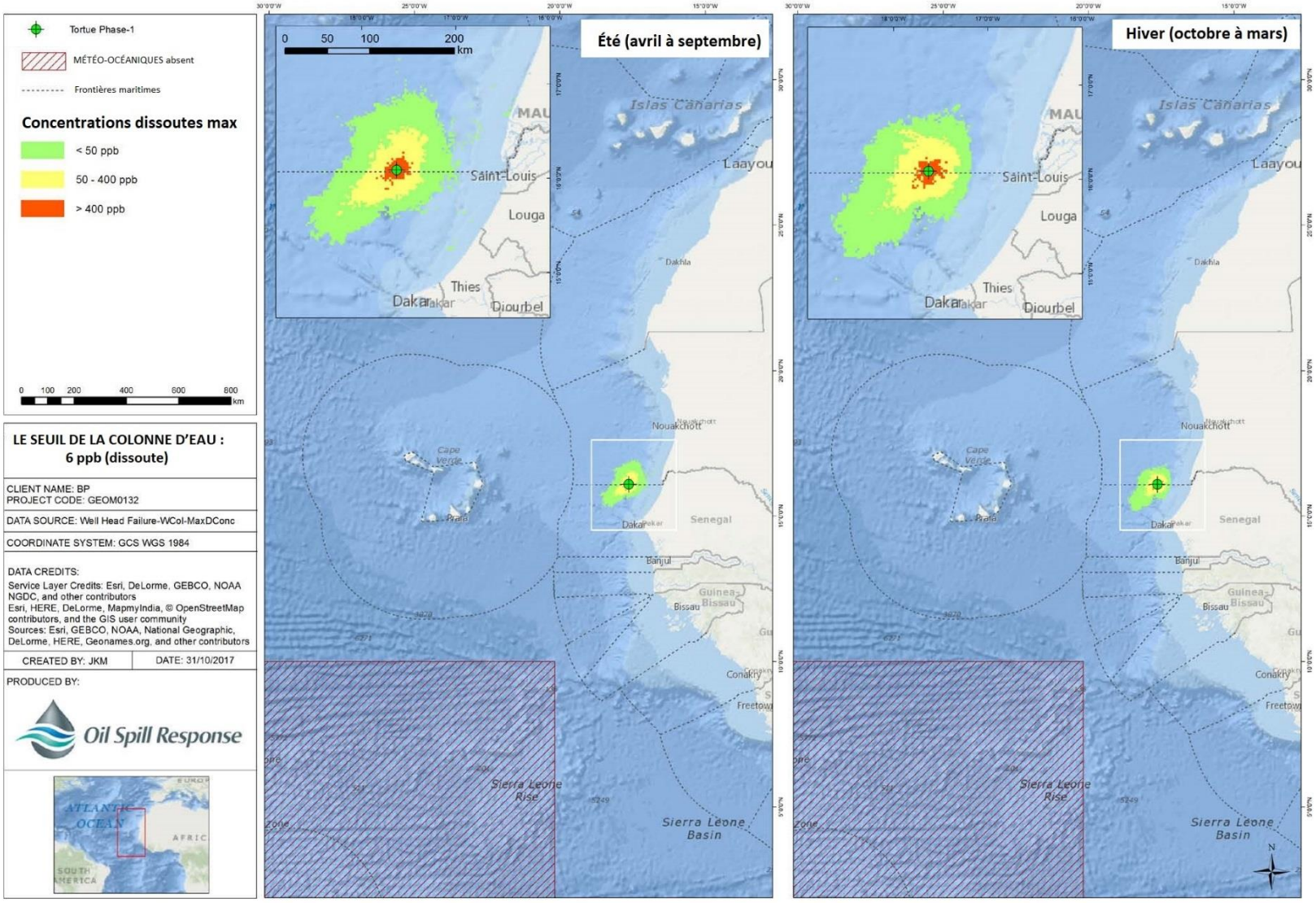


Figure 14 : Explosion du puits : colonne d'eau (dissoute), concentrations, été (gauche) et hiver (droite)

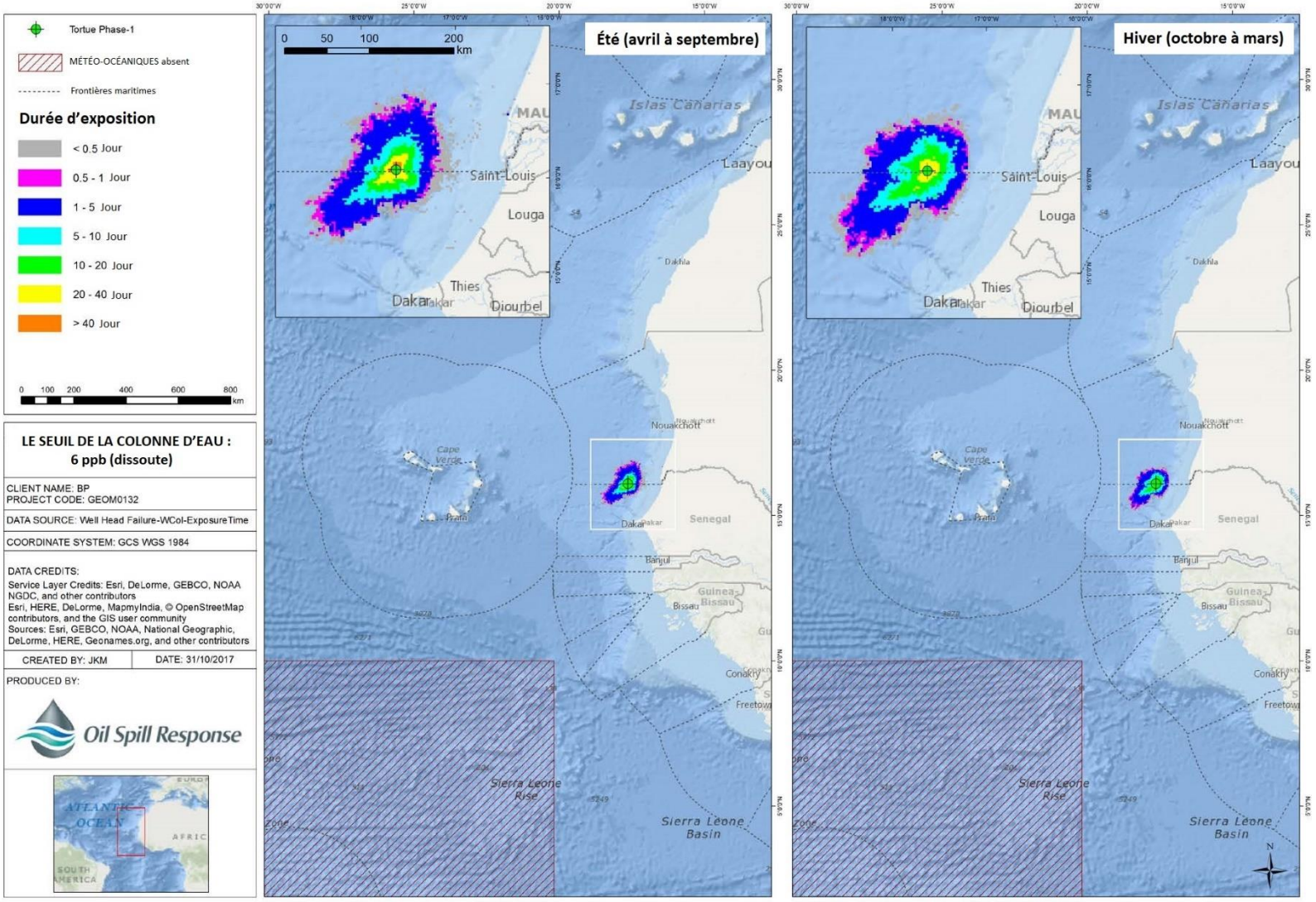


Figure 15 : Explosion du puits : colonne d'eau (dissoute), temps maximum d'exposition, été (gauche) et hiver (droite)

Explosion du puits

Cartes de la colonne d'eau

Concentrations totales

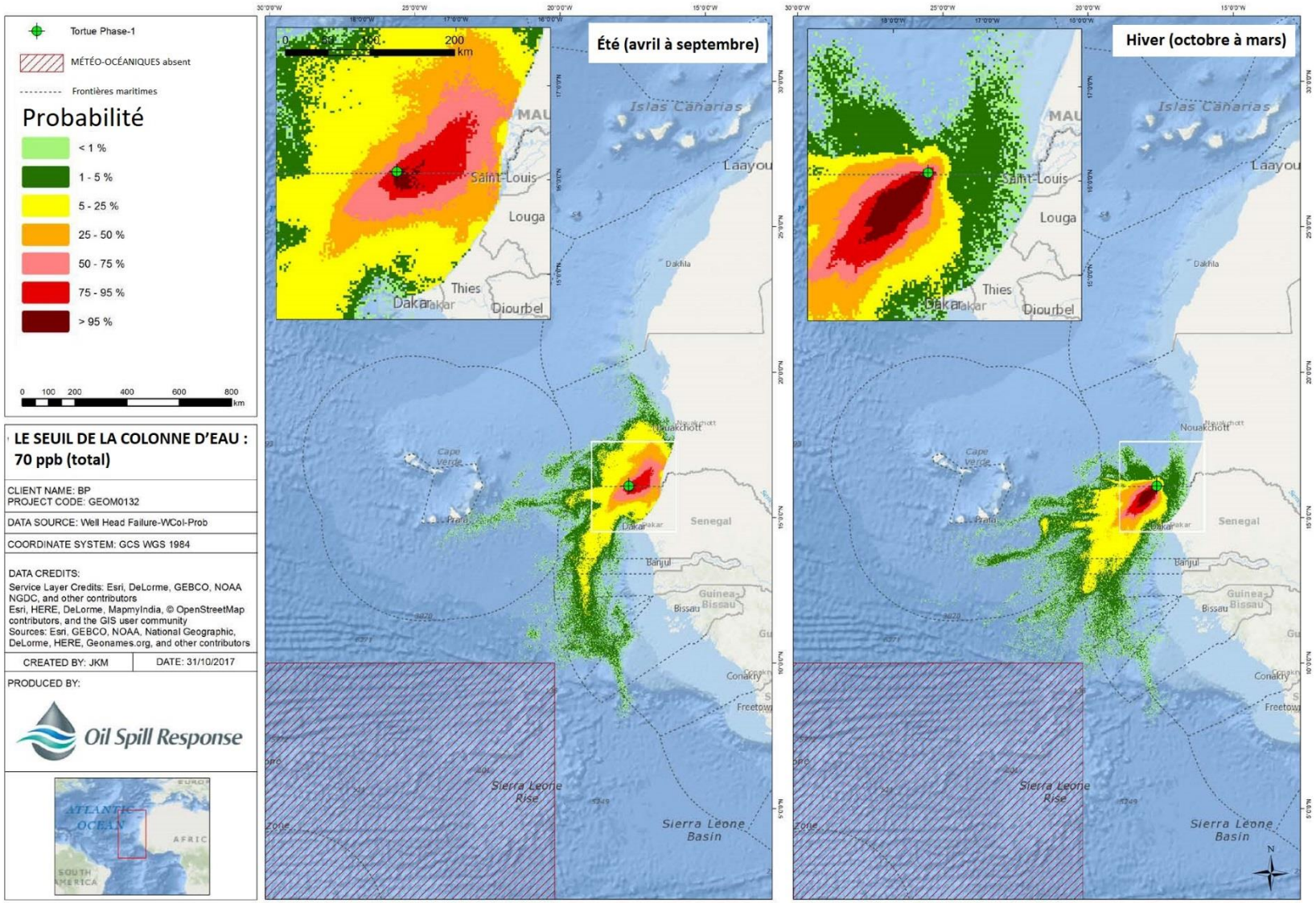


Figure 16 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), probabilité d'impact par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

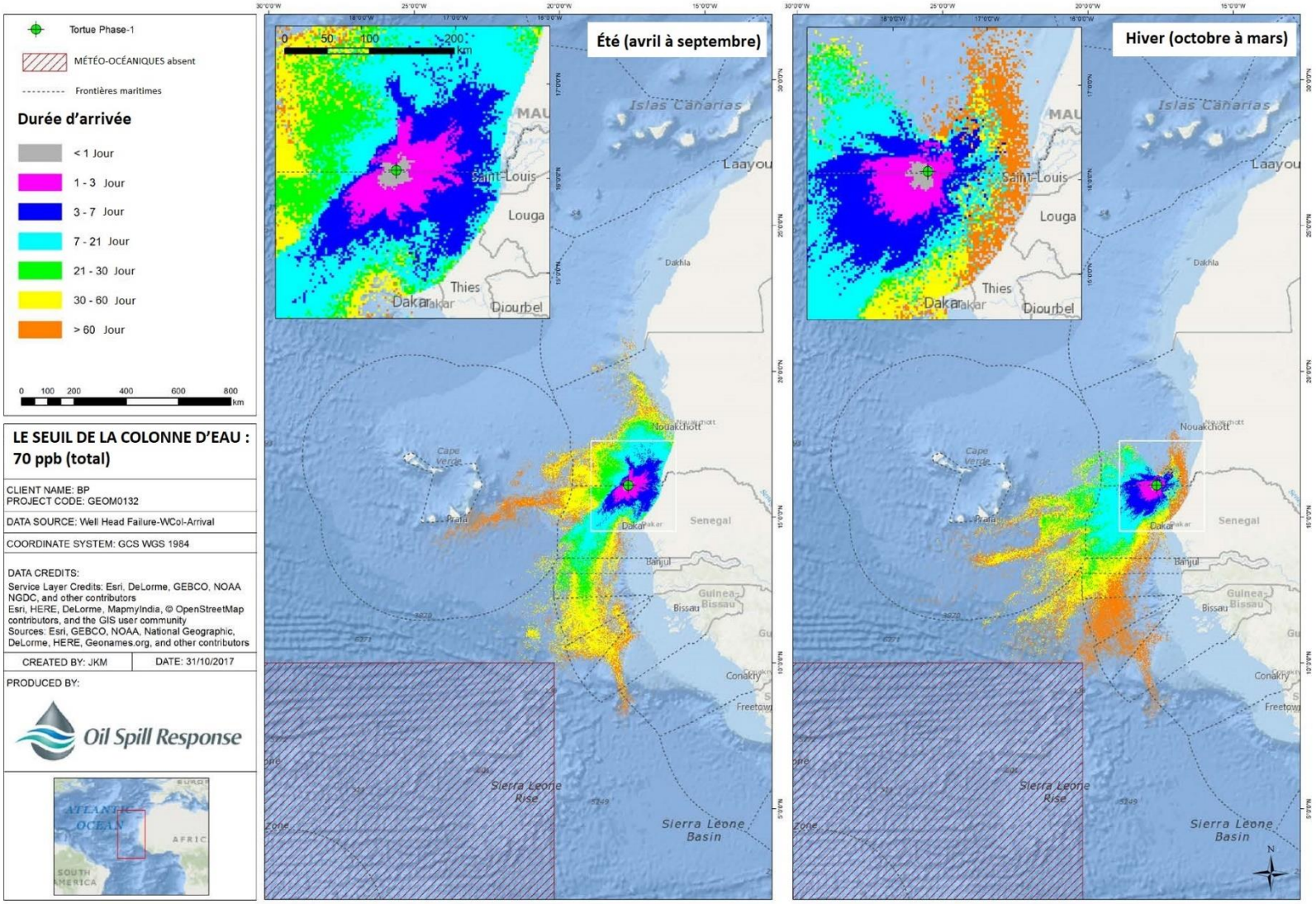


Figure 17 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), temps minimum d'arrivée, été (gauche) et hiver (droite)

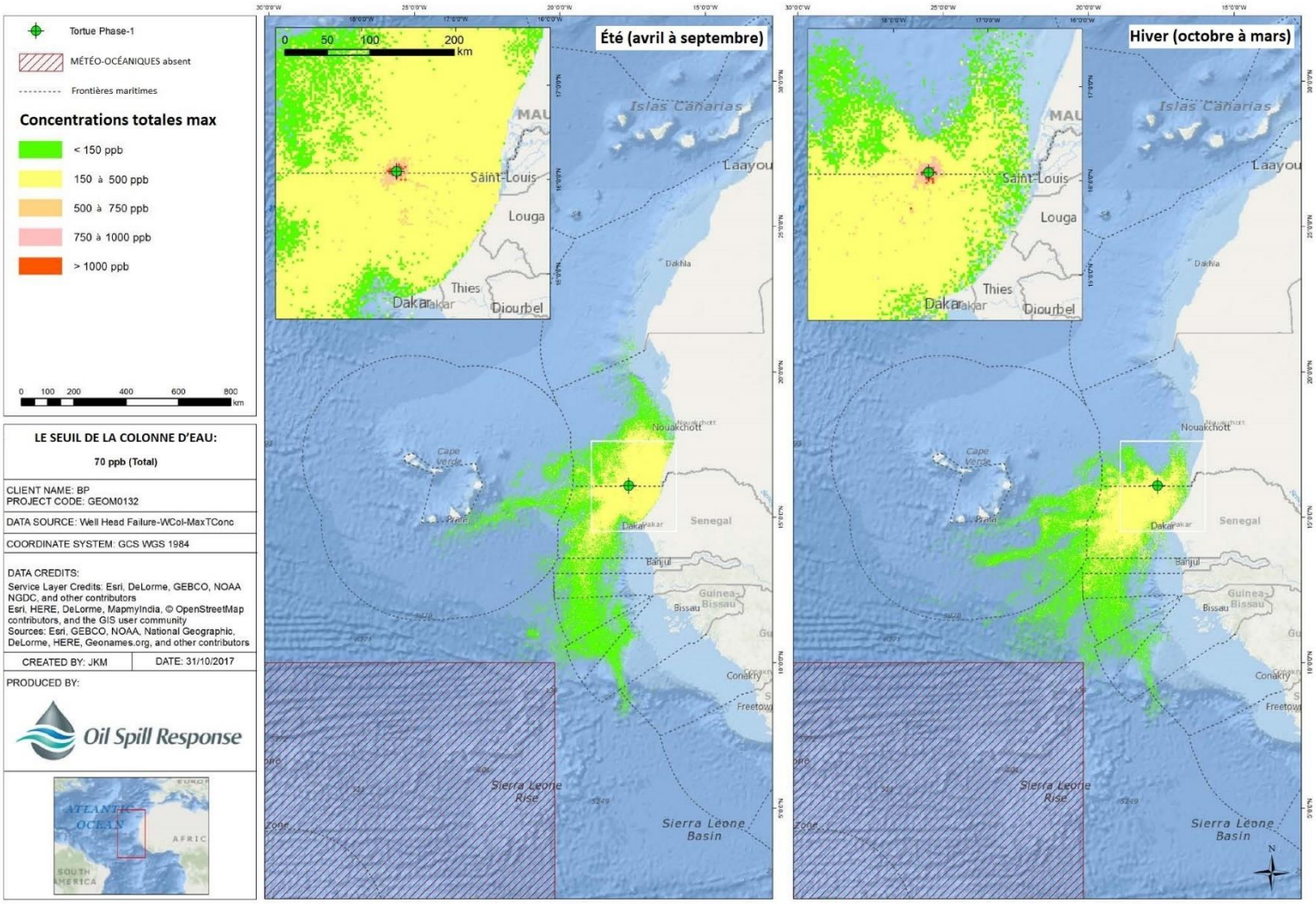


Figure 18 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), concentrations, été (gauche) et hiver (droite)

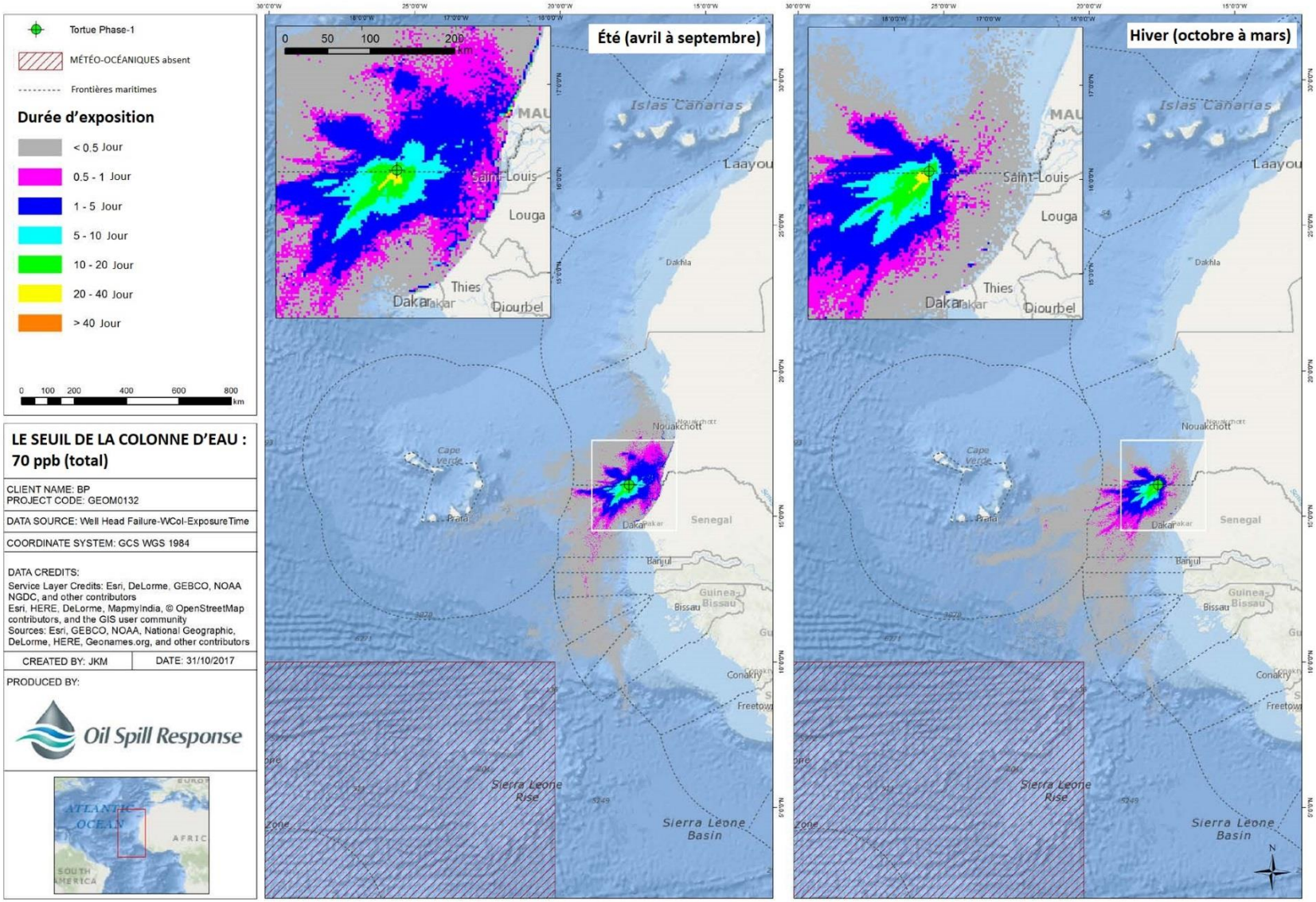


Figure 19 : Explosion du puits : colonne d'eau (total), temps maximum d'exposition, été (gauche) et hiver (droite)

2.2 Comparaison entre hiver et été

Le Tableau 9 résume les résultats des simulations stochastiques réalisées pour chaque scénario au large du Sénégal. Pour plus d'informations sur les seuils utilisés lors du post-traitement des données, voir la Section 0.

Tableau 10 : Résumé des résultats stochastiques

Résumé de la modélisation des déversements d'hydrocarbures		
Scénario/description du déversement	Explosion du puits : été	Explosion du puits : hiver
Traverse une frontière maritime		
Cap Vert	51 % 15 jours, 9 heures	100 % 9 jours
Sahara occidental contesté / Mauritanie	37 % 25 jours, 9 heures	- -
Guinée	19 % 44 jours	6 % 78 jours
Guinée-Bissau	25 % 28 jours, 9 heures	16 % 60 jours, 6 heures
Mauritanie	100 % < 1 heure	100 % < 1 heure
Sénégal	100 % < 1 heure	100 % 3 heures
Sierra Léone	6 % 68 jours, 12 heures	- -
Gambie	42 % 11 jours, 15 heures	92 % 10 jours, 18 heures
Sahara occidental	17 % 33 jours, 9 heures	- -
Impact les littoraux		
Mauritanie	86 % 4 jours, 1 heures	< 1 % 63 jours, 3 heures
Sénégal	94 % 5 jours, 5 heures	33 % 11 jours, 12 heures
Pire scenario d'impact sur les littoraux		
Masse d'hydrocarbures sur les côtes	11 091 t	2 341 t

Résumé de la modélisation des déversements d'hydrocarbures		
Scénario/description du déversement	Explosion du puits : été	Explosion du puits : hiver
Volume d'hydrocarbures sur les côtes **Teneur en eau** **Volume d'émulsion sur les côtes**	14 057 m^3 0 % 14 057 m^3	2 967 m^3 0 % 2 967 m^3
Zones d'intérêt pour la conservation		
Canyon du Cayar	77 % 3 jours	100 % 3 jours
MPA Cayar	34 % 7 jours	18 % 9 jours, 3 heures
Complexe du mont sous-marin de Cayar	98 % 1 jour	100 % 1 jour, 3 heures
Réserve Naturelle Chatt Tboul	76 % 6 jours, 3 heures	- -
Zone d'habitats côtiers et néritiques MRP extrême nord	95 % 3 jours, 12 heures	3 % 61 jours, 18 heures
Récifs d'eau froide	86 % 4 jours, 6 heures	3 % 62 jours, 18 heures
Zone Conv Canaries Guinée EBSA	44 % 11 jours, 21 heures	90 % 10 jours, 21 heures
Parc national du Diawling	69 % 5 jours, 1 heure	< 1 % 73 jours, 12 heures
N Sénégal Plateau continental IBA	99 % 2 jours	66 % 3 jours
Saint Louis AMP	98 % 3 jours, 9 heures	7 % 7 jours
Système Timris Canyon	31 % 21 jours, 3 heures	- -

2.3 Pire scénario de déversement d'hydrocarbures

Les résultats de trajectoire sont générés par la simulation d'un scénario de déversement unique dans des conditions particulières à une date donnée. La trajectoire « la plus défavorable » a été choisie à partir de chaque groupe de trajectoires composant la stochastique, pour étudier plus en détail le devenir et le comportement des hydrocarbures au cours de la simulation.

Dans le présent rapport, les trajectoires les plus défavorables sont définies comme suit :

- La trajectoire permettant à la **plus grande quantité d'hydrocarbures d'atteindre la côte**

Tableau 11 : Principaux résultats du scénario 1

		SimTrajectoire(114) Été	SimTrajectoire(29) Hiver
Mise en place du modèle	**Emplacement des déversements**	Tortue Phase 1	
	Masse totale déversée	189 747,3 t	
Premier impact sur le littoral		27 jours, 15 heures	41 jours, 21 heures
Masse maximale d'hydrocarbures à terre		11 091 t	2 341 t
Moment où la masse maximale d'hydrocarbures atteint la côte		68 jours, 12 heures	69 jours, 21 heures

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Trajectoire de la plupart des nappes d'hydrocarbures vers le rivage

Figure 20 : Graphe du bilan massique pour une rupture de la tête de puits en été

Figure 21 : Graphe du bilan massique pour une rupture de la tête de puits en hiver

Figure 22 : Superficie totale impactée par une défaillance de la tête d'un puits, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 23 : Concentration maximale globale dissoute, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 24 : Concentration maximale totale globale, été (gauche) et hiver (droite)

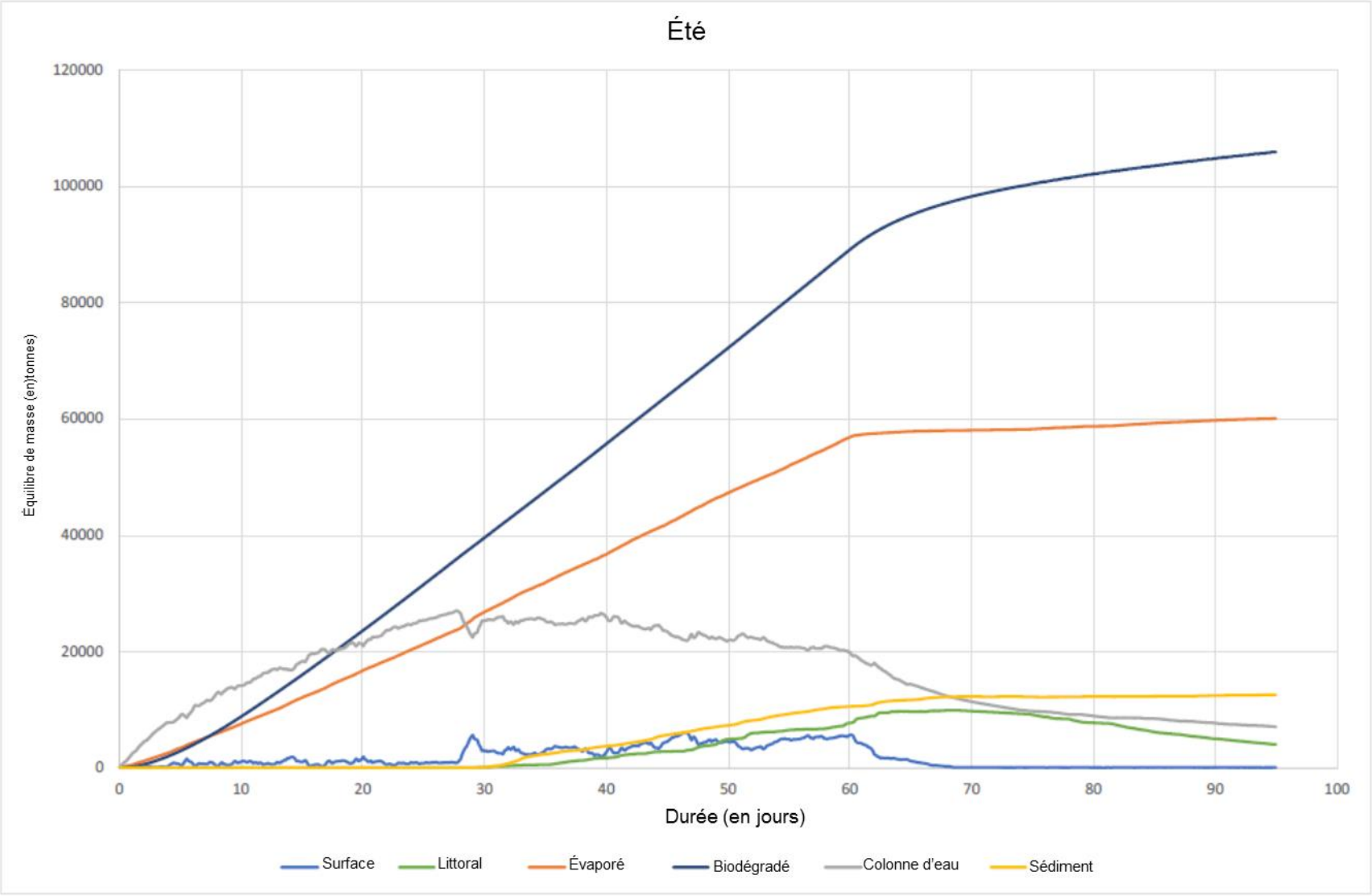


Figure 20 : Graphe du bilan massique pour une rupture de la tête de puits en été

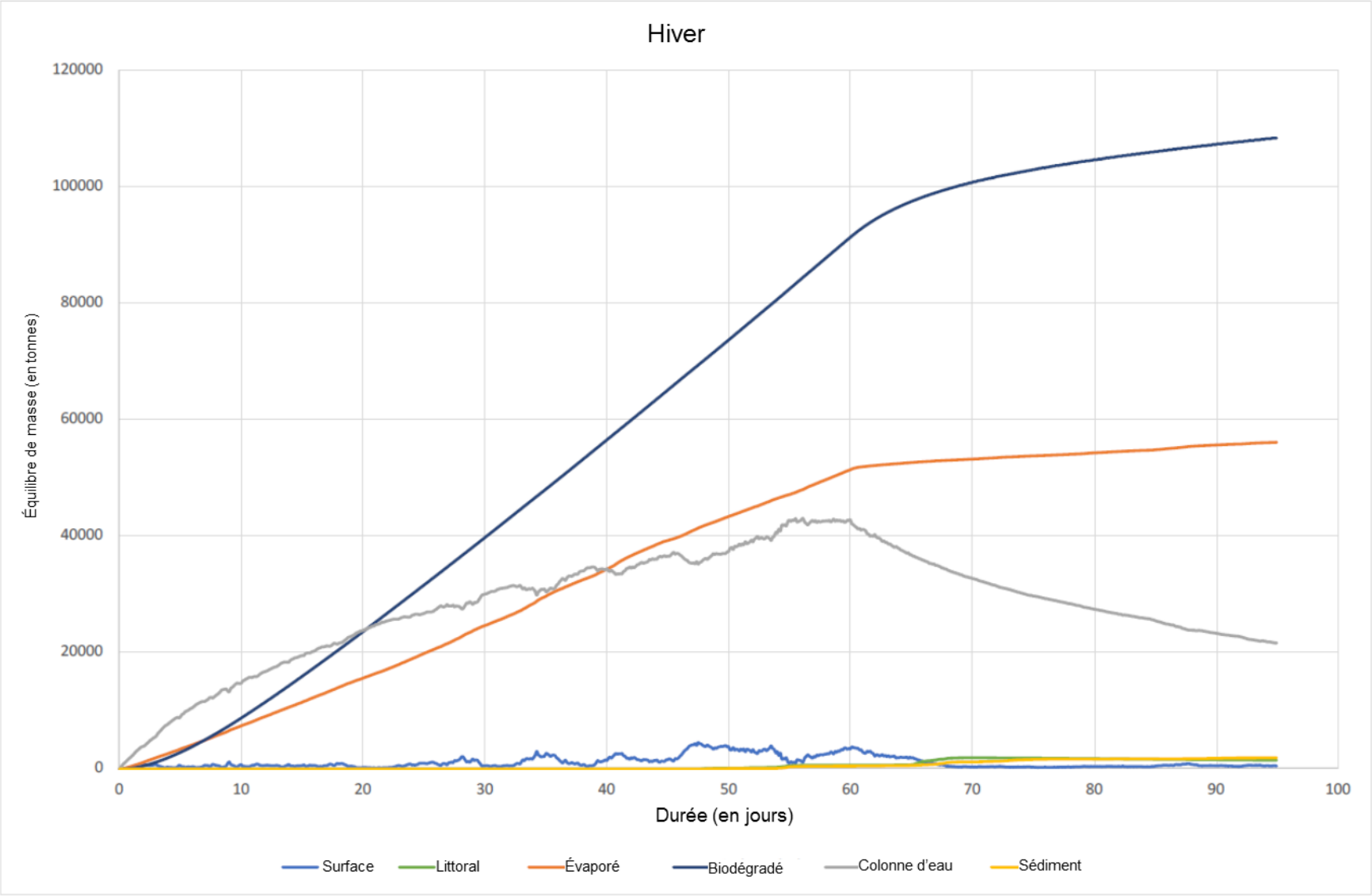


Figure 21 : Graphe du bilan massique pour une rupture de la tête de puits en hiver

Tableau 12 : Tableau comparatif du bilan massique pour une rupture de la tête de puits en été et en hiver

	DEVENIR DES HYDROCARBURES (tonnes)											
	Surface		Littoral		Évaporé		Biodégradé		Colonne d'eau		Sédiment	
Horodatage	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver
0,5 jour	226,8	152,3	0	0	166,6	152,5	42,45	42,41	1 145	1 234	0	0
1 jour	116,7	318,7	0	0	487,5	477,4	158,2	156,1	2 400	2 210	0	0
5 jours	390,8	541,4	0	0	3 413	3 422	2 892	2 859	9 117	8 990	0	0
10 jours	1 041	687,8	0	0	7 558	7 412	8 833	8 766	14 190	14 760	0	0
20 jours	1 864	257,3	0	0	16 740	15 570	23 630	23 600	21 020	23 830	0	0
30 jours	2 813	505,3	40,97	0	26 810	24 570	39 620	39 740	25 490	30 060	97,53	0
40 jours	2 692	1 413	1 682	0	36 690	34 210	55 750	56 490	25 980	34 390	3 704	0,8714
50 jours	4 450	3 744	4 937	111	47 240	43 240	72 240	73 640	21 990	37 330	7 268	61,31
60 jours	5 591	3 353	7 733	570,3	56 790	51 260	89 140	91 280	19 950	42 810	10 540	466,5
70 jours	31,05	360,1	9 802	1 720	58 000	53 080	98 270	100 700	11 410	32 740	12 240	1 149
80 jours	6,213	424,7	7 770	1 582	58 690	54 140	102 100	104 600	8 935	27 450	12 230	1 580
90 jours	25,22	524,5	4 996	1 420	59 690	55 490	104 800	107 200	7 701	23 340	12 420	1 721
95 jours	16,12	497,5	4 019	1 343	60 020	55 960	105 900	108 300	7 049	21 660	12 550	1 801

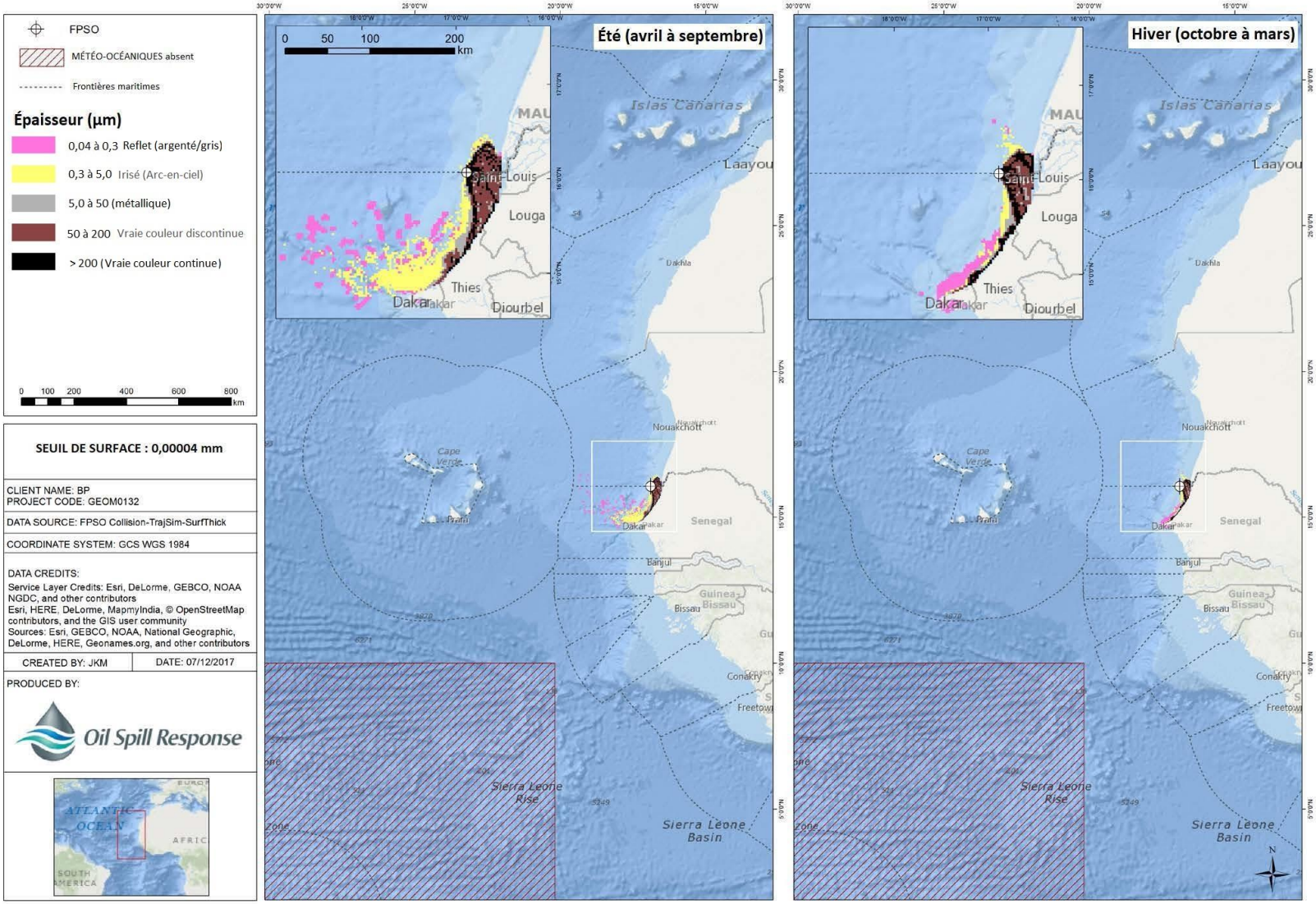


Figure 22 : Superficie totale impactée par une défaillance de la tête d'un puits, été (gauche) et hiver (droite)

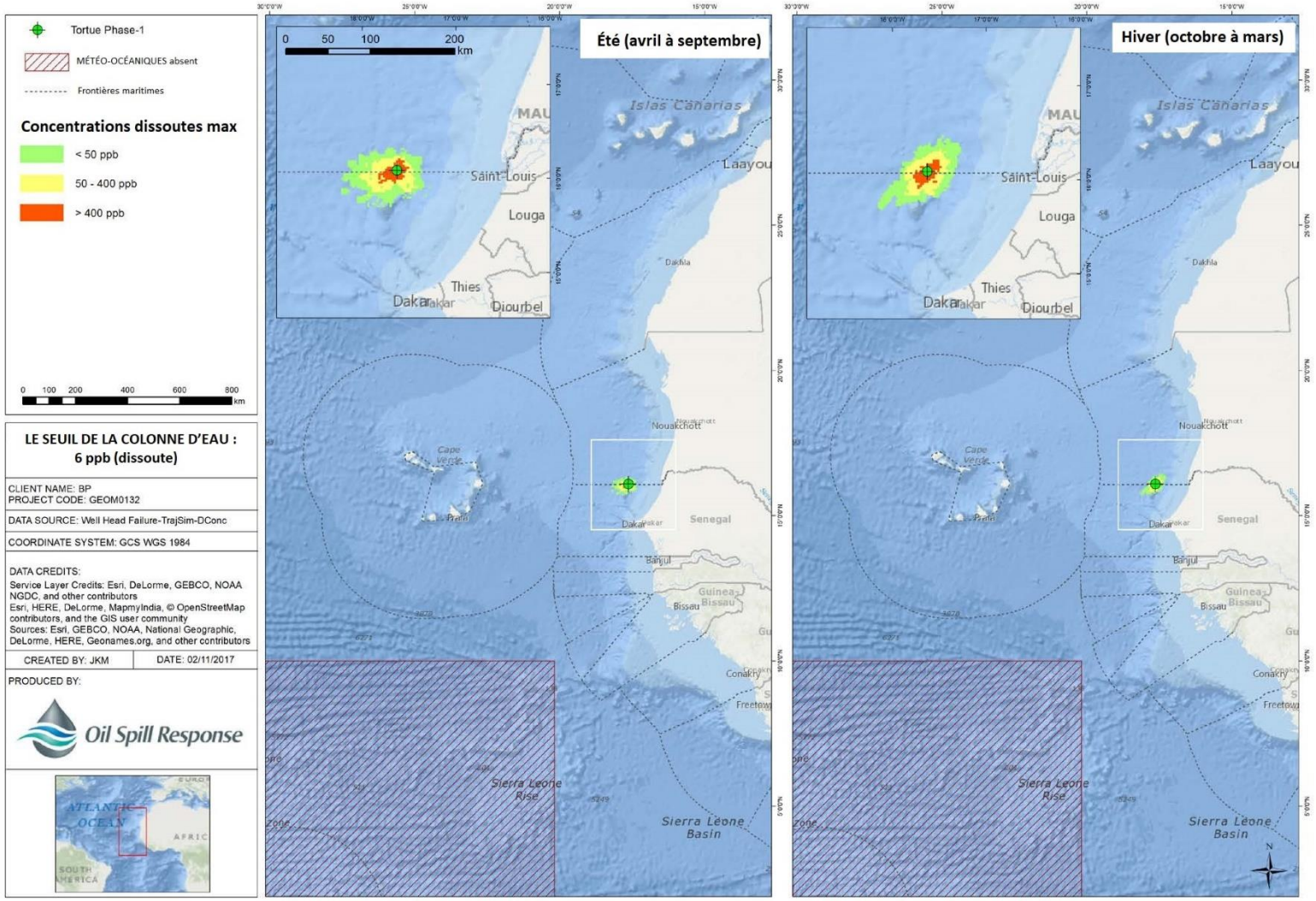


Figure 23 : Concentration maximale globale dissoute, été (gauche) et hiver (droite)

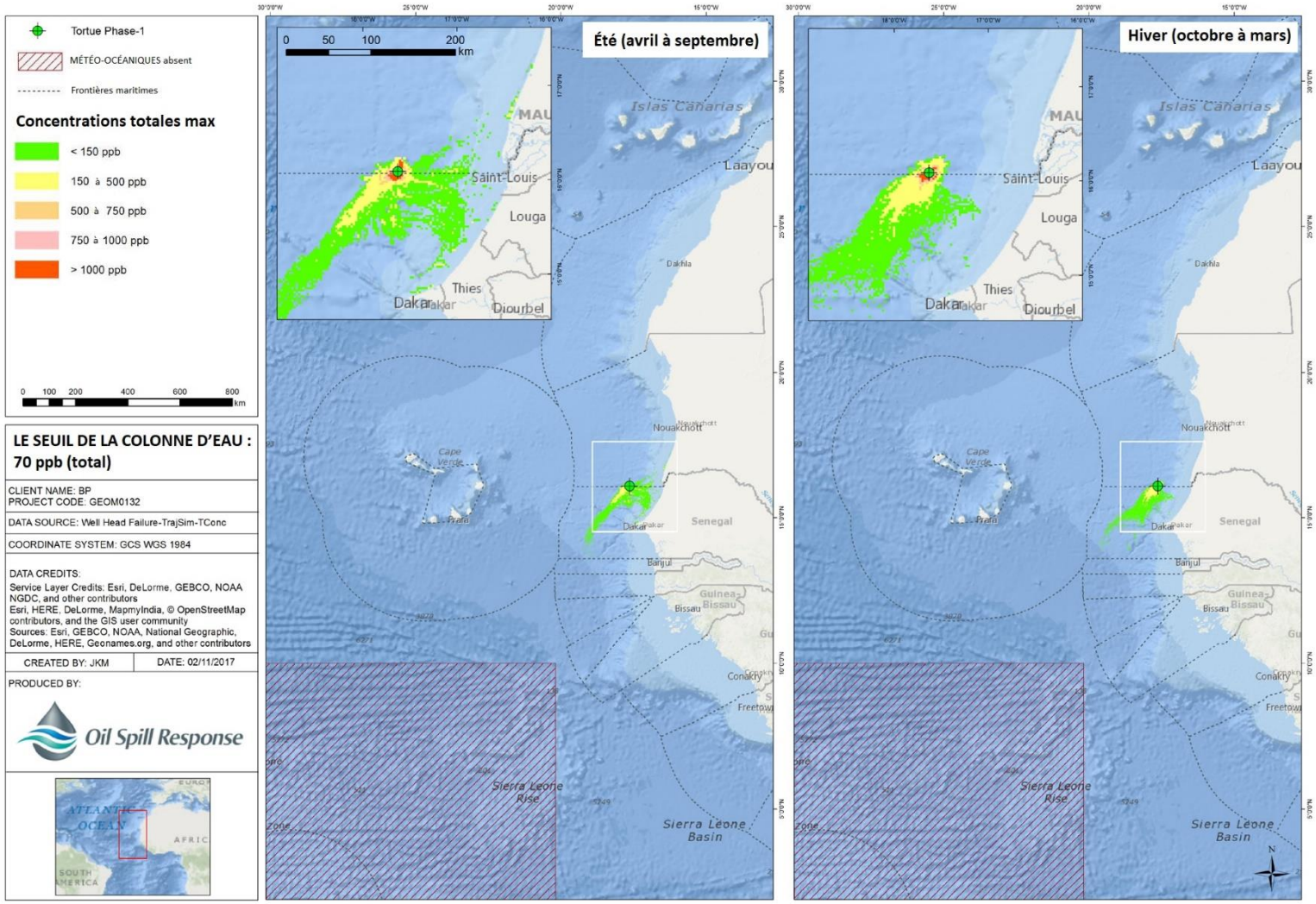


Figure 24 : Concentration maximale totale globale, été (gauche) et hiver (droite)

3 CONCLUSION

Un scénario a été modélisé pour le projet Tortue Phase 1a au large du Sénégal et de la Mauritanie. Il impliquait le rejet de 227 000 m^3 de condensat en 60 jours suite à une rupture de la tête du puits.

3.1 Impact sur le littoral

Un déversement à cet emplacement, à environ 120 km de la côte, a une probabilité de 96 % d'impact sur le rivage (impact léger ou plus important) si le déversement se produit en été et une probabilité de 33 % d'impact sur le rivage s'il se produit en hiver. La Mauritanie et le Sénégal sont les deux seuls pays à risquer un impact sur le littoral, mais le Sénégal risque d'être plus sévèrement impacté.

Été

L'été est la saison qui présente un risque plus élevé pour le littoral.

Dans le pire des cas, un déversement en été peut avoir un impact sur le rivage environ quatre jours après le rejet. Cependant, il y a 50 % de chances que le condensat n'atteigne pas le rivage dans les deux semaines environ et, dans le meilleur scénario, il n'atteindra pas le rivage avant huit semaines et demie.

De même, la sévérité de l'impact sur le littoral en été varié de négligeable (4 % de probabilité) dans le meilleur des cas, à plus de 11 000 tonnes dans le pire des cas. Il y a 50 % de chances que plus de 3 000 tonnes puissent s'échouer sur le rivage.

Bien qu'un impact fort sur les côtes soit peu probable en été, il y a 84 % de chances qu'un impact modéré se produise et s'étende sur près de 300 km. De plus, 185 km de côtes pourraient être atteintes par un impact léger.

Hiver

L'hiver présente moins de risques pour le littoral.

Dans le pire des cas, un déversement en hiver peut avoir un impact sur le rivage environ cinq jours après le rejet. Cependant, la similitude entre l'été et l'hiver s'arrête là puisqu'il y a 50 % de chances que le condensat n'atteigne pas le rivage avant environ 7 semaines et que, dans le meilleur scénario, il n'atteigne pas le rivage du tout.

De même, la sévérité de l'impact sur le rivage en hiver varie de l'absence d'impact significatif (probabilité de 67 %) dans le meilleur des cas, à plus de 2 200 tonnes dans le pire des cas.

Bien qu'un impact fort sur les côtes soit peu probable en hiver, il y a 19 % de chances qu'un impact modéré se produise et s'étende sur près de 54 km.

3.2 Impact sur la surface

Les eaux de la Mauritanie et le Sénégal seront impactés par ce scénario de déversement. Alors qu'un plus grand nombre de pays seront impactés dans le scénario été (9 pays en été contre 6 pays en hiver), un déversement hivernal est beaucoup plus susceptible d'avoir un impact sur les eaux du Cap-Vert (51 % en été contre 100 % en hiver) et de la Gambie (42 % en

été contre 92 % en hiver).

Cependant, l'épaisseur du déversement de condensat se limite surtout á des films très minces aux apparences reflet argenté et irisées qui se disperseront plus facilement. Une faible surface du déversement d'hydrocarbure pourrait avoir une apparence métallique (> 5 µm) dans la zone proche du puits (env. 25 km). En raison de la forte turbidité créée par le gaz au niveau du puits, les gouttelettes de condensat sont très petites. Par conséquent, elles montent plus lentement et ne se concentrent pas de la même façon que s'il y avait absence de gaz.

ANNEXE A. DONNÉES D'ENTRÉE FOURNIES AU MODÈLE

	Scénario 1	Scénario 2
Description	Explosion du puits : été	Explosion du puits : hiver
Latitude	16° 05' 14.7516" N	16° 05' 14.7516" N
Longitude	017° 37' 32.718" W	017° 37' 32.718" W
Période de l'année	avril à sept.	oct. à mars
Profondeur des déversements	2 725 m	
Taux de déversement	3 783,3 m^3/jour	
Durée du rejet	60 jours	
Durée après l'arrêt	35 jours	
Durée totale du modèle	95 jours	
Densité API	47,8	
Densité relative	0,789	
Viscosité (cP)	2,0	
Point d'écoulement (°C)	-6,0	
Cire (%)	6,00	
Asphaltènes (%)	-	
Diamètre du trou de déversement (m)	0,314	
Rapport gaz/pétrole (RGP, Sm^3/m^3)	127 220	
Densité du gaz (kg/Sm^3)	0,6	

ANNEXE B. DONNÉES MÉTÉO-OCÉANIQUES

Tableau 13 : Données relatives au courant marin, description générale

Nom	G0132-Curr01		
Description	Source : BMT ARGOSS. L'ensemble de données consiste en un amalgame de l'ensemble de données globales HYCOM avec le modèle de marée BMT ARGOSS superposé.		
Date de commencement	janvier 2009	**Résolution spatiale**	env. 9 km
Date de fin	décembre 2011	**Résolution temporelle**	1 heure
Niveaux de profondeur [m]	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500		

La base de données hydrodynamique est construite à partir des champs de vitesse de courant 3D, convenant à l'utilisation dans les simulations de modèles pétroliers. Il s'agit des courants océaniques (résiduels non liés à la marée) issus d'un modèle global de circulation océanique, combinés à la vitesse des courants de marée.

L'information sur les courants de marée est obtenue de BMT ARGOSS grâce à l'intégration d'environ 5 000 stations marémotrices et de 15 ans d'altimètre radar satellite dans des modèles de marées mondiales et régionales (modèle 2DH). Le modèle de marée fournit les courants de marée (composants u, v) ainsi que l'élévation de la surface. La résolution spatiale du modèle de marée varie de 1/60 à 1/12 de degré à l'échelle mondiale.

La structure verticale de la composante du courant de marée est établie à l'aide d'un profil logarithmique qui fournit une représentation fiable des courants de marée à différentes profondeurs dans les mers du plateau continental. Le modèle de marée fournit des données à une résolution spatiale de 4 minutes dans la zone d'intérêt et peut être fourni en pas de temps selon les besoins du client.

Les courants océaniques sont obtenus à partir d'un modèle mondial des courants océaniques (HYCOM), qui présente les caractéristiques suivantes :

Résolution spatiale : 1/12 de degré (ne peut pas être affinée davantage)

Résolution temporelle : quotidien (ne peut pas être affinée davantage, sauf par interpolation)

Types de données : vitesse et direction du courant 3D

Profondeur : les ensembles de données 3D comprennent jusqu'à 33 couches de profondeur allant de la surface au fond marin et réparties sur la colonne d'eau. Les couches individuelles et leur répartition sur la colonne d'eau varient et dépendent de la profondeur locale.

Disponibilité : 2009 à 2012

Les données résultantes, représentatives de la vitesse totale du courant, sont fournies sous forme de vecteurs de courant horaire, à des niveaux de profondeur choisis, à une résolution spatiale de 1/12 de degré dans la zone d'intérêt. Il est à noter que dans les eaux profondes, au-delà du talus

continental, la vitesse du courant de marée serait négligeable.

Des résolutions temporelles d'une heure sont considérées comme étant optimales car des résolutions temporelles plus grossières ne permettraient pas de saisir correctement la variabilité des données dans les régions où les courants de marée constituent une composante clé du courant.

Tableau 14 : Données relatives au vent, description générale

Nom	G0132-Wind01		
Description	Source : BMT ARGOSS. L'ensemble de données est constitué de l'ensemble de données globales du NCEP CFRS, étalonné par BMT ARGOSS en fonction des mesures de l'altimètre satellite et du diffusiomètre.		
Date de commencement	janvier 2009	**Résolution spatiale**	env. 35 km
Date de fin	décembre 2011	**Résolution temporelle**	3 heures
Niveau d'altitude	L'ensemble de données comprend des valeurs horaires moyennes de la vitesse du vent à 10 m au-dessus du niveau de la mer.		

Les vents sont fournis sous forme de valeurs moyennes horaires des composantes de vitesse nord et est à 10 m au-dessus du niveau de la mer. Les données proviennent de l'ensemble de données globales du NCEP, calibrées par BMT ARGOSS en fonction des mesures de l'altimètre satellite et du diffusiomètre. Les données sources sont disponibles à une résolution spatiale de 0,5° x 0,5° et à 3 pas de temps horaires.

ANNEXE C. JUSTIFICATION DE LA DURÉE DES DÉVERSEMENTS

Chaque simulation a pu être exécutée pendant 35 jours après la dernière libération de condensat. Pour déterminer la durée après le rejet final, nous avons suivi une trajectoire avec une date de début aléatoire et surveillé le devenir du déversement de condensat.

Notre simulation initiale a établi les faits suivants :

- Aucun condensat n'est resté à la surface de l'océan après 82 jours.
- 25 500 t (13 % du total des déversements) de condensats ont été submergées dans la colonne d'eau.
- La concentration dissoute de condensat submergé est tombée sous le seuil de 6 ppb après environ 11 jours.
- La concentration totale de condensat submergé est tombée sous le seuil de 70 ppb après environ 15 jours.

Sur la base de ces résultats, nous avons décidé d'une durée raisonnable de 35 jours (5 semaines) après que le rejet final de condensat soit implémenté. Cela signifie que les résultats présentés dans ce rapport représentent un déversement de condensat suivi jusqu'à ce qu'il ne constitue plus un risque pour l'environnement.

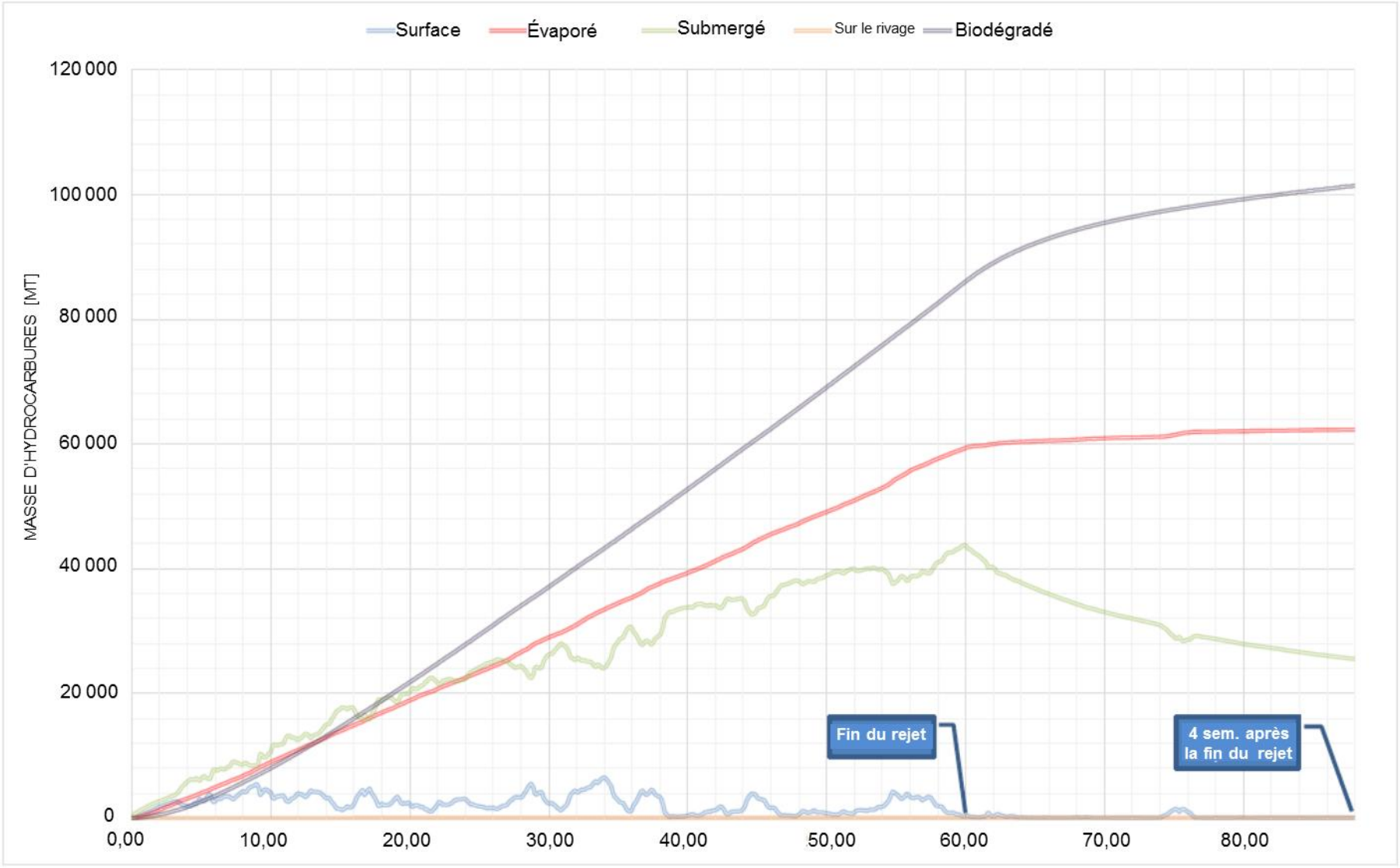


Figure 25 : Bilan massique de la trajectoire utilisée pour déterminer la durée après déversement

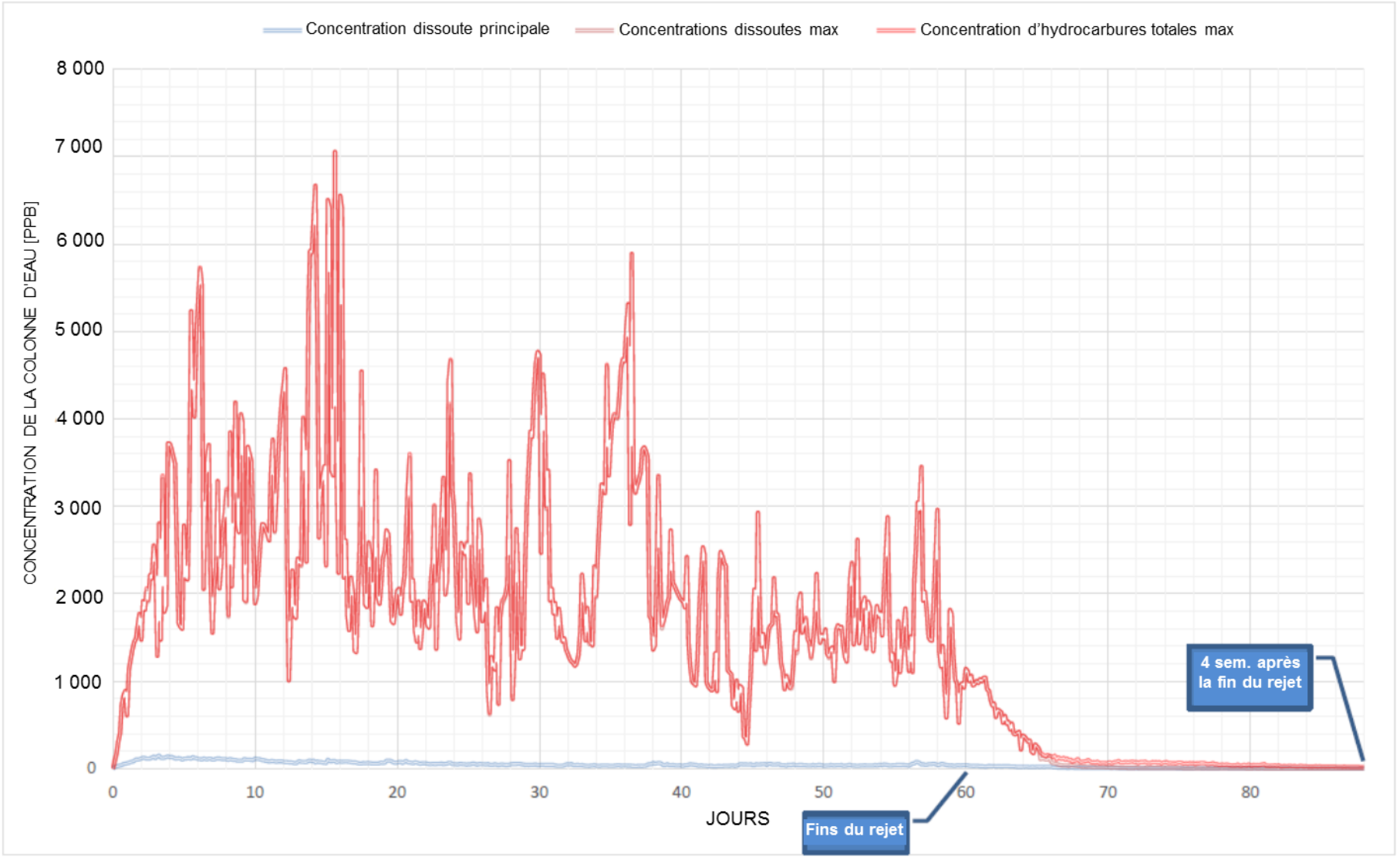


Figure 26 : Concentrations de la colonne d'eau pour la trajectoire utilisée pour déterminer la durée après le déversement

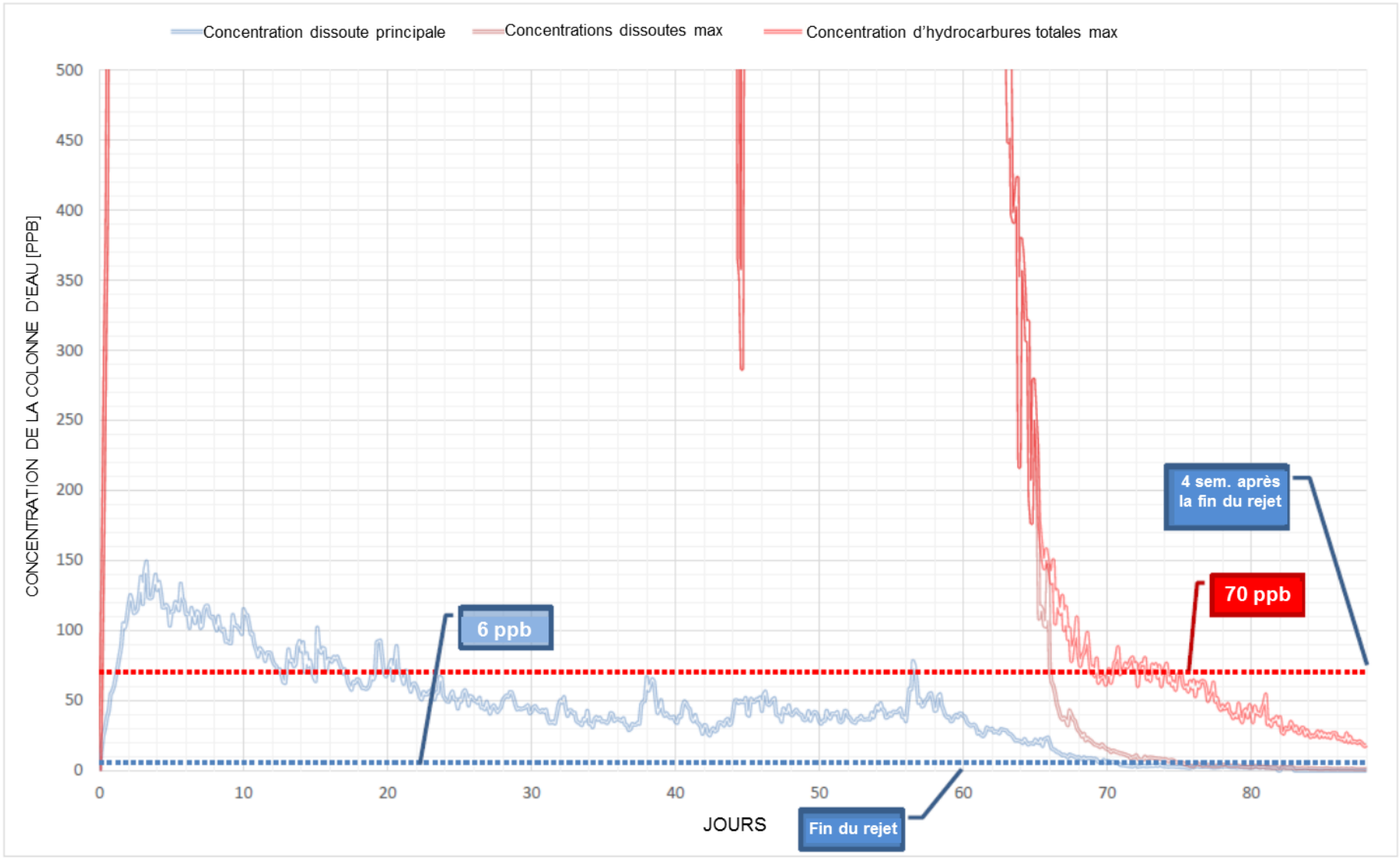


Figure 27 : Concentrations de la colonne d'eau pour la trajectoire utilisée pour déterminer la durée après le déversement

ANNEXE D. MAILLAGE DE L'HABITAT

Tableau 15 : Détails du domaine de l'habitat

Nom	Étendue du domaine			
G0132-Hab02	En bas	En haut	À gauche	À droite
	05° 00' 00'' N	25° 00' 00'' N	030° 00' 00'' W	010° 00' 00'' W
	Nombre de cellules		Résolution de cellule	
	Est à Ouest	Nord à Sud	Est à Ouest	Nord à Sud
	858	888	2 500 km	2 500 km
	Taille du domaine			
	Est à Ouest		Nord à Sud	
	2 145 km		2 220 km	

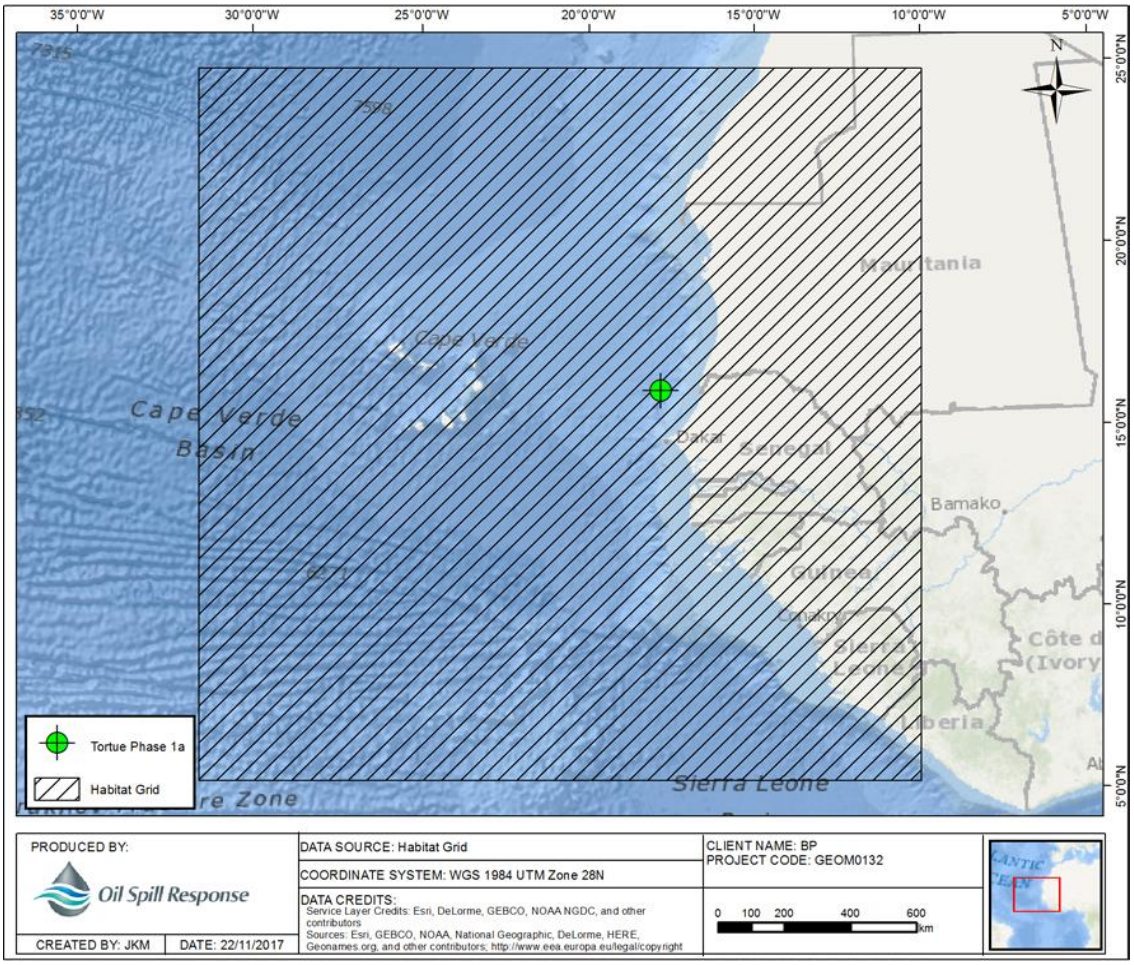


Figure 28 : étendue du maillage de l'habitat utilisé dans cette étude

ANNEXE E. CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES

Les composants présents dans le pétrole sont classés en deux groupes principaux : les hydrocarbures et les non-hydrocarbures (voir Figure 30). Si le pétrole est riche en alcanes C1-12, il est particulièrement léger car il contient des composants plus légers que les alcanes C25+. Inversement, le pétrole est dit « lourd » lorsqu'il contient de grandes quantités d'alcanes C25+, de résines et d'asphaltènes.

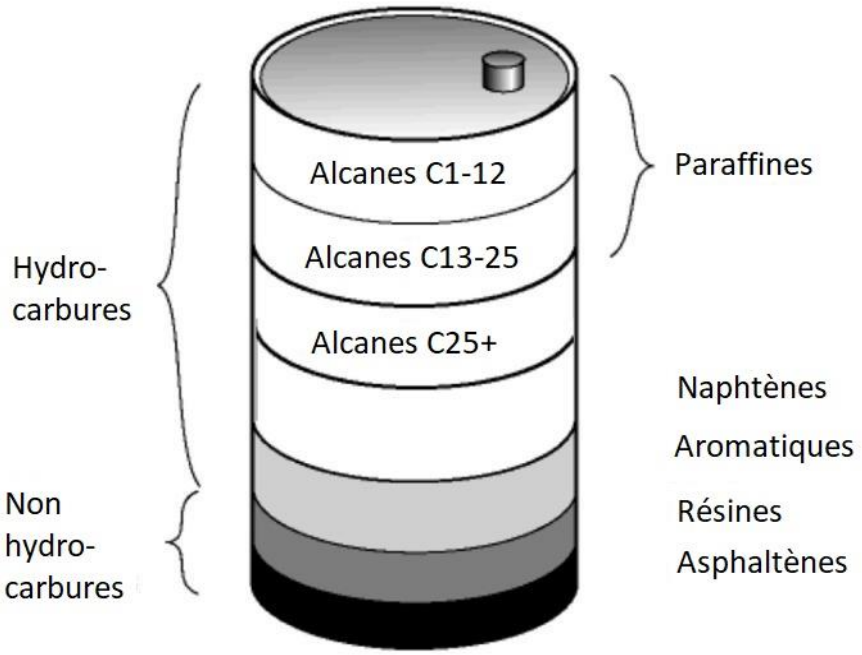


Figure 29 : la composition chimique du pétrole brut

La composition chimique du pétrole est importante lorsqu'il s'agit de prédire sa décomposition ou sa résilience. Par exemple, le pétrole contenant des composants essentiellement légers risque de perdre un volume plus important à cause de l'évaporation que le pétrole lourd. Les pétroles dont la chaîne carbonée est supérieure à 15 (C15+) ne peuvent pas s'évaporer, même pendant les grandes tempêtes. Les longues chaînes (par exemple, alcanes C25+) mettent beaucoup de temps à se dégrader dans la colonne d'eau. Les asphaltènes peuvent augmenter la stabilité du pétrole, lui permettant d'absorber l'eau mais empêchant l'émulsion pétrole-eau de se décomposer.

Le pétrole étant un mélange complexe de composés organiques, ses composants doivent être analysés pour le caractériser avec succès (LECO Corporation, 2012). Les composants du pétrole peuvent être « identifiés » et représentés à l'aide d'instruments de chromatographie en phase gazeuse couplés à des spectromètres de masse (voir Bacher, 2014, pour plus d'informations). Les résultats de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse sont convertis en une liste de 25 sous-composants, répartis dans la base de données pétrolières OSCAR. Chacun des 25 sous-composants est caractérisé par le poids moléculaire, la densité, la viscosité, le point d'ébullition, la solubilité dans l'eau, la pression de vapeur et le coefficient de partage entre pétrole et eau.

La base de données des types d'hydrocarbures OSCAR

La force du modèle OSCAR réside dans sa base de données d'observation des propriétés d'altération des hydrocarbures (teneur maximale en eau, viscosité, distribution granulométrique des gouttelettes, évaporation, émulsification et dispersion, données mesurées dans un large éventail de conditions). La base de données pétrolière contient des renseignements complets sur l'altération de 340 pétroles bruts et produits pétroliers. Il contient également des données d'analyse du brut pour environ 170 autres pétroles bruts (dérivées de la base de données HPI : HPI, 1987). Mais ces pétroles n'ayant pas été testés en laboratoire, on utilise des estimations modélisées du processus d'altération plutôt que des données d'observation. Cela réduit la fiabilité du modèle.

Appariement des pétroles

Un condensat testé en laboratoire a été choisi pour cette étude de modélisation à partir des informations fournies par BP pour le condensat produit précédemment.

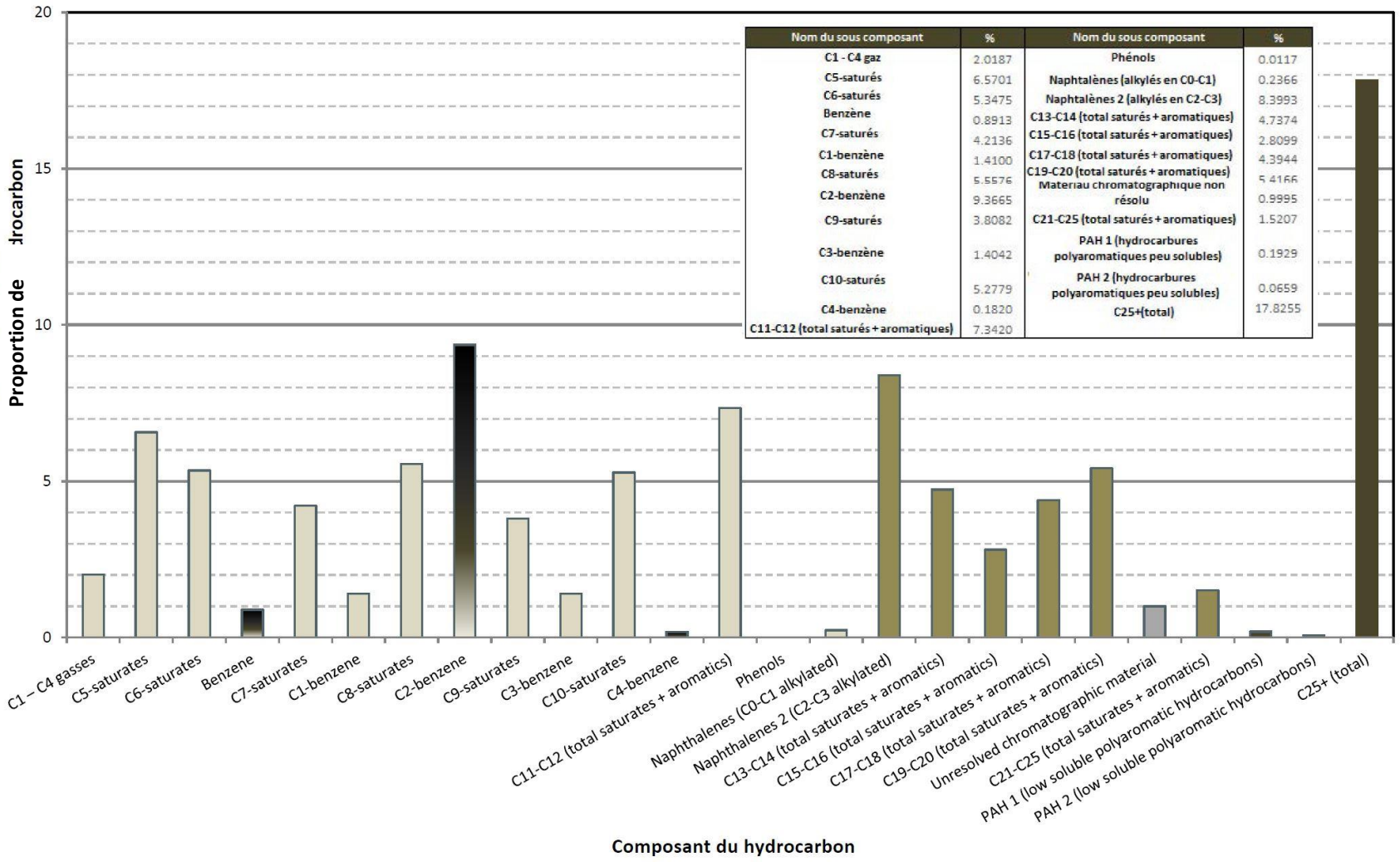
Les propriétés du condensat modélisé sont indiquées sur le t.

Tableau 14. Figure 30 liste les sous-composants du condensat modélisé et leur fraction en pourcentage.

Tableau 16 : Propriétés du pétrole modélisé

Nom	Densité relative	Viscosité (cP)	Point d'écoulement[2]* (°C)	Contenu en cire (%)	Asphaltènes (%)
Condensat client	**0,735**	**1,0**	**< -6**	**3,0 à 5,0**	**0**
Condensat modélisé (Lavrans)	0,789	2,0	-6,0	6	-

[2] En raison des algorithmes du modèle, le point d'écoulement est de moindre importance lors de l'appariement des pétroles.



Nom du sous composant	%	Nom du sous composant	%
C1 - C4 gaz	2.0187	Phénols	0.0117
C5-saturés	6.5701	Naphtalènes (alkylés en C0-C1)	0.2366
C6-saturés	5.3475	Naphtalènes 2 (alkylés en C2-C3)	8.3993
Benzène	0.8913	C13-C14 (total saturés + aromatiques)	4.7374
C7-saturés	4.2136	C15-C16 (total saturés + aromatiques)	2.8099
C1-benzène	1.4100	C17-C18 (total saturés + aromatiques)	4.3944
C8-saturés	5.5576	C19-C20 (total saturés + aromatiques)	5.4166
C2-benzène	9.3665	Materiau chromatographique non résolu	0.9995
C9-saturés	3.8082	C21-C25 (total saturés + aromatiques)	1.5207
C3-benzène	1.4042	PAH 1 (hydrocarbures polyaromatiques peu solubles)	0.1929
C10-saturés	5.2779	PAH 2 (hydrocarbures polyaromatiques peu solubles)	0.0659
C4-benzène	0.1820	C25+(total)	17.8255
C11-C12 (total saturés + aromatiques)	7.3420		

Figure 30 : composition chimique du condensat modélisé

ANNEXE F. LOGICIEL ET MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

Ce projet a été réalisé à l'aide du modèle OSCAR contenue dans le logiciel MEMW 8.0 (Marine Environmental Modelling Workbench). Ce modèle qui a été entièrement validé et étalonné à l'aide de diverses observations de terrain concernant plusieurs déversements d'hydrocarbures expérimentaux (Reed et al., 1995, 1996).

OSCAR prédit le mouvement des hydrocarbures à la surface de l'eau et dans toute la colonne d'eau. OSCAR se compose de plusieurs modules de verrouillage qui sont activés selon les besoins. L'infographie suivante illustre le processus de modélisation OSCAR.

OSCAR Inputs, Process and Outputs

A brief explanation of the Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) model methodology

1 OSRL input scenario data to OSCAR

Oil properties
Your oil is matched to a scientifically characterised oil within the OSCAR oil database. Oil properties have the most significant impact on weathering.

Metocean data
Wind (2D) and current (3D) data for the entire spill area are used to predict oil weathering and direction of travel.

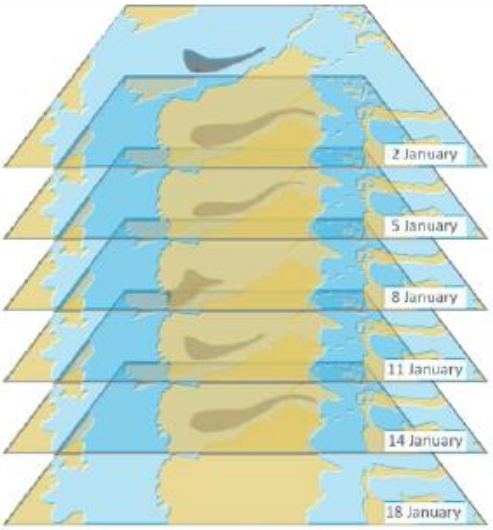
Response techniques
Response techniques can be inputted to assess their efficacy in reducing the amount of oil on the sea surface and along shorelines.

2 OSCAR analyses oil spill scenario data

Oil Weathering
The Oil Weathering Model calculates the weathering of oil in the marine environment using the oil characteristics database.

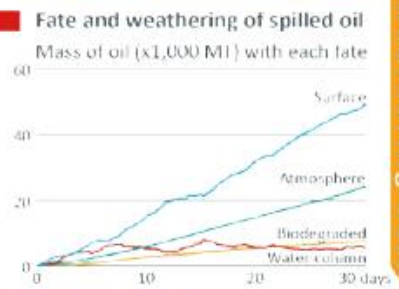
Fates
The Spill Trajectory and Plume Model predicts oil direction and fate: on the sea surface, shoreline, seafloor (sediment), in the atmosphere or water column, or biodegraded.

Response Efficacy
The Strategic Response Model can be used to study dispersant application, and containment and recovery. This can help with pre-approval of dispersant application.

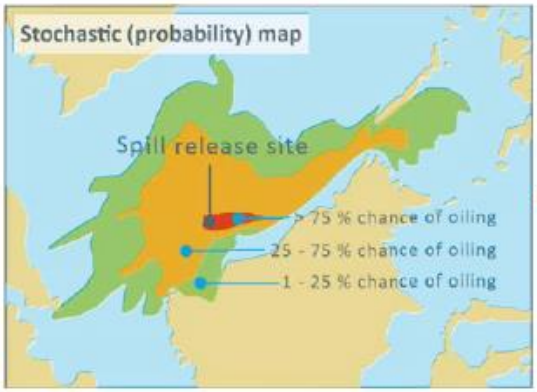


4 OSCAR combines many trajectories with different start dates and times

3 OSCAR produces oil spill trajectory fates and weathering data



5 Multiple trajectories make a stochastic map



ArcGIS
MATLAB®

6 OSRL analyse outputs

International impact
Which maritime boundaries is oil likely to cross?

Sensitivity impact
Which protected areas could oil impact?

Shoreline impact
Which shorelines could become oiled?
How much emulsion could reach shore?
How much time will you have to intercept oil?

ANNEXE G. GLOSSAIRE DES TERMES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

°C	Degrés Celsius (1,0 °C = 33,8 °Fahrenheit)
µm	Micromètre (1,0 µm = 10^{-6} m)
API	L'institut américain du pétrole (American Petroleum Institute)
Densité API	La densité API, comme la densité relative, est un rapport entre les densités du pétrole et de l'eau. Contrairement à la densité relative, la densité API n'est utilisée que pour décrire les hydrocarbures, ce qu'elle caractérise comme : • léger : API > 31,1 • moyen : API entre 22,3 et 31,1 • lourd : API < 22,3 • extra lourd : API < 10,0 La densité API est convertie en densité relative à l'aide de la formule suivante : *densité API = (141,5/densité relative) - 131,5* Un API de 10 est équivalent à l'eau, donc des pétroles dont l'API est supérieur à 10 flotteront sur l'eau tandis que ceux dont l'API est inférieur à 10 couleront. Voir aussi : *Densité spécifique, API*
ArcGIS	Système d'information géographique (SIG) utilisé pour présenter les résultats d'OSCAR sur des cartes.
Teneur en asphaltène	Les asphaltènes présentent les composants du pétrole brut qui sont (1) insolubles dans le n-heptane à un rapport de dilution de 40 parties d'alcane pour 1 partie de pétrole brut et (2) se dissolvent à nouveau dans le toluène. Les asphaltènes comprennent le pétrole brut dont le poids moléculaire, la polarité et l'aromatique sont les plus élevés.
Barils	Barils de pétrole (une unité de volume). (1,0 barils = 0,15899 m³ et 1,0 m³ = 6,2898 barils) La conversion entre masse et volume nécessite une connaissance de la densité du pétrole. Voir aussi : *tonne, densité API, densité spécifique*
barils/jour	Barils de pétrole par jour (taux).
Accord de Bonn	L'Accord de Bonn est une norme internationale et un accord sur la façon de caractériser la pollution et d'y répondre. Bien qu'il vise la pollution en mer du Nord (Europe), de nombreuses normes de caractérisation sont reconnues au niveau international.
FPSO	Stockage et déchargement flottants de production : navire flottant servant à la production, au traitement et au stockage du pétrole.
GOR	Rapport gaz/pétrole : rapport entre le débit volumétrique du gaz produit et le débit volumétrique du pétrole. Bien que le GOR soit un rapport, les unités de volume doivent être connues puisque les volumes de gaz et de pétrole sont mesurés différemment. Le GOR varie avec la température et la pression, de sorte que les conditions dans lesquelles il est mesuré doivent être connues.
ITOPF	Fédération internationale des armateurs pétroliers contre la pollution (International Tanker Owners Pollution Federation Limited)
km	Kilomètres (1,0 km = 1 000 m) Voir aussi : *m*

m	Mètres (1,0 km = 1 000 m) Voir aussi : *µm, km*
MATLAB	Matrix Laboratory : un environnement de calcul numérique multi-paradigme et un langage de programmation utilisé dans cette étude pour la manipulation des résultats fournis par OSCAR.
MEMW	Marine Environmental Modelling Workbench : le logiciel de modélisation développé par SINTEF. Le MEMW se compose de trois modèles : • **DREAM (Modèle d'évaluation des doses, des risques et des effets)** • **OSCAR (Modèle d'intervention et de préparation à la lutte contre les déversements d'hydrocarbures)** • **Modèle ParTrack** Combinés, ces trois modèles quantifient les effets environnementaux de la plupart des activités de pollution chimique. Voir aussi : *OSCAR, SINTEF*
t	tonnes : unité de masse du pétrole. (1,0 t = 1 000 kg) La conversion entre la masse et le volume nécessite une connaissance de l'API ou de la densité spécifique du pétrole comme suit : *barils par tonne = 1/[(141,5/ (API + 131,5) x 0,159)* Voir aussi : *barils, densité API, densité spécifique*
NOAA	L'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique : l'agence américaine responsable de l'étude des conditions météorologiques et océaniques
OSCAR	Intervention et préparation à la lutte en cas de déversement d'hydrocarbures Un modèle et un outil de simulation 3D à la fine pointe de la technologie pour prédire le devenir et les effets des hydrocarbures rejetés dans l'environnement marin. Développé par SINTEF, il fait partie de l'application globale MEMW. Voir aussi : *SINTEF, MEMW*
OSRL	Oil Spill Response Limited
Point d'écoulement	Le point d'écoulement d'un liquide est la température la plus basse à laquelle il présente des caractéristiques d'écoulement. Si la température ambiante est inférieure au point d'écoulement du liquide, elle commence à se solidifier.
SCAT	Technique d'évaluation et de restauration des rives (Shoreline Cleanup Assessment Technique).
SINTEF	SINTEF est un organisme de recherche indépendant norvégien qui développe le modèle OSCAR utilisé dans cette étude.
Densité spécifique	La densité spécifique est un rapport entre la densité d'une substance et la densité d'une substance de référence, habituellement l'eau. La densité spécifique du pétrole est un rapport entre la densité du pétrole et la densité de l'eau. Voir aussi : *densité API, barils, t*
Stochastique	Les résultats stochastiques (ou probabilistes) montrent la probabilité ou la probabilité qu'un événement se produise. Ils fournissent des données statistiques qui peuvent être utilisées pour évaluer les risques et identifier les pires scénarios. Les résultats stochastiques sont obtenus en combinant différentes simulations de trajectoire. Voir aussi : *Trajectoire*

Trajectoire	La trajectoire ou les résultats déterministes montrent l'impact d'un seul déversement au fil du temps. Peut être utilisé pour évaluer différentes options de réponse telles que les barrages flottants, les écrémeurs et les dispersants. Voir aussi : *Stochastique*
UTC	Temps universel coordonné
Teneur en cire	Représente les composants du pétrole brut qui sont solubles dans des alcanes normaux de poids moléculaire élevé (n-heptane) mais qui sont insolubles dans des alcanes de poids moléculaire inférieur (n-pentane).

ANNEXE H. RÉFÉRENCES

Bacher, A.D. (2014) « Gas Chromatography Theory », accessible en ligne : http://www.chem.ucla.edu/~bacher/General/30BL/gc/theory.html, dernière consultation le 31 octobre 2017.

HPI Consultants Inc. (1987) *HPI Crude Oil Assay Handbook*, première édition, Californie : États-Unis

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (n.d.) Guide d'information technique n° 02, « Devenir des déversements d'hydrocarbures en mer », accessible en ligne via : http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/2-devenir-des-deversements-dhydrocarbures-en-mer/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (n.d.), Guide d'information technique n° 06, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux », accessible en ligne via : http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/06-reconnaissance-des-hydrocarbures-sur-les-littoraux/http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/document/tip-6-recognition-of-oil-on-shorelines/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

LECO Corporation (2012) « Analysis of Light Crude Oil Using Gas Chromatography – High Resolution Time-of-Flight Mass Spectrometry », formulaire n° 203-821-410 Rev0, accessible en ligne : http://www.leco.com/index.php/component/edocman/?task=document.download&id=404&Itemid=404, dernière consultation le 31 octobre 2017.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2014) *National Oceanographic Data Center (NODC)*, World Ocean Atlas Select (WOA*select*), accessible via : http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html, dernière consultation le 31 octobre 2017.

Oil Spill Response Ltd. (OSRL) « Shoreline Cleanup and Assessment Technique (SCAT) Field Guide », accessible en ligne : http://www.oilspillresponse.com/technical-development/technical-field-guides, dernière consultation le 31 octobre 2017.

Reed, M., French, D., Rines, G. and Rye, H. (1995) « A three-dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment », publication présentée en 1995 à la Conférence internationale sur les déversements d'hydrocarbures, pp.61-66.

Reed, M., Aamo, O.M. and Downing, K. (1996) « Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System », publication présentée en 1996 à la conférence sur le déversement d'hydrocarbures AMOP.

Saha, S., S. Moorthi, H. Pan, X. Wu, J. Wang, et co-auteurs, 2010 : Réanalyse du système de prévision climatique NCEP. Bulletin de la Société américaine de météorologie, 91, 1015–1057.

Saha, S., S. Moorthi, X. Wu, J. Wang et co-auteurs, 2014 : Système de prévision climatique NCEP, version 2 Revue du climat, 27, 2185–2208.

SINTEF (2014) « OSCAR – Oil Spill Contingency and Response », accessible en ligne : https://www.sintef.no/en/software/oscar/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

ANNEXE N-1b : RAPPORT DE MODÉLISATION DE DÉVERSEMENT D'HYDROCARBURES – DÉFAILLANCE DU FPSO EN RAISON D'UNE COLLISION AVEC UN NAVIRE

Rapport de modélisation des déversements accidentels d'hydrocarbures, défaillance des réservoirs de stockage et de diesel du FPSO : Tortue Phase 1a

BP p.l.c.

NUMERO DE DOCUMENT : GEOM0132G R03
DATE DE PUBLICATION : 19 JANVIER 2018

Oil Spill Response Limited
Lower William Street
Southampton
SO14 5QE
Royaume-Uni
Tel : +44 (0)23 8033 1551
Fax : +44 (0)23 8022 1972

SOMMAIRE EXÉCUTIF

La modélisation des déversements d'hydrocarbures a été réalisée par Oil Spill Response Ltd. (OSRL) pour le compte de BP sur le site de Tortue Phase 1a, au large du Sénégal et de la Mauritanie (figure 1). Les résultats de cette analyse aideront à élaborer un plan d'urgence et une étude d'impact sur l'environnement pour la région en cas de déversement d'hydrocarbures. Les scénarios modélisés sont résumés dans le tableau 1.

Scénario 1 : la défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO suite à une collision entraine un déversement de 163 200 m^3 pendant plus de 160 heures au cours de l'été (avril à septembre).

Scénario 2 : la défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO suite à une collision entraine un déversement de 163 200 m^3 pendant plus de 160 heures au cours de l'hiver (octobre à mars).

Une défaillance du FPSO suite à une collision pose un risque pour les côtes du Sénégal et de la Mauritanie. La situation est aggravée si l'accident a lieu en été plutôt qu'en hiver, les condensats et le diesel atteignant très probablement le rivage en 8 jours et, dans le pire des cas, en moins de 2 jours. En été, la probabilité que l'impact soit plus important est également plus élevée avec près de 50 % de la quantité de condensat et de diesel pouvant atteindre la côte, soit plus de 9 500 t. En hiver, la probabilité que la même quantité de condensat et de diesel atteigne la côte ne représente que 13 %.

Le Sénégal devrait être plus impacté que la Mauritanie. Un déversement en été peut également donner lieu à impact « fort » du littoral (selon la définition du document de l'ITOPF »Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » (voir les Seuils)). Cependant, la longueur des côtes qui pourraient être impactées est limitée à moins de 7 km.

Les trajectoires suivies montrent que l'évaporation du condensat et du diesel est considérable dans les 7 premiers jours. L'impact du littoral, la sédimentation et la biodégradation sont alors les processus dominants.

Dans le pire des scénarios en hiver, la quantité de condensat et de diesel sur la côte atteint un maximum de 21 536 t (27 295 m^3) au bout de 28 jours.

Les eaux du Sénégal et de la Mauritanie pourraient connaître un déversement avec une épaisseur en surface de plus de 5 µm, les rendant éligibles aux techniques de confinement et de récupération.

HISTORIQUE DES DOCUMENTS

Référence de document	Révision	Type de document	Auteur	Examen technique	Examen du format	Date de publication
GEOM0132g	R01	Projet de rapport de la modélisation	JKM	LHM	SJB	8 déc. 2017
GEOM0132g	R02	Réponse aux commentaires	JKM	LHM	SJB	12 janv. 2018
GEOM0132g	R03	Réponse aux commentaires	LHM	N/A	N/A	19 janv. 2018

JKM, Jenny Kirsty Mitchell LHM, Liam Harrington-Missin SJB, Simon Blaen

CLAUSES DE NON-RESPONSABILITÉ

- Les résultats de modélisation sont à utiliser à des fins d'orientation uniquement et pour élaborer des stratégies d'intervention n'étant pas uniquement fondées sur ces résultats.
- La résolution/qualité des données relatives aux vents et aux courants marins varient selon les régions et les modèles. Comme pour tout modèle, la qualité et la fiabilité des résultats sont tributaires de la qualité des données d'entrée.

Compte tenu de ce qui précède, tous les conseils, modélisations et autres renseignements fournis sont génériques et donnés à titre d'exemple uniquement. Ils ne sont pas destinés à être utilisés pour un cas spécifique. Le destinataire de tout conseil, modélisation ou autre information provenant de ou pour le compte de OSRL reconnaît et convient qu'un certain nombre de variables peuvent avoir une incidence sur un déversement d'hydrocarbures et, à ce titre, doit être traité individuellement. OSRL décline toute responsabilité en ce qui concerne ces conseils, modélisations ou autres informations ; le destinataire de ces informations indemnise et dégage de toute responsabilité OSRL, ses dirigeants, employés, actionnaires, mandataires, contractants et sous-traitants pour les coûts, pertes, réclamations ou responsabilités découlant de ces conseils, modélisations, formations ou autres informations.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 5
1.1 Contexte 5
1.2 Objectifs 5
1.3 Configuration de modélisation 8
1.4 Seuils 9

2 RÉSULTATS 11
2.1 Résultats stochastiques 11
2.1.1 Impact en surface 13
2.1.2 Impact sur le littoral 19
2.1.3 Impact de la dissolution dans la colonne d'eau 27
2.1.4 Impact total de la colonne d'eau 32
2.2 Comparaison entre l'hiver et l'été 37
2.3 Pire scénario de déversement d'hydrocarbures 39

3 Conclusion 45
3.1 Impact sur le littoral 45
3.2 Impact en surface 45

ANNEXE A. DONNÉES D'ENTRÉE FOURNIES AU MODÈLE 47
ANNEXE B. DONNÉES MÉTÉO-OCÉANIQUES 48
ANNEXE C. MAILLAGE DE L'HABITAT 50
ANNEXE D. CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DU PÉTROLE 51
ANNEXE E. LOGICIEL et méthodologie DE MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES 55
ANNEXE F. GLOSSAIRE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS 57
ANNEXE G. RÉFÉRENCES 60

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La modélisation des déversements d'hydrocarbures a été réalisée par Oil Spill Response Ltd. (OSRL) pour le compte de BP sur le site de Tortue Phase 1a, au large du Sénégal et de la Mauritanie (figure 1). Les résultats de cette analyse aideront à élaborer un plan d'urgence et une étude d'impact sur l'environnement pour la région en cas de déversement d'hydrocarbures. Les scénarios modélisés sont résumés dans le tableau 1.

Scénario 1 : la défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO (suite à une collision avec un navire) entraine un déversement de 160 000 m3 de condensat pendant plus de 160 heures et 3 200 m^3 de diesel pendant plus de 3,2 heures au cours de l'été (avril-septembre).

Scénario 2 : la défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO (suite à une collision avec un navire) entraine un déversement de 160 000 m3 de condensat pendant plus 160 heures et 3 200 m^3de diesel pendant plus de 3,2 heures au cours de l'hiver (octobre-mars).

La simulation a été réalisée à l'aide du modèle Contingence et réponse en cas de déversement d'hydrocarbures (Oil Spill Contingency and Response, OSCAR) de la société SINTEF. OSCAR est un outil de modélisation 3D utilisé pour prédire le mouvement et le devenir des hydrocarbures à la surface de la mer et sur l'ensemble de la colonne d'eau (voir Annexe F pour plus d'informations).

1.2 Objectifs

L'objectif de ce rapport est de présenter le risque pour la surface de la mer et le littoral en créant des cartes spatiales de :

1. Probabilité : estimation de la possibilité qu'une zone soit touchée.
2. Heure d'arrivée : estimation de la vitesse à laquelle une zone pourrait être touchée.
3. Épaisseur de l'émulsion : estimation de la gravité de l'impact sur une zone.

Les données de ces cartes nous permettent de répondre aux questions suivantes :

1. À quelle vitesse le condensat pourrait-il atteindre les rivages avoisinants et en quelle quantité (masse) ?
2. Quels sont les pays les plus susceptibles d'être touchés par un déversement provenant de la FPSO ?
3. Quelles sensibilités environnementales pourraient être affectées par un déversement de la FPSO ?

Tableau 1: Mise en place du scénario

Description	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO - Été	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO - Hiver
Saison	avril à septembre	octobre à mars
Latitude	16° 04' 00.0732" N	
Longitude	016° 53' 09.2260" W	
Volume total déversé	163 200 m^3	
Masse totale déversée	136 522,4 t	
Durée du déversement	160 heures[1]	
Profondeur du déversement	Surface (0 m)	
Littoral le plus proche	env. 40 km, St Louis, Sénégal	

[1]Dans le pire des cas réaliste de déversement suite à une collision, le volume horaire est d'environ 1 000 m3/h, ce qui signifie que le volume total de 163 200 m3 sera déversé en 160 heures.

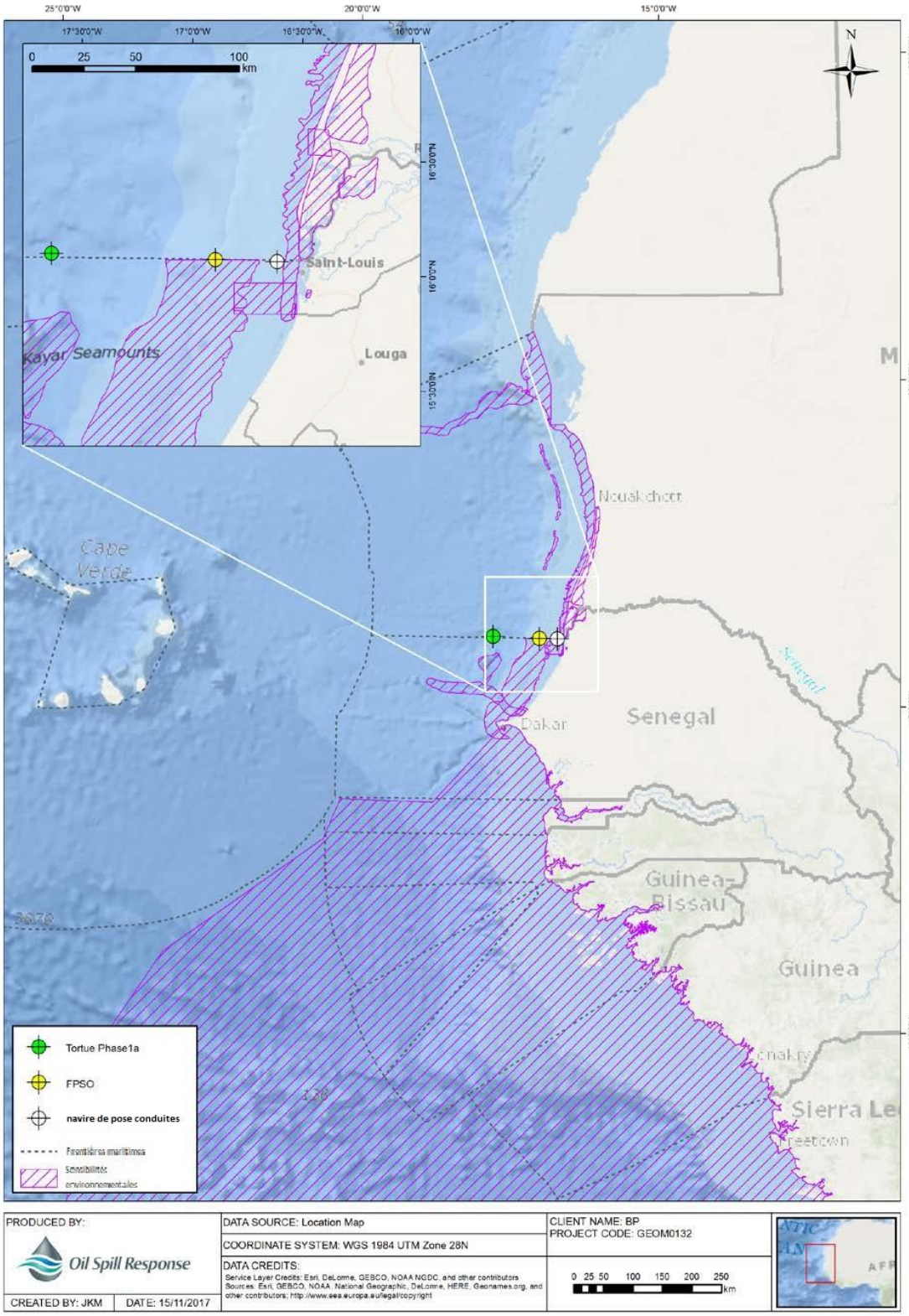


Figure 1: Carte indiquant la localisation du déversement (point jaune)

1.3 Configuration de modélisation

Deux simulations stochastiques du pire scenario ont été réalisées pour la défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO (Tableau 2), avec un total de 324 trajectoires individuelles post-traitées pour le scénario afin de créer les résultats stochastiques. Chaque trajectoire a commencé à une date différente, de sorte que chaque déversement d'hydrocarbure a été simulé selon un éventail de conditions de vent et de courant.

Trois années de données hydrodynamiques (source Copernic et NOAA) ont été utilisées comme données d'entrée pour le modèle. Voir Annexe A à Annexe E pour plus d'information sur la mise en place du modèle.

Tableau 2: Résumé de la configuration stochastique des scénarios de déversement

Description	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO en été	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO en hiver
Emplacement	16° 04' 00.0732" N 016° 53' 09.2260" W	
Période de l'année	avril à septembre	octobre à mars
Période de déversement	3,2 heures : diesel 160 heures : condensat	
Débit de déversement	1 000 m^3/heure	
Déversement total (volume)	163 200 m^3	
Durée d'exécution totale	42 jours	
Nombre total de trajectoires	162	162
Durée entre les trajectoires	3 jours, 10 heures	3 jours, 5 heures

1.4 Seuils

Les seuils définissent le point au-dessous duquel les données ne sont plus informatives. Par exemple, lorsque l'épaisseur de l'émulsion de surface est inférieure à 0,04 µm, les hydrocarbures ne sont plus visibles à l'œil nu et peuvent donc être considérés comme négligeable pour une intervention. Les seuils utilisés pour cette étude sont indiqués dans Tableau 3.

Tableau 3: Seuils utilisés dans l'étape du post-traitement de la modélisation

Seuil	Valeur	Description
Surface	0,04 µm	Le code d'apparence de l'accord de Bonn définit cinq épaisseurs de couches d'hydrocarbures en fonction de leurs effets optiques et de leurs couleurs réelles. 0,04 µm est l'épaisseur minimale visible à l'œil nu.
Colonne d'eau	6 ppb (dissous)	Faible niveau d'exposition aux hydrocarbures dissous dans l'eau.
	70 ppb (total)	Niveau d'exposition à l'hydrocarbure entraîné, OSCAR a prédit une concentration sans effet (CSEP).
Littoral	0,1 l/m2	Seuil inférieur correspondant à un impact léger d'après le document ITOPF « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux ».

La valeur d'épaisseur utilisée dans les cartes d'épaisseur des émulsions de surface dans ce document est dérivée du code d'apparence de Bonn (Tableau 4).

Tableau 4: Valeur utilisée pour les résultats relatifs à l'épaisseur de l'émulsion à la surface de la mer

Apparence	Intervalle d'épaisseur de couche	Couleur
Reflet (argenté/gris)	0,04 µm à 0,3 µm	
Irisé (Arc-en-ciel)	0,3 µm à 5 µm	
Métallique	5 µm à 50 µm	
Vraie couleur discontinue	50 µm à 200 µm	
Vraie couleur continue	> 200 µm	

La valeur d'épaisseur utilisée dans les cartes du littoral tout au long de ce document provient du guide d'informations techniques (GIT) n° 6 de l'ITOPF « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » (ITOPF, 2011b ;

Tableau 7). Un Impact très léger est jugé négligeable par l'ITOPF (ITOPF, 2011b) ; aucune réponse pratique n'est requise pour un littoral très légèrement impacté, hormis la surveillance du déversement d'hydrocarbures.

Tableau 5: Valeur utilisée pour les concentrations dissoutes dans la colonne d'eau

Classification de la colonne d'eau	Concentration	Couleur
Faible	< 50 ppb	
Modérée	50 à 400 ppb	
Élevée	> 400 ppb	

Tableau 6: Valeur utilisée pour les concentrations totales de la colonne d'eau

Concentration	Couleur
< 150 ppb	
150 à 500 ppb	
500 à 750 ppb	
750 à 1 000 ppb	
> 1 000 ppb	

Tableau 7: Valeur utilisée pour les résultats de l'épaisseur de l'émulsion sur le littoral

Classification des impacts côtiers	Concentration	Épaisseur	Couleur
Impact léger	0,1 à 1 l/m^2	0,1 mm à 1,0 mm	
Impact modéré	1 à 10 l/m^2	1 mm à 10 mm	
Impact fort	> 10 l/m^2	> 10 mm	

2 RÉSULTATS

2.1 Résultats stochastiques

Les résultats stochastiques pour le scénario 1 ont été calculés à partir de 324 trajectoires. Le scénario implique le déversement de 160 000 m^3 de condensant pendant plus de 160 heures et 3 200 m^3 de diesel pendant plus de 3,2 heures, au cours de l'été (avril à septembre) et au cours de l'hiver (octobre à mars). Le déversement est suivi sur une durée totale de 42 jours.

Les résultats sont présentés ci-dessous:

Surface de la mer

Figure 2 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact en surface par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 3 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 4 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, épaisseur maximum d'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 5 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, épaisseur moyenne d'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 6 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps maximum d'exposition en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Littoral

Figure 7 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact sur le littoral par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 8 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée sur le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 9 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, impact sur le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 10 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, impact sur le littoral, probabilité relative au temps d'arrivée sur le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 11 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, impact sur le littoral, probabilité relative à la masse atteignant le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

Colonne d'eau (hydrocarbures dissous)

Figure 12 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact de la colonne d'eau par cellule (hydrocarbures dissous), été (gauche) et hiver (droite)

Figure 13 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée dans la colonne d'eau (dissous), été (gauche) et hiver (droite)

Figure 14 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, concentrations dans la colonne d'eau (dissous), été (gauche) et hiver (droite)
Figure 15 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps maximum d'exposition dans la colonne d'eau (dissous), été (gauche) et hiver (droite)

Colonne d'eau (total des hydrocarbures)

Figure 16 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact de la colonne d'eau par cellule (total), été (gauche) et hiver (droite)
Figure 17 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée dans la colonne d'eau (total), été (gauche) et hiver (droite)
Figure 18 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, concentrations dans la colonne d'eau (total), été (gauche) et hiver (droite)
Figure 19 : Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps maximum d'exposition dans la colonne d'eau (total), été (gauche) et hiver (droite)

Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO
Surface

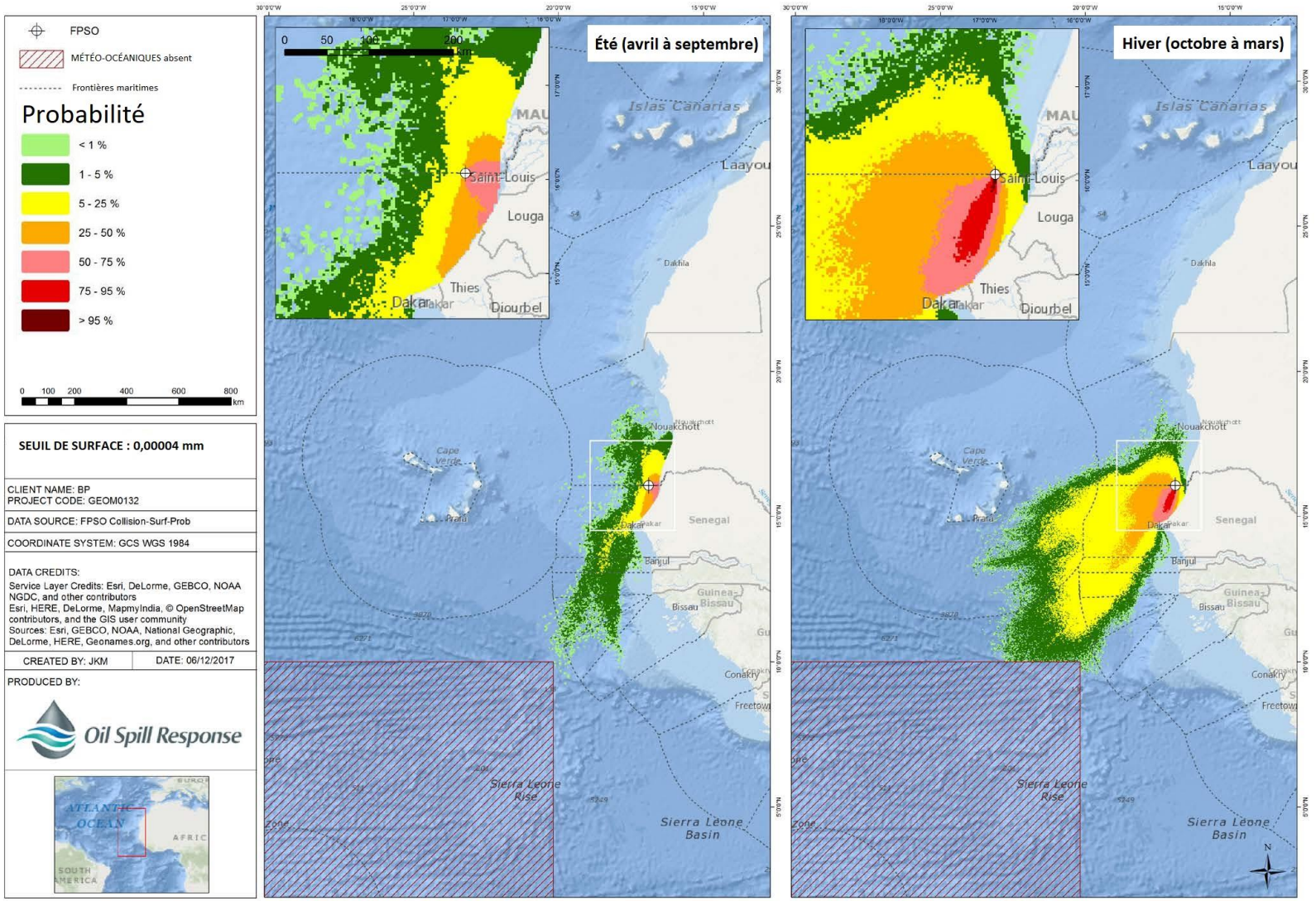


Figure 2: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact en surface par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

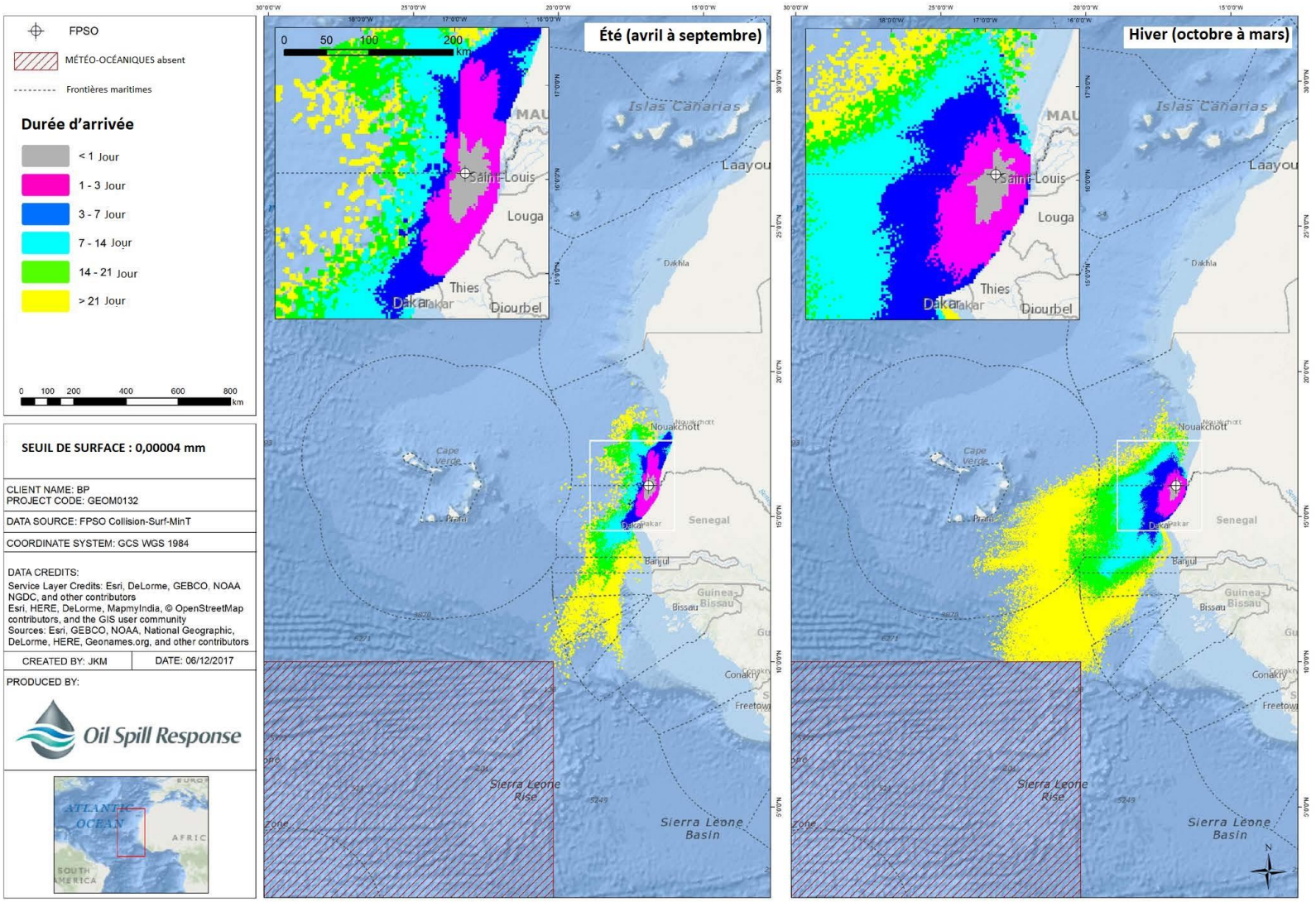


Figure 3: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel de la FPSO, temps minimum d'arrivée en surface, été (gauche) et hiver (droite)

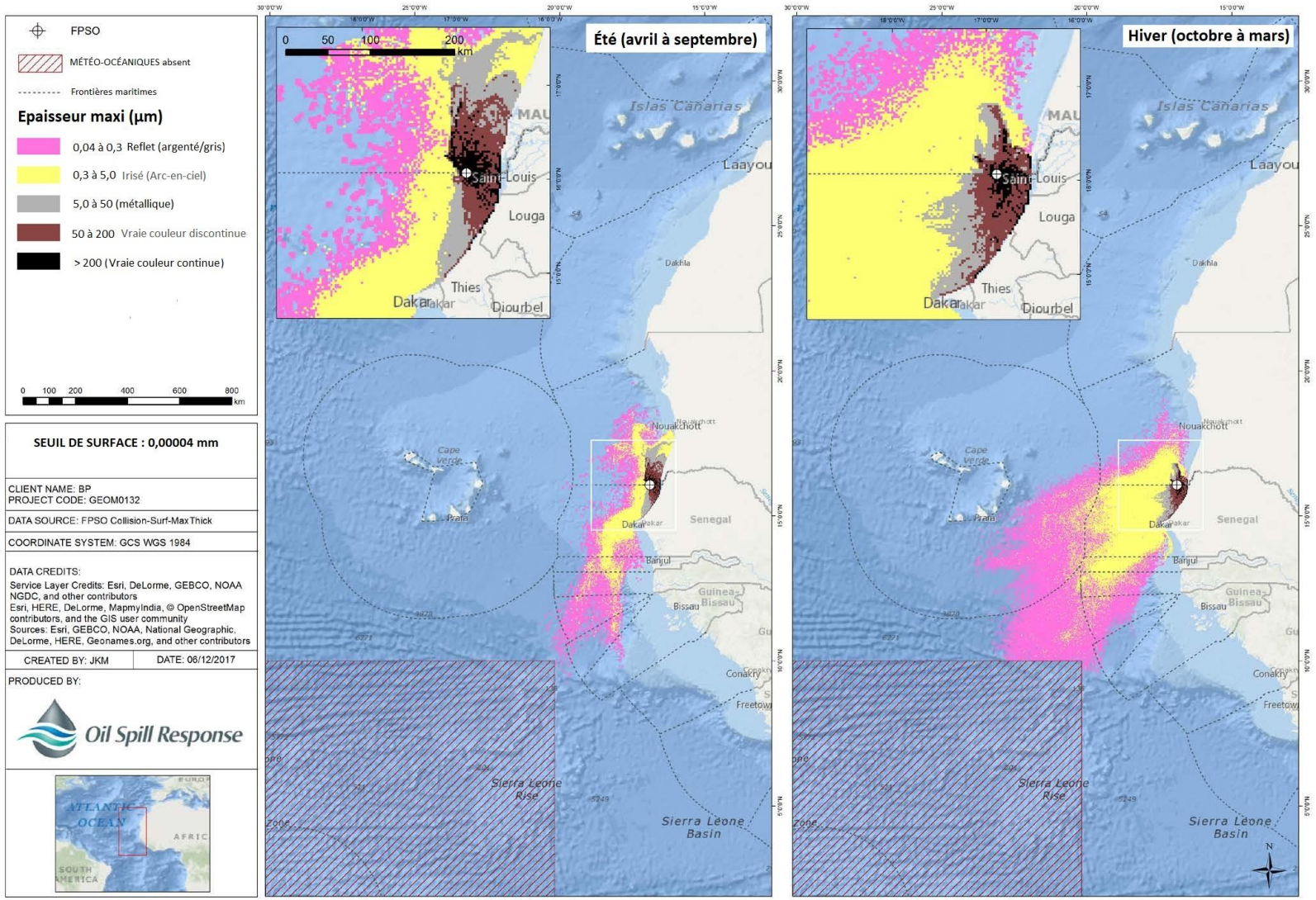


Figure 4: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, épaisseur maximum d'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

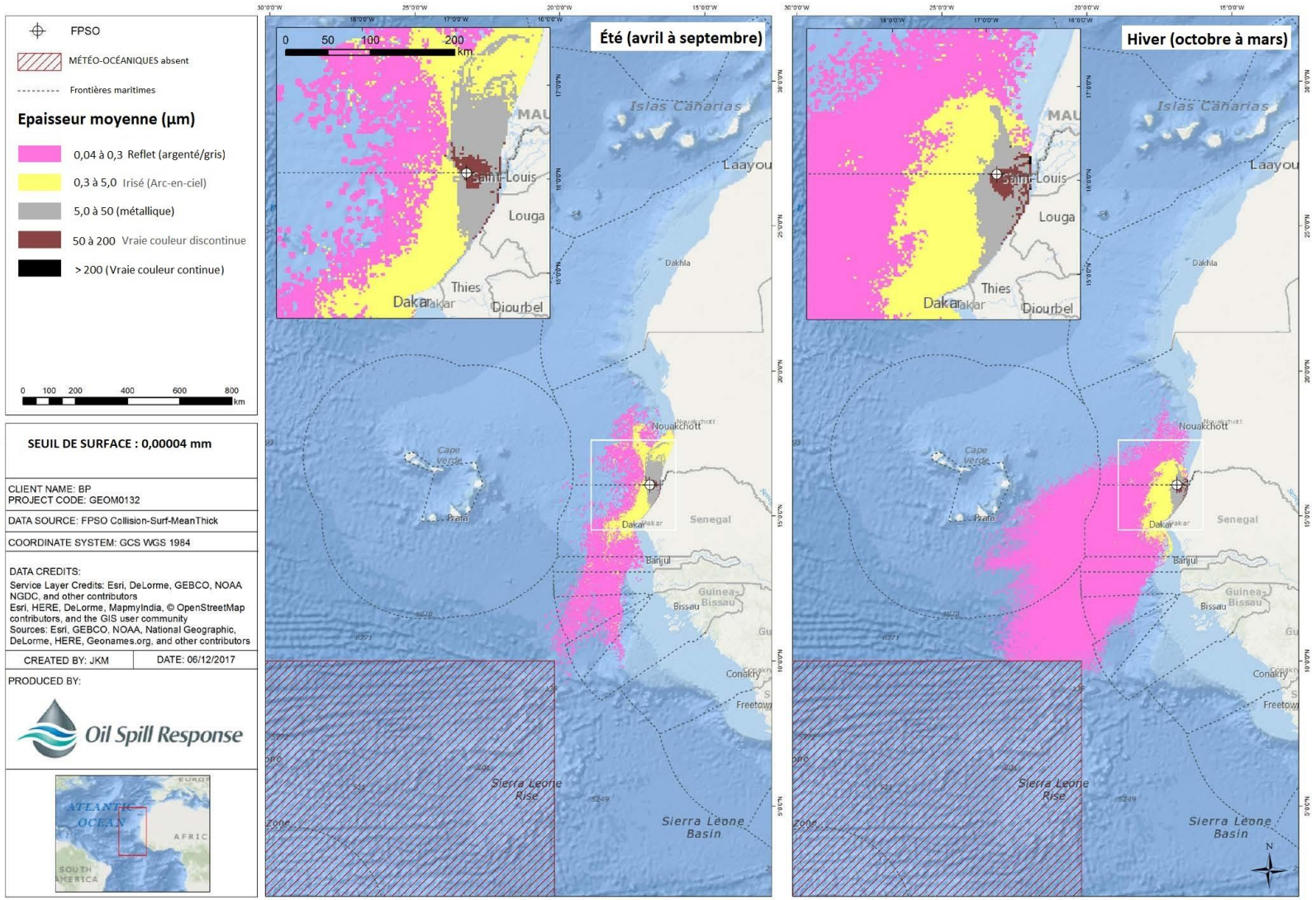


Figure 5: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, épaisseur moyenne d'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

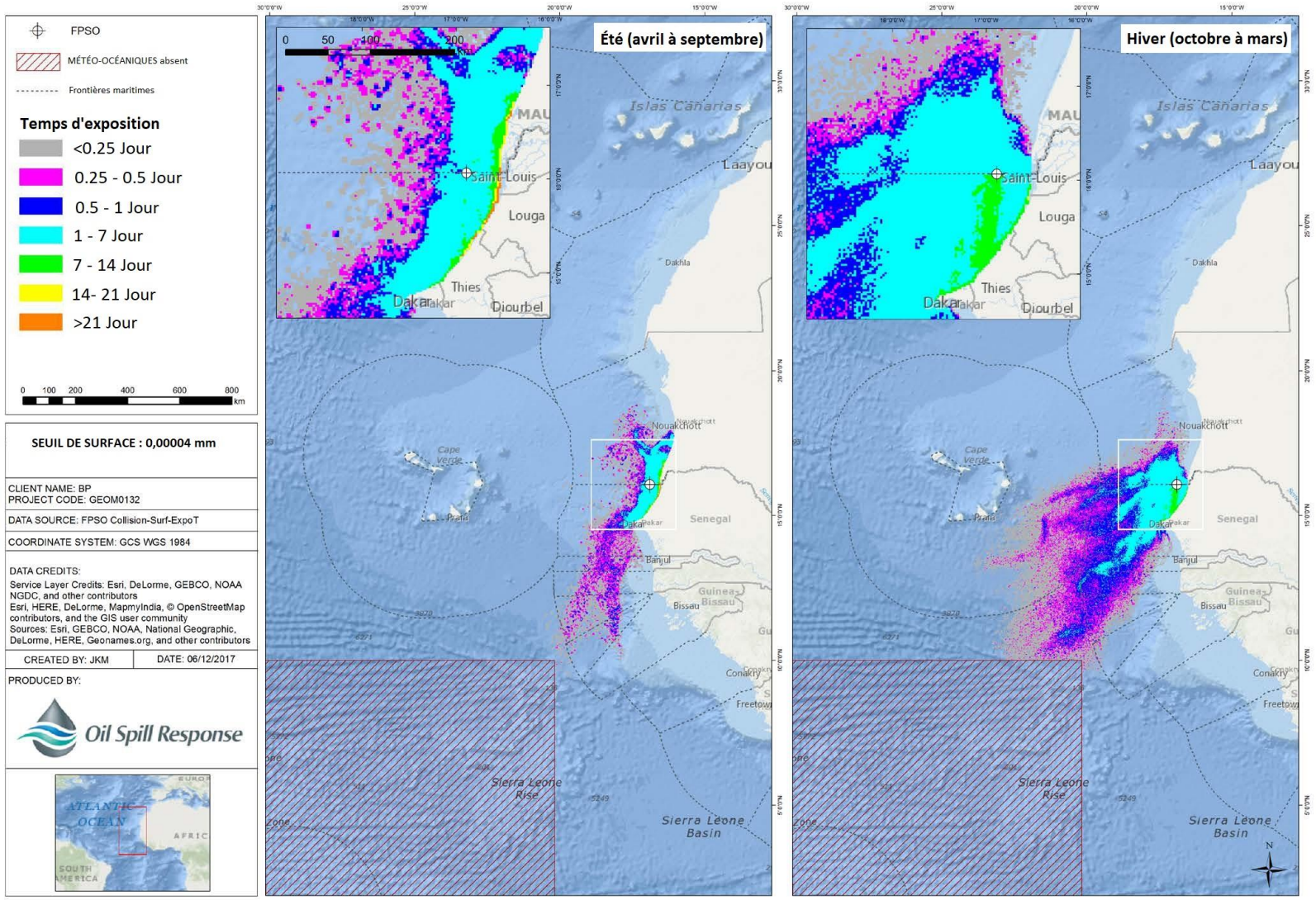


Figure 6: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps maximum d'exposition en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO
Littoral

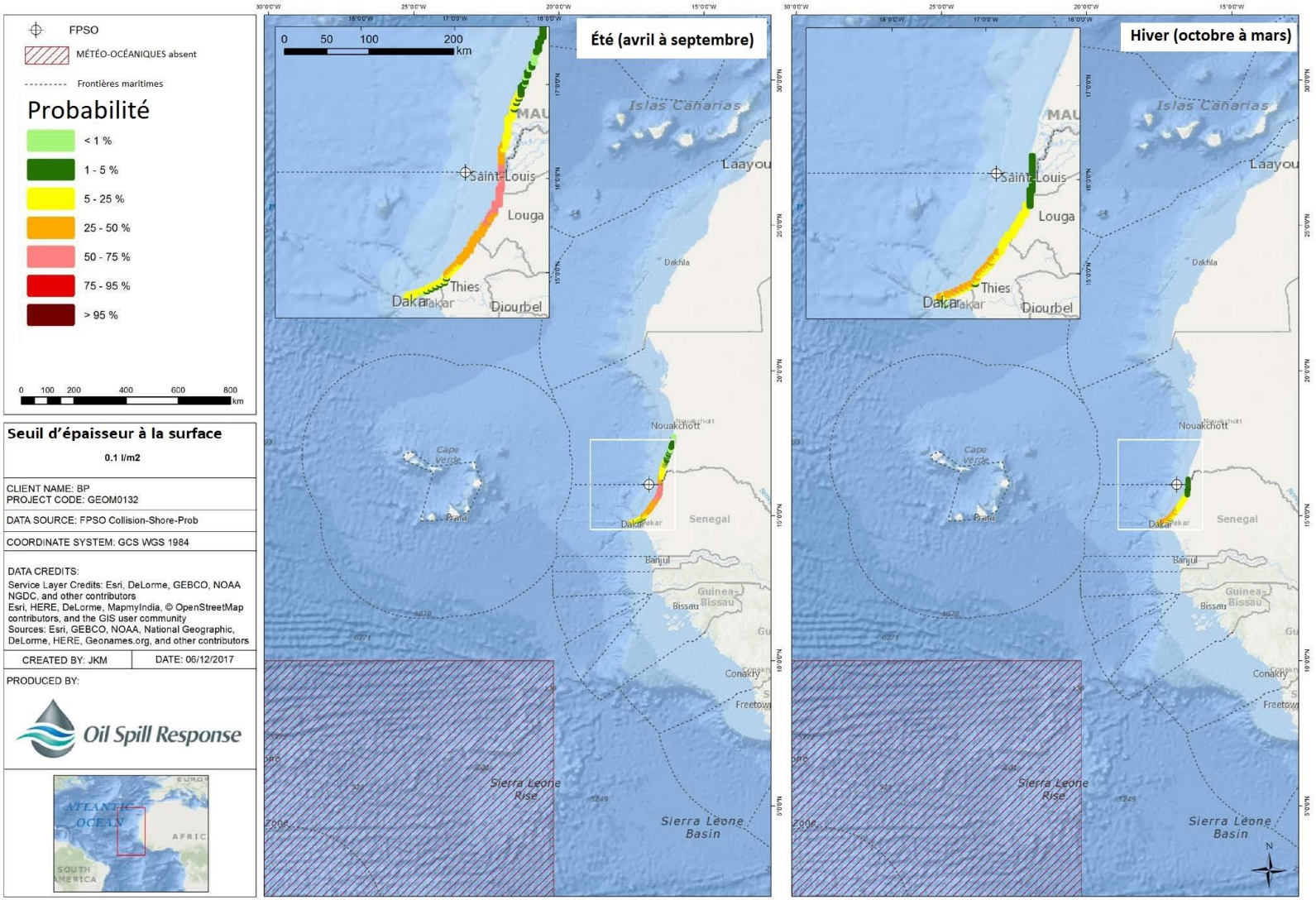


Figure 7: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact du littoral par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

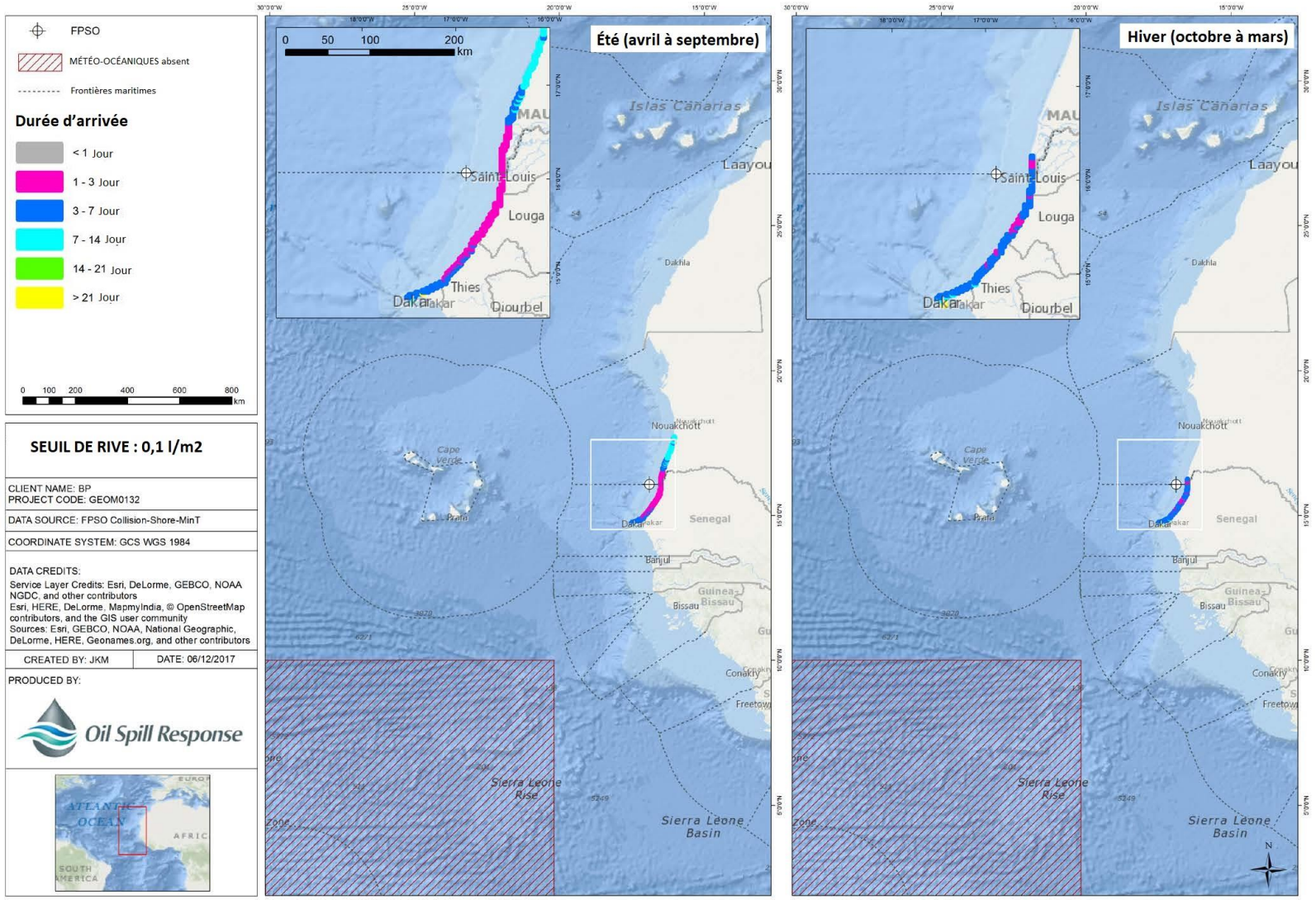


Figure 8: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée sur le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

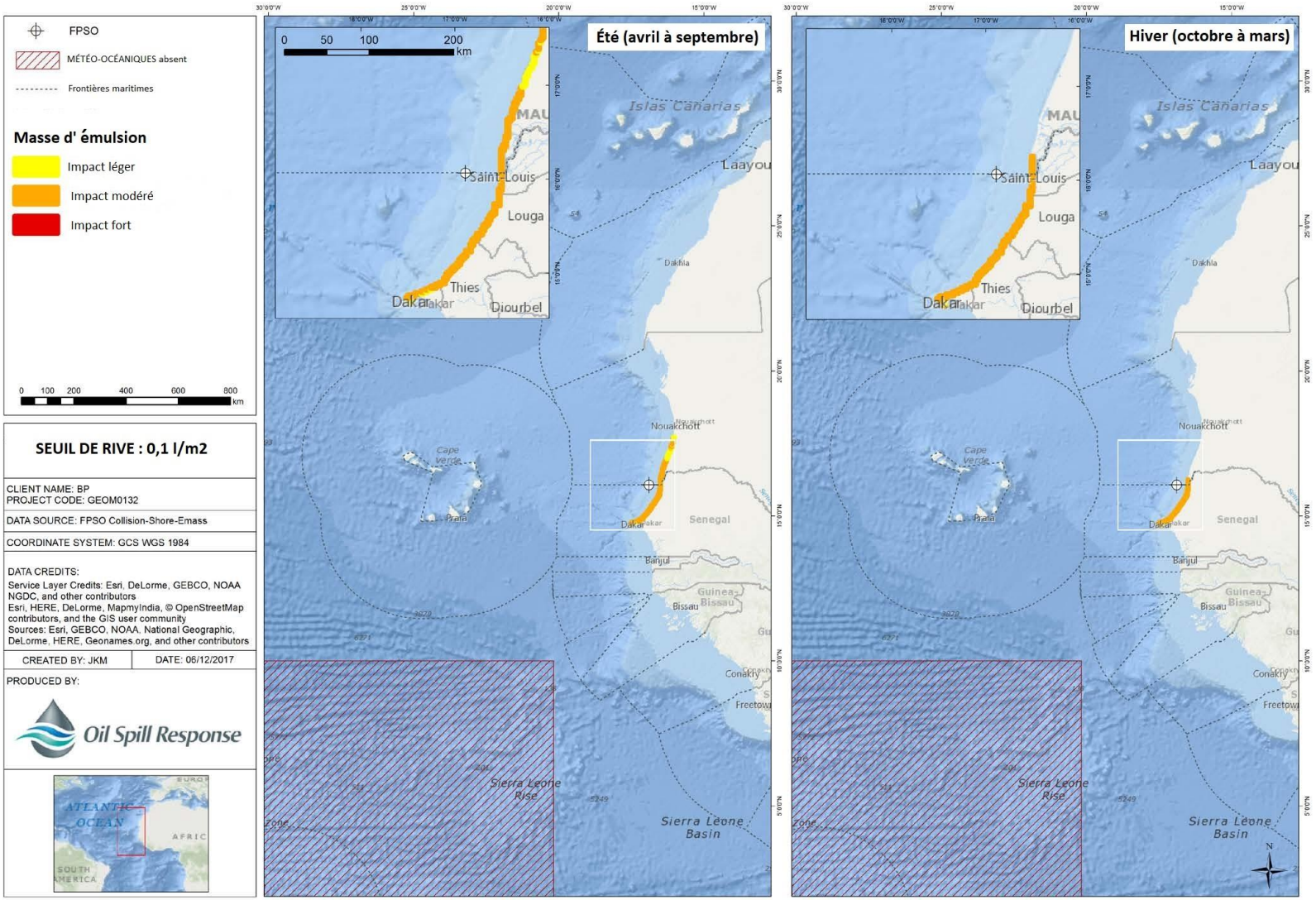


Figure 9: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, impact sur le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

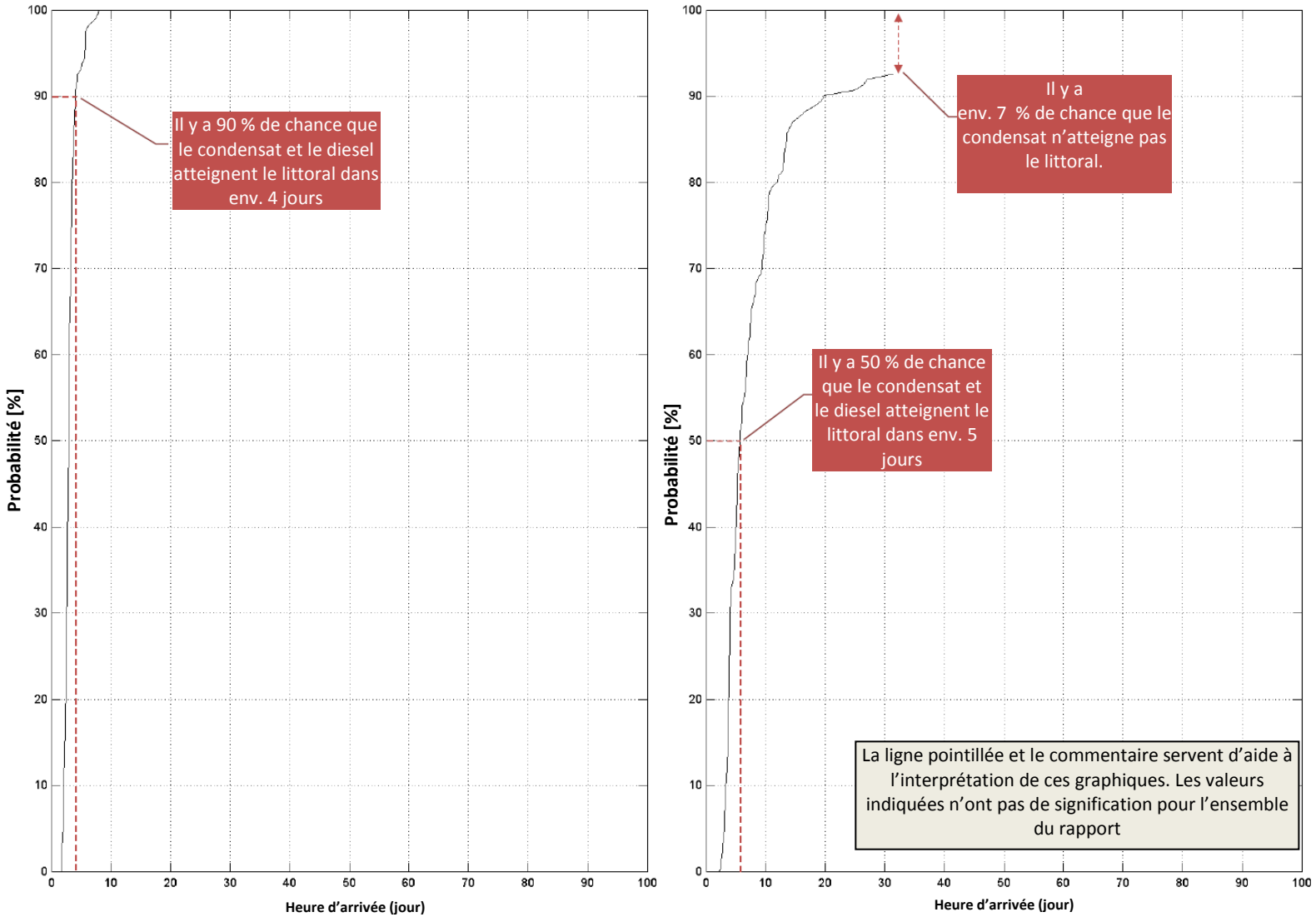


Figure 10: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, impact sur le littoral, probabilité relative au temps d'arrivée sur le littoral, été (gauche) et hiver (droite)

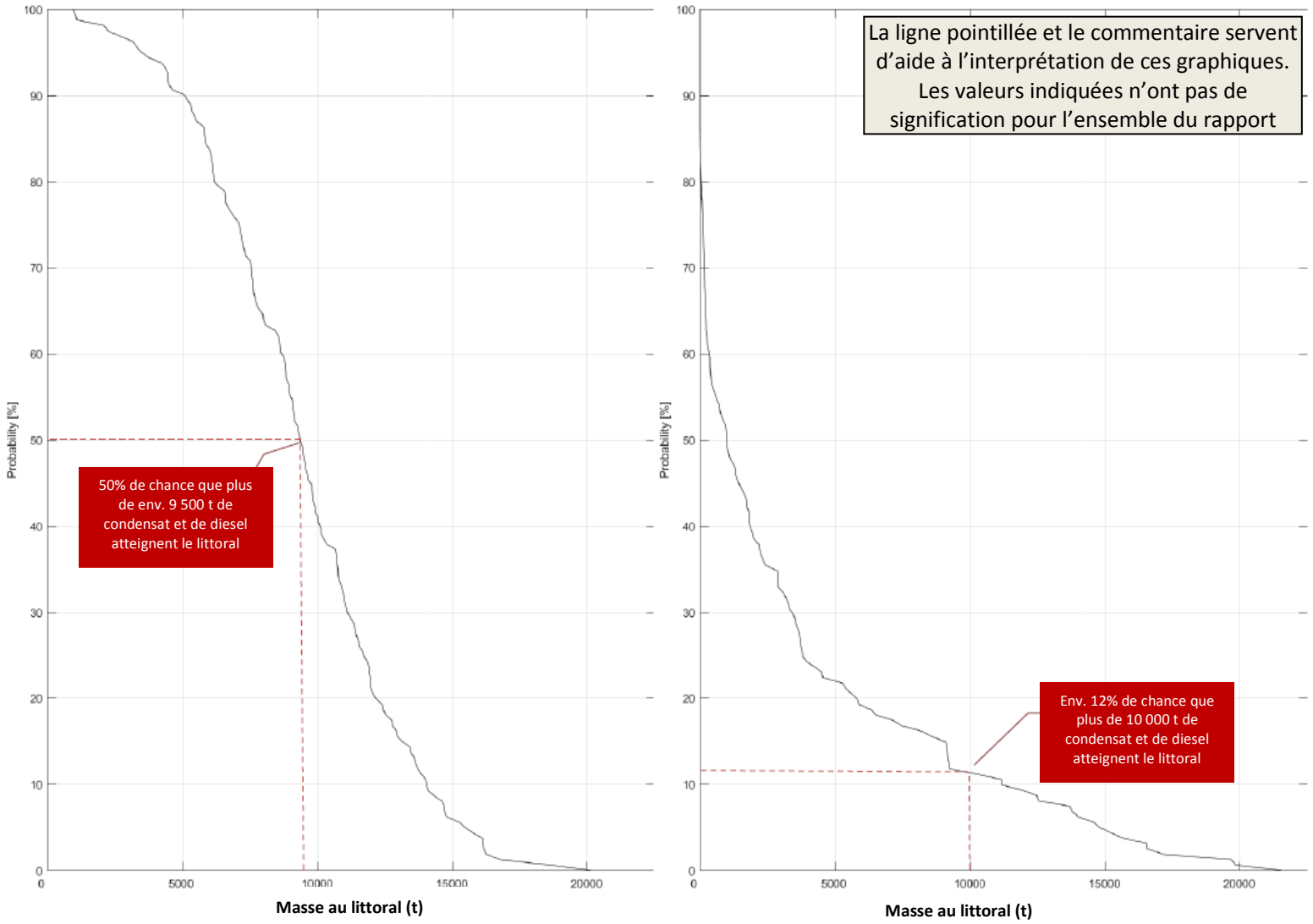


Figure 11: **Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité relative à la masse atteignant le littoral, été (gauche) et hiver (droite)**

Le tableau 8 affiche le nombre de simulations entraînant différents niveaux d'impact sur le littoral d'après le Guide d'informations Techniques (GIT) n° 6, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » et la longueur de rivage impacté. Pour de plus amples informations, voir la section 1.4

Tableau 8: Sévérité de l'impact du littoral à la suite d'une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO de Tortue Phase 1a

Référence de l'ITOPF	Impact léger, modéré et fort		Impact léger et modéré		Impact léger		Aucun impact significatif	
Référence SCAT d'OSRL	Épaisseur		Couverture		Couche			
Saison	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver
Nombre de simulations	36 sur 162	0 sur 162	126 sur 162	111 sur 162	0 sur 162	22 sur 162	0 sur 162	29 sur 162
Probabilité	22 %	0 %	78 %	69 %	0 %	14 %	0 %	18 %

Chacune des 162 trajectoires est classée dans une catégorie unique selon l'impact côtier le plus sévère. Par exemple, une trajectoire qui dispose d'au moins une cellule classée *impact fort* sera placée dans la catégorie Impact fort, peu importe le nombre d'autres cellules classées Impact *léger* ou *modéré.*

Tableau 9: Étendue du littoral touché à la suite d'une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel de la FPSO du puits Tortue Phase 1a

			Cas le plus défavorable	Moyenne (50e percentile)	Cas le plus favorable
Étendue du littoral impacté	Fort	Été	0 km	1 km	7 km
		Hiver	0 km	0 km	0 km
	Modéré	Été	22 km	142 km	323 km
		Hiver	0 km	24 km	363 km
	Léger	Été	0 km	20 km	105 km
		Hiver	0 km	18 km	54 km

Les données présentées dans ces tableaux peuvent être interprétées comme suit

- Dans le meilleur des cas ;
  - Été. Seulement 22 km de côtes seront affectées par un impact modéré.
  - Hiver. Il est probable (18 %) qu'il n'y aura aucun impact significatif.
- Dans un cas « typique » (50e percentile), il y aura :
  - Été = env. 1 km d'impact fort, 142 km d'impact modéré, et 20 km d'impact léger.
  - Hiver = pas d'impact fort, 24 km d'impact modéré et 18 km d'impact léger.
- Dans le « pire des cas » (valeur maximum[2]), il y aura :
  - Été = 7 km d'impact fort, 323 km d'impact modéré, et 105 km d'impact léger.
  - Hiver = pas d'impact fort, 363 km d'impact modéré et 54 km d'impact léger.

[2] Notez qu'il s'agit de la longueur maximale du rivage dans chaque catégorie. Il n'est pas fait référence à 1 trajectoire extraite des données stochastiques.

Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO

Cartes de la colonne d'eau

Concentrations dissoutes

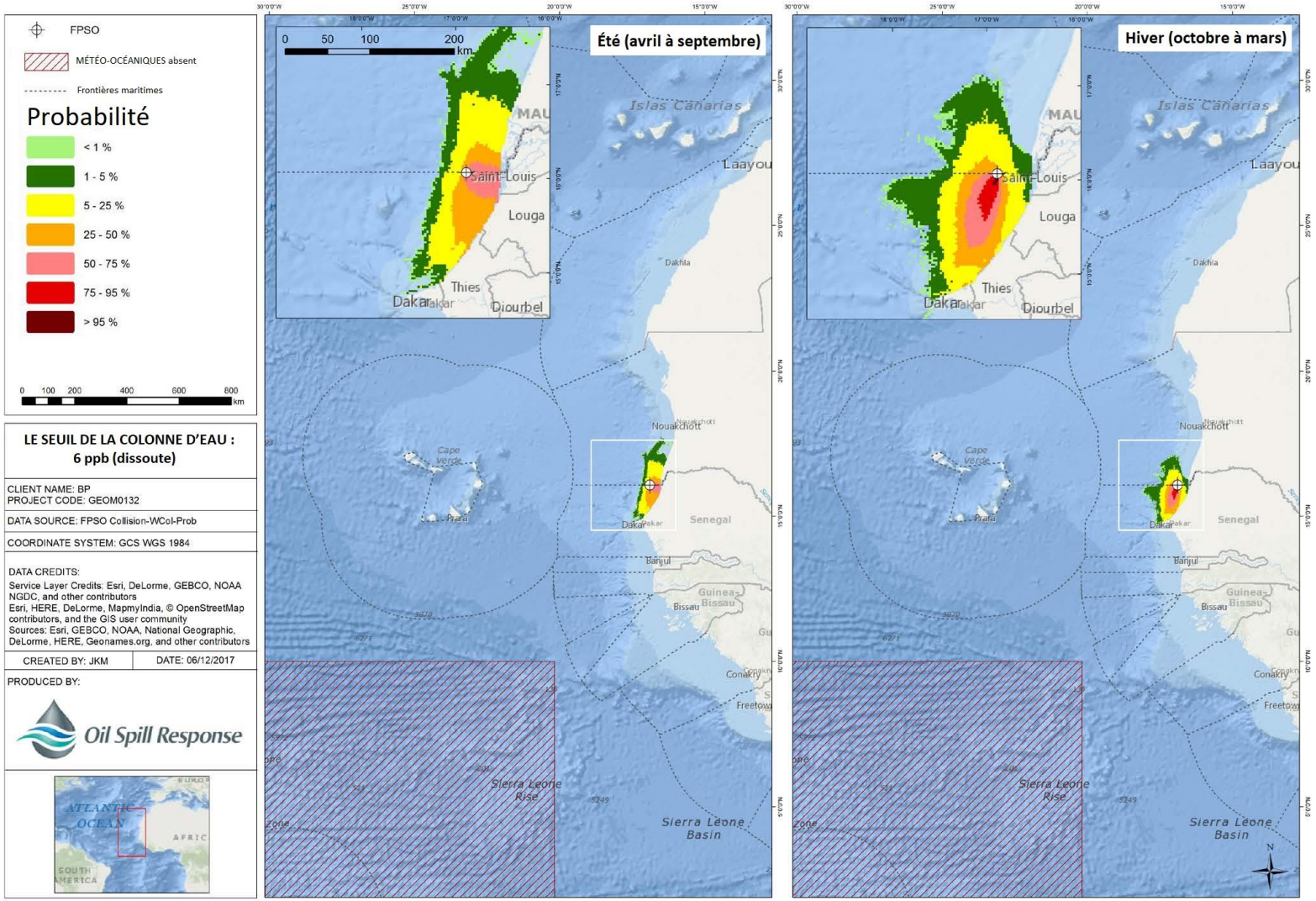
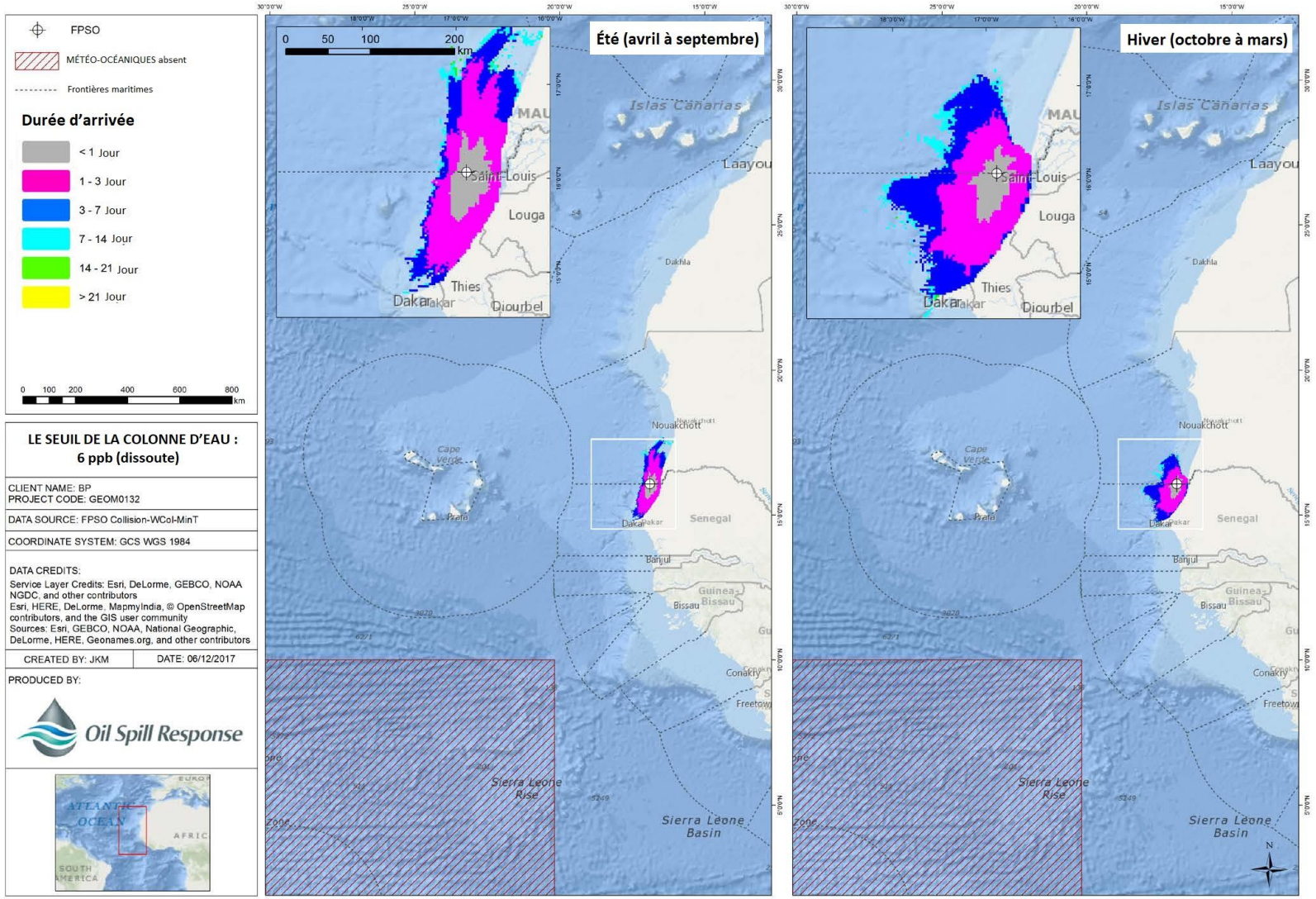


Figure 12: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact de la colonne d'eau par cellule (hydrocarbures dissous), été (gauche) et hiver (droite)

Figure 13:



Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée dans la colonne d'eau (dissous), été (gauche) et hiver (droite)

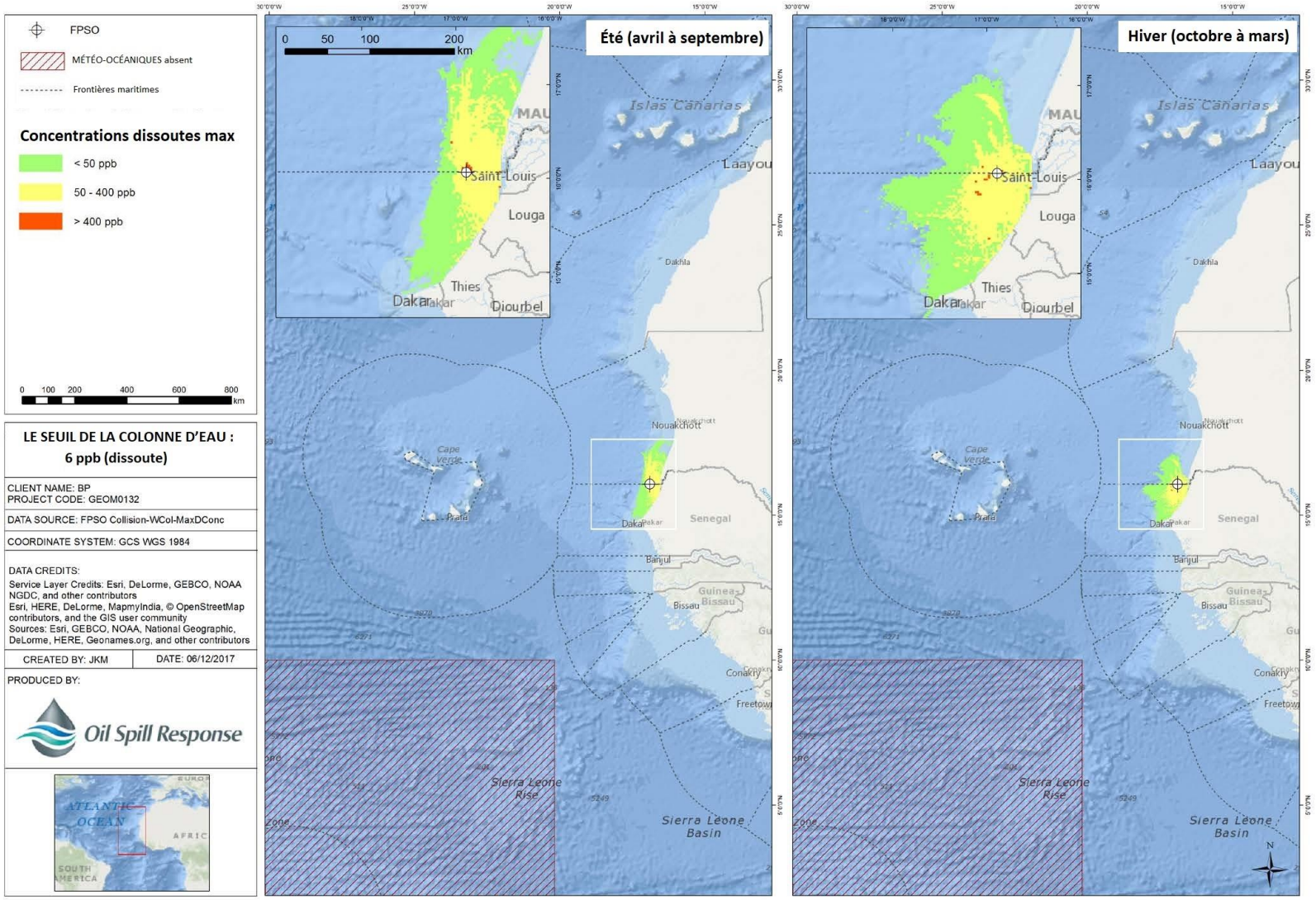


Figure 14: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, concentrations dans la colonne d'eau (dissous), été (gauche) et hiver (droite)

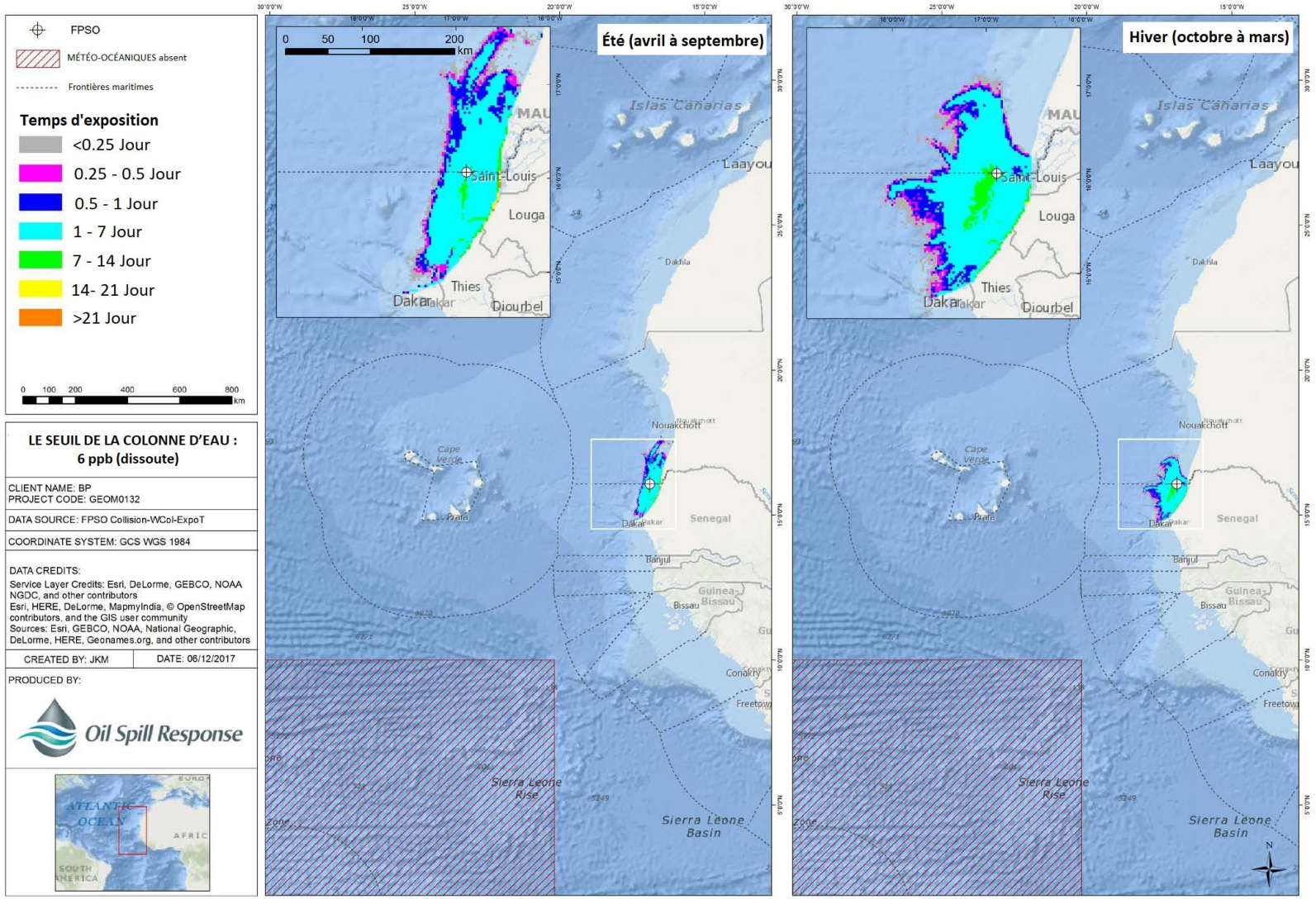


Figure 15: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps maximum d'exposition dans la colonne d'eau (dissous), été (gauche) et hiver (droite)

Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO

Cartes de la colonne d'eau

Concentrations totales

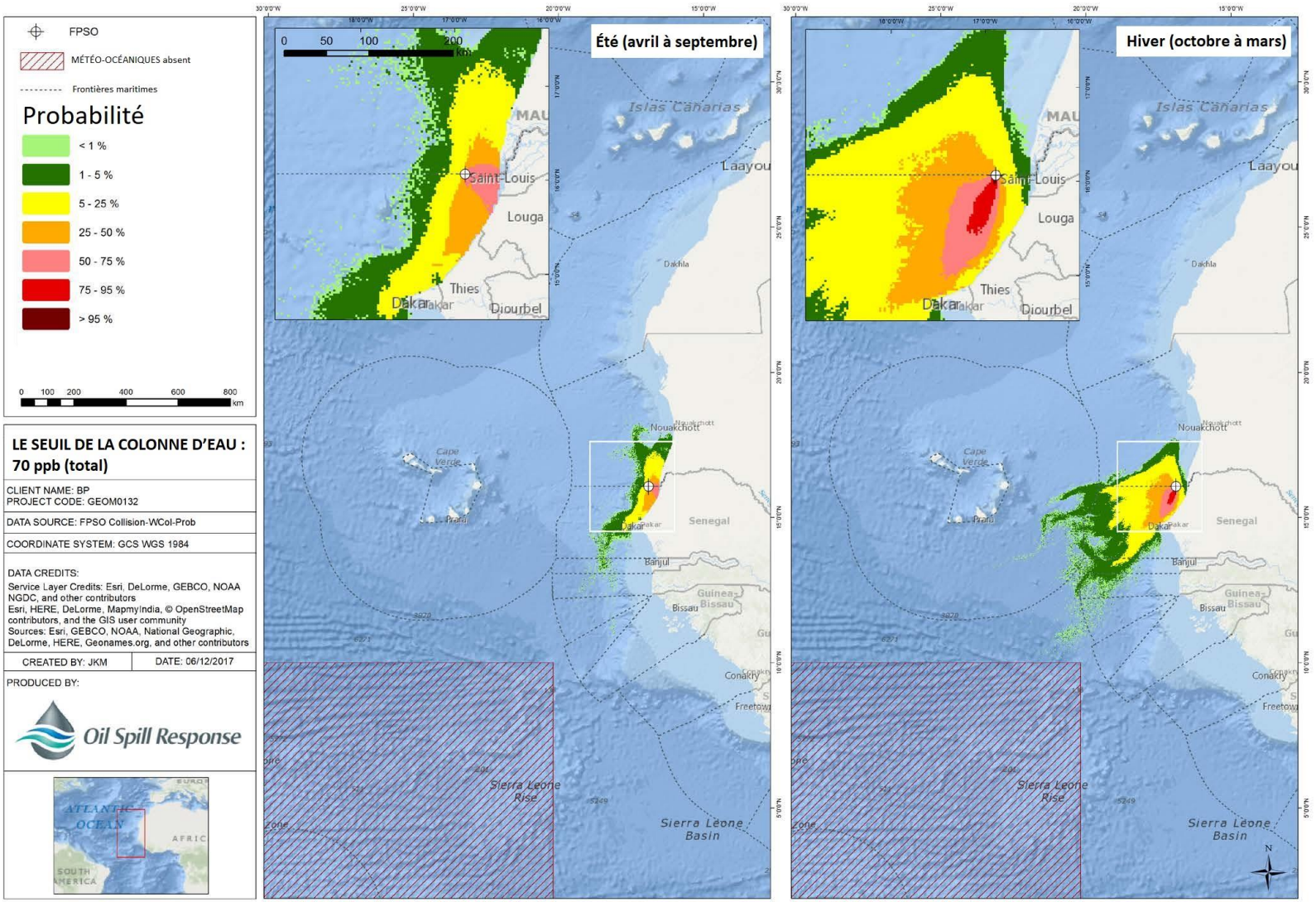


Figure 16: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, probabilité d'impact de la colonne d'eau par cellule (total), été (gauche) et hiver (droite)

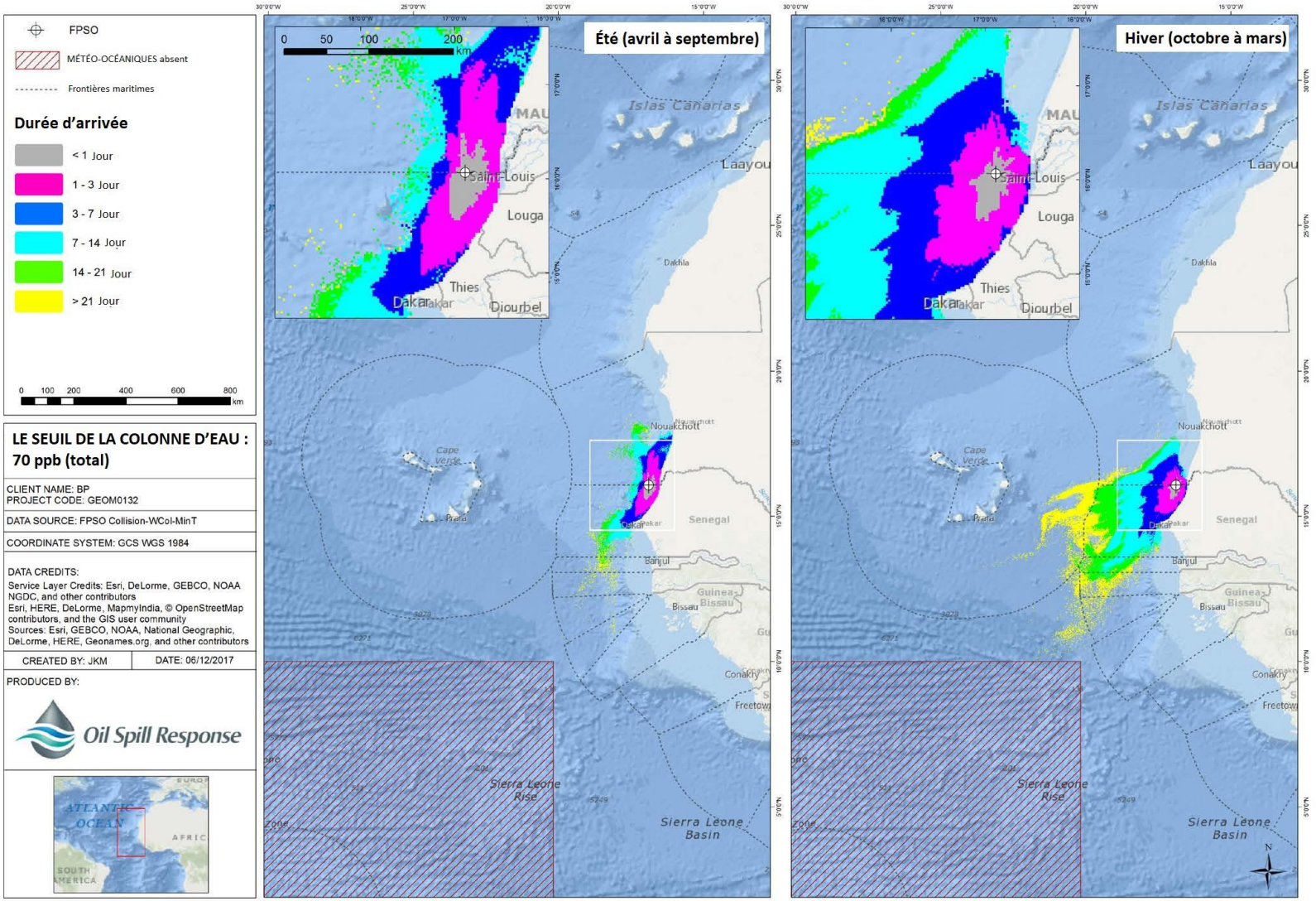


Figure 17: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps minimum d'arrivée dans la colonne d'eau (total), été (gauche) et hiver (droite)

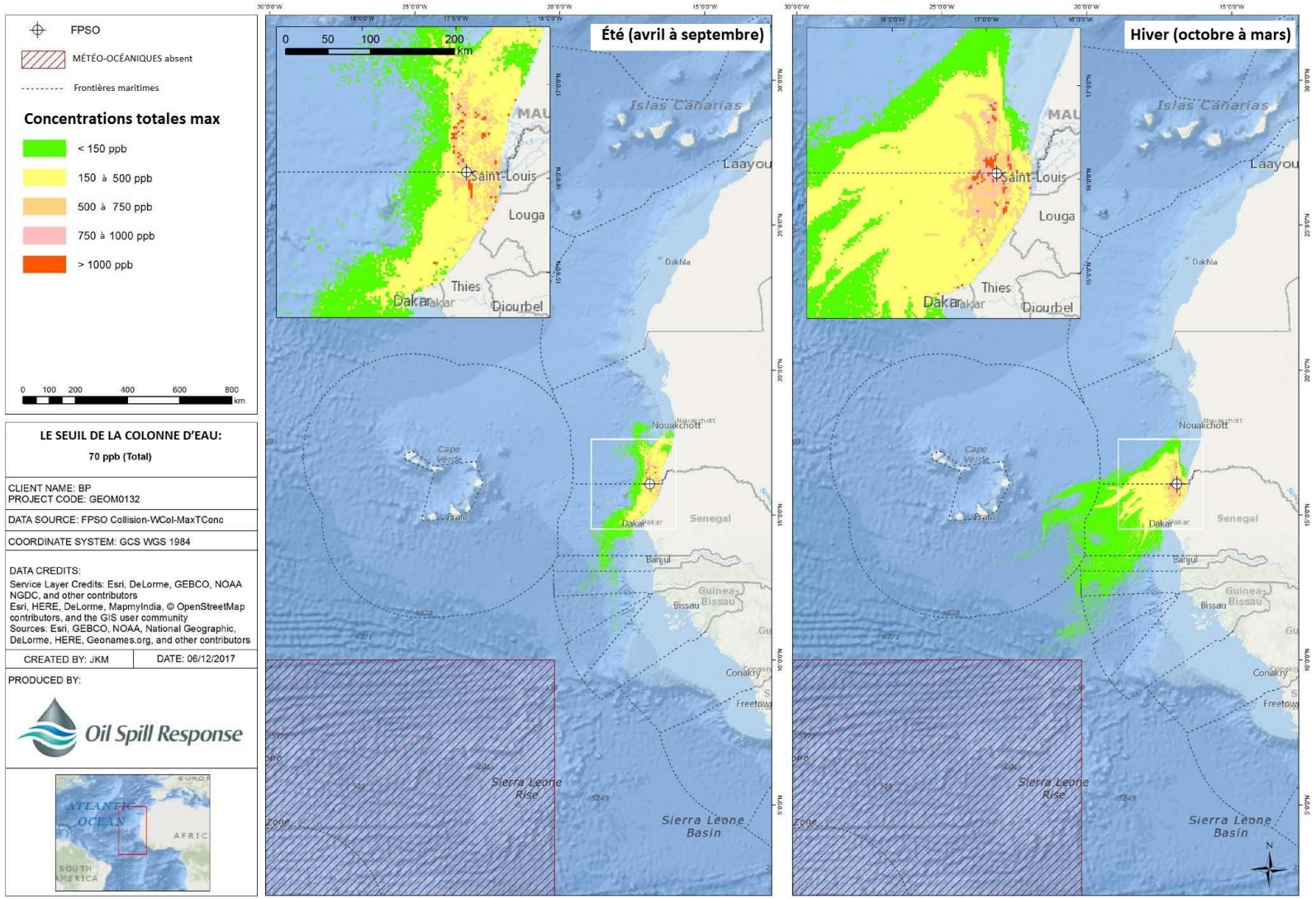


Figure 18: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, concentrations dans la colonne d'eau (total), été (gauche) et hiver (droite)

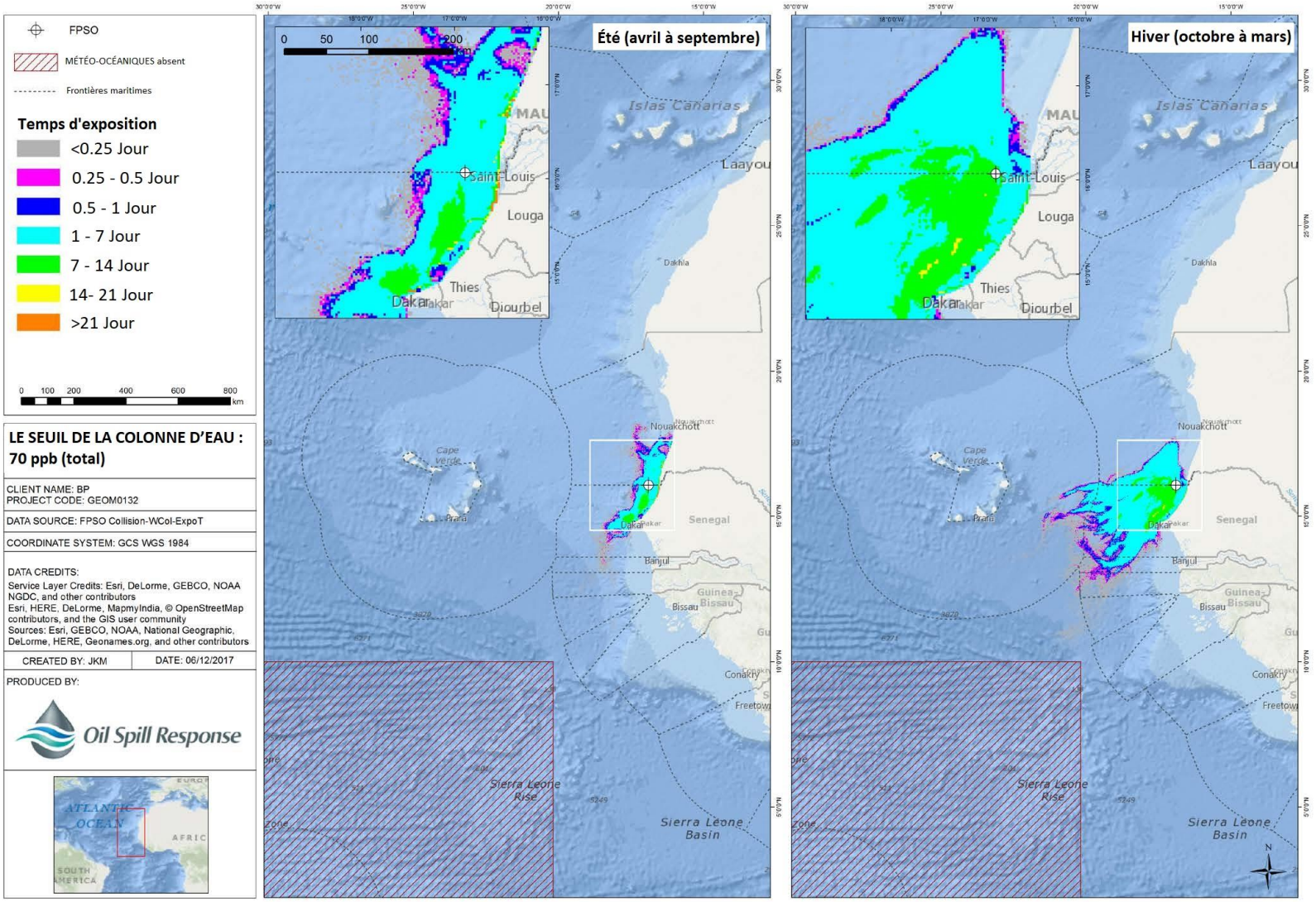


Figure 19: Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO, temps maximum d'exposition dans la colonne d'eau (total), été (gauche) et hiver (droite)

2.2 Comparaison entre l'hiver et l'été

Le Tableau 9 résume les résultats des simulations aléatoires pour chaque scénario au large du Sénégal. Pour plus d'informations sur les seuils utilisés lors du traitement ultérieur des données, voir la section 1.4.

Tableau 10: Résumé des résultats stochastiques

Résumé de la modélisation du déversement d'hydrocarbure		
Description/scénario du déversement	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO - Été	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO - Hiver
Traverse une frontière maritime		
Cap Vert	< 1 % 35 jours, 9 heures	71 % 15 jours, 3 heures
Guinée-Bissau	6 % 27 jours, 9 heures	8 % 33 jours, 15 heures
Mauritanie	85 % < 1 heure	88 % < 1 heure
Sénégal	100 % < 1 heure	100 % < 1 heure
Gambie	12 % 12 jours, 21 heures	60 % 9 jours, 6 heures
Impact sur le littoral		
Mauritanie	57 % 1 jour, 18 heures	2 % 2 jours, 12 heures
Sénégal	100 % 1 jour, 14 heures	82 % 2 jours, 4 heures
Pire des cas d'impact sur le littoral		
Masse d'hydrocarbures sur les côtes	20 121 t	21 536 t
Volume d'hydrocarbures sur les côtes	25 502 m^3	27 295 m^3
Teneur en eau	0 %	0 %
Volume d'émulsion sur les côtes	25 502 m^3	27 295 m^3

Résumé de la modélisation du déversement d'hydrocarbure		
Description/scénario du déversement	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO - Été	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir à diesel du FPSO - Hiver
Zones d'intérêt pour la conservation		
Canyon de Kayar	34 % 2 jours, 21 heures	98 % 2 jours, 12 heures
AMP de Kayar	33 % 2 jours, 21 heures	76 % 3 jours
Complexe du Kayar Seamount	9 % 10 jours	79 % 3 jours, 3 heures
Réserve naturelle de Chat Tboul	14 % 4 jours, 6 heures	- -
Zone d'habitats côtiers et néritiques MRP extrême nord	70 % 1 jour, 9 heures	5 % 2 jours, 0 heures
Récifs en eau froide	12 % 2 jours, 9 heures	7 % 10 jours, 3 heures
Zone Conv Canaries Guinée EBSA	15 % 6 jours, 3 heures	65 % 5 jours, 6 heures
Faille N Sénégal IBA	100 % 3 heures	100 % 3 heures
AMP Saint Louis	88 % 12 heures	33 % 18 heures
Système du canyon de Timris	- -	< 1 % 35 jours, 12 heures

2.3 Pire scénario de déversement d'hydrocarbures

Les résultats de trajectoire sont générés par la simulation d'un scénario de déversement unique dans des conditions particulières à une date donnée. La trajectoire « la plus défavorable » a été choisie à partir de chaque groupe de trajectoires composant la stochastique, pour étudier plus en détail le devenir et le comportement des hydrocarbures au cours de la simulation.

Dans le présent rapport, les trajectoires les plus défavorables sont définies comme suit :

- La trajectoire permettant à la **plus grande quantité d'hydrocarbures d'atteindre la côte**

Tableau 11: Principaux résultats du scénario 1

		TrajSim(108) Été	TrajSim(32) Hiver
Configuration du modèle	**Localisation du déversement**	Tortue Phase-1 FPSO	
	Masse totale déversée	136 522,4 t	
Premier impact sur le littoral		3 jours, 6 heures	2 jours, 12 heures
Masse maximale des hydrocarbures sur les côtes		20 121 t	21 536 t
Délai sous lequel la masse maximum d'hydrocarbures a atteint la côte		28 jours	31 jours, 9 heures

Les figures suivantes sont présentées :

Trajectoire de la majeure partie des nappes d'hydrocarbures vers les côtes

Figure 20: Graphe de bilan de masse pour une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO pendant l'été

Figure 21: Tracé de bilan de masse pour une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO pendant l'hiver

Figure 22: Superficie totale impactée par une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 23: Concentration maximale dissoute globale, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 24: Concentration totale maximale globale, été (gauche) et hiver (droite)

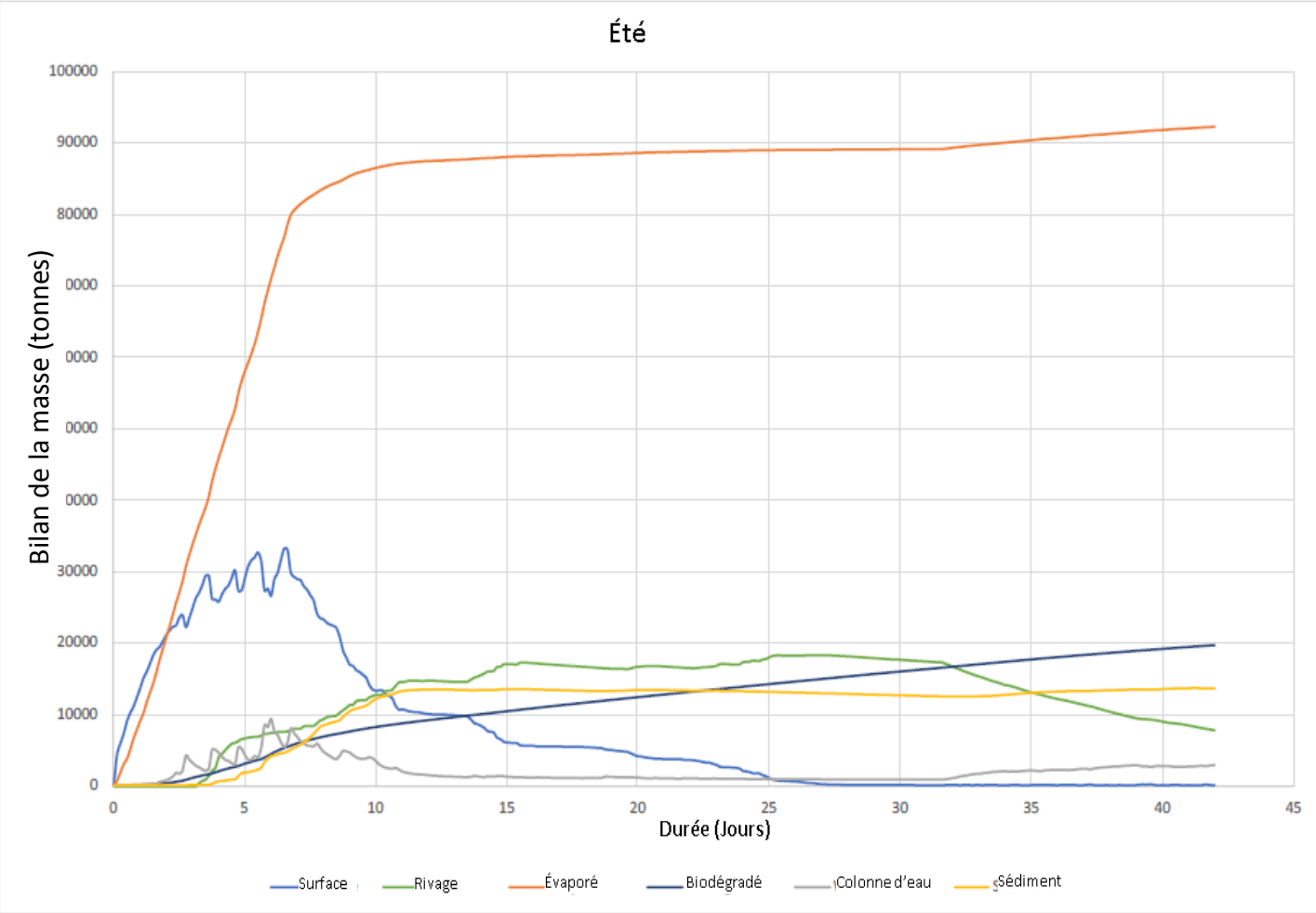


Figure 20 : Graphe de bilan de masse pour une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO pendant l'été

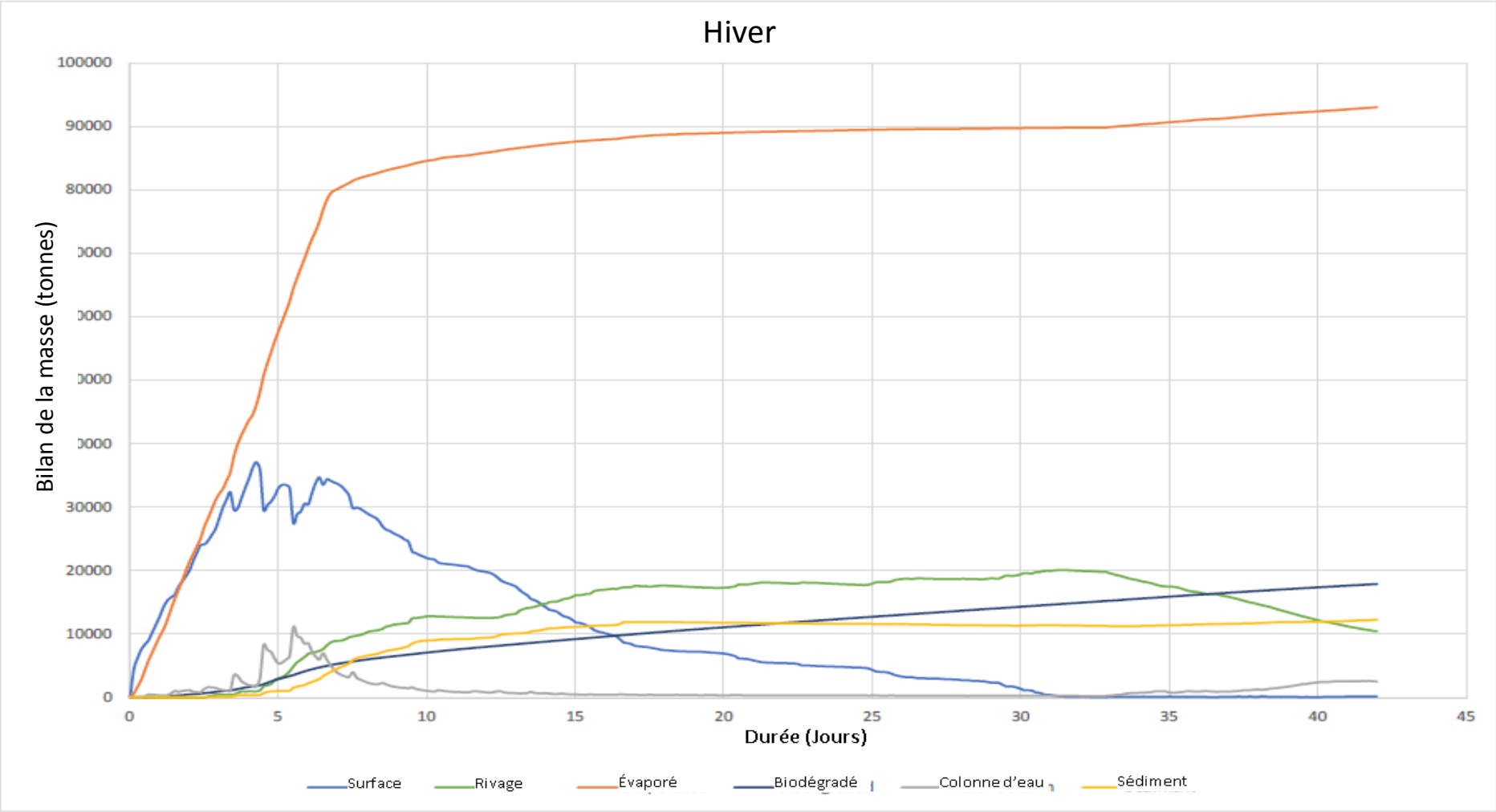


Figure 21 : Graphe de bilan de masse pour une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO pendant l'hiver

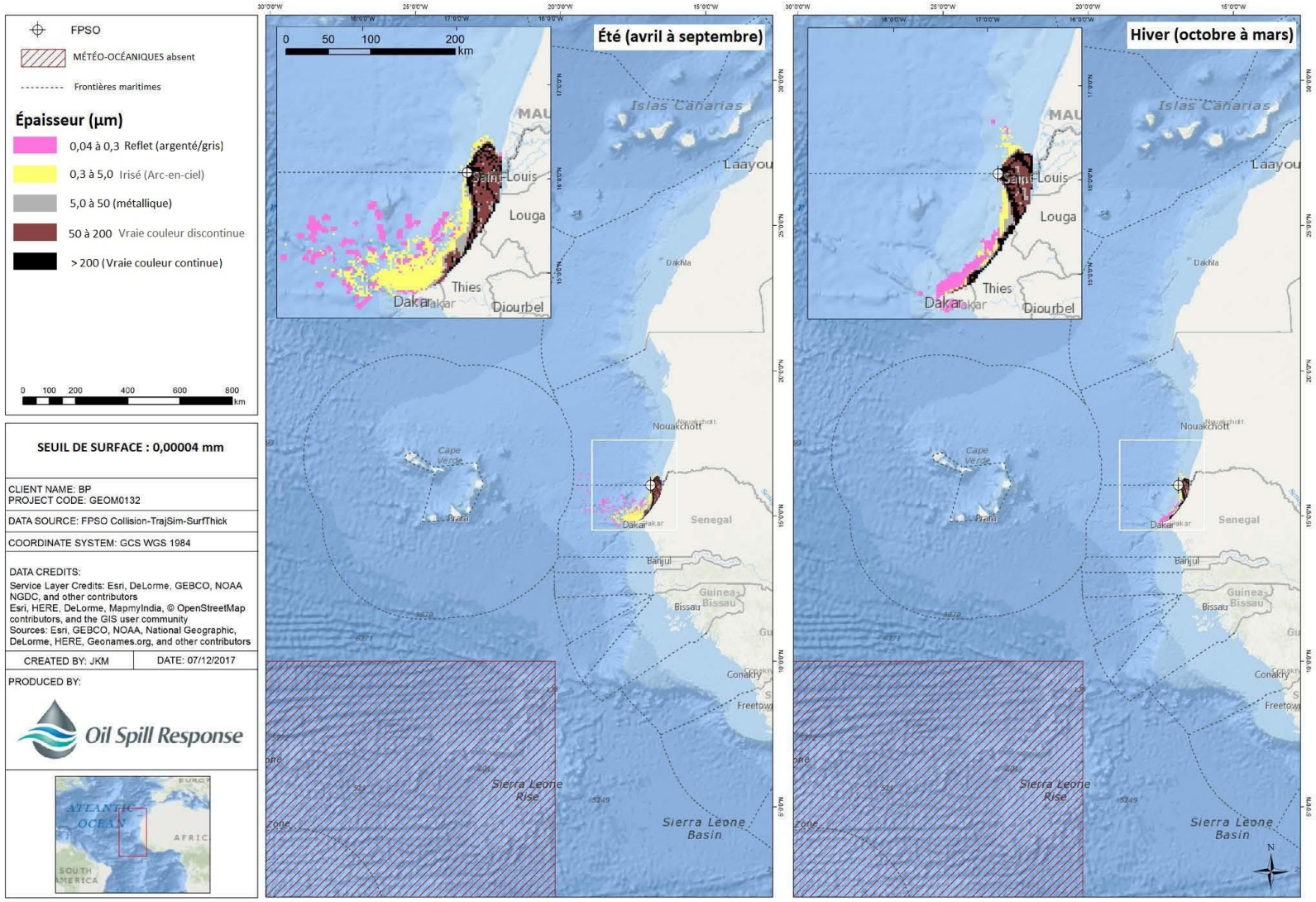


Figure 22 : Ensemble de la zone touchée pour une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO, été (gauche) et hiver (droite)

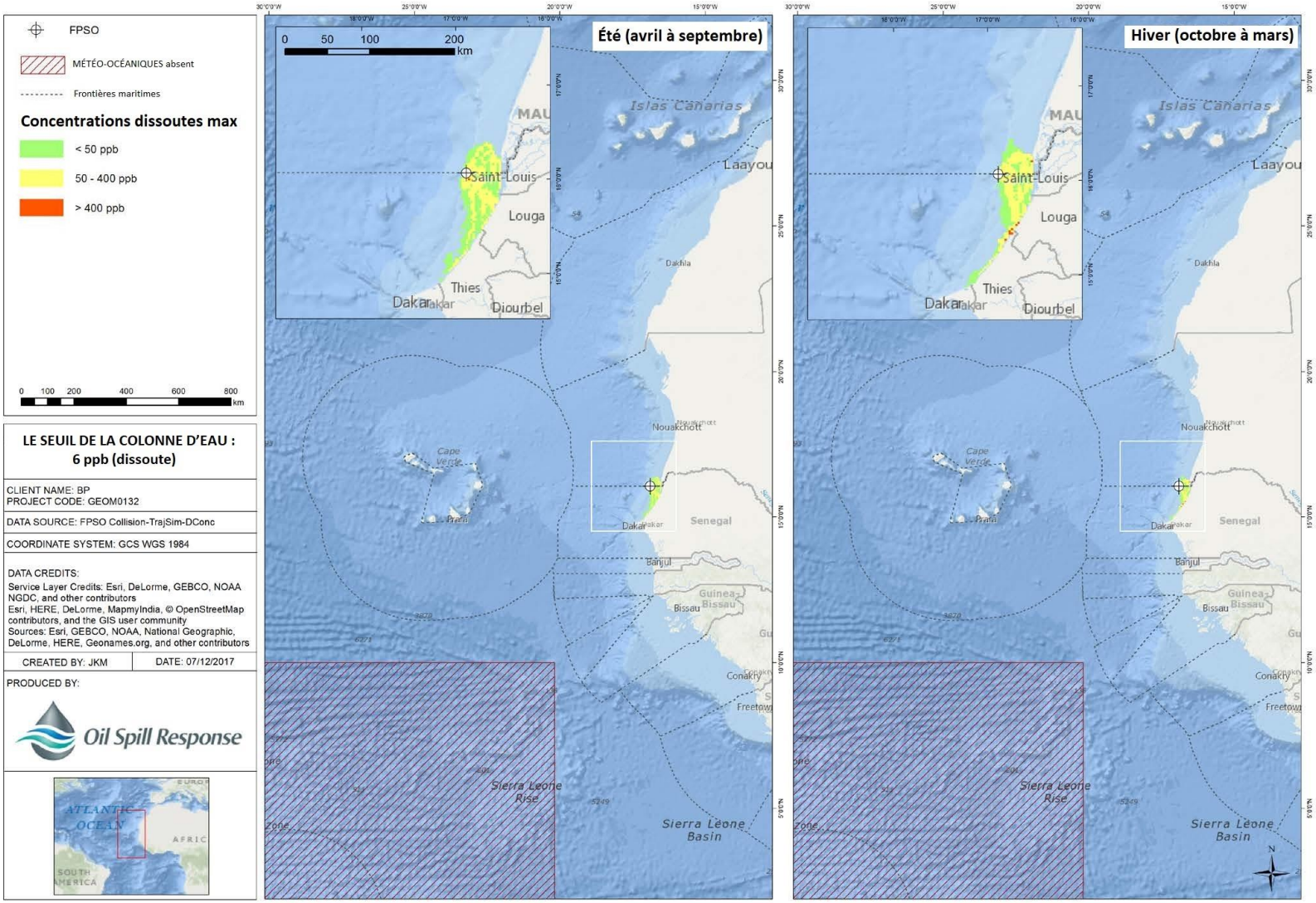


Figure 23 : Concentration maximale dissoute globale, été (gauche) et hiver (droite)

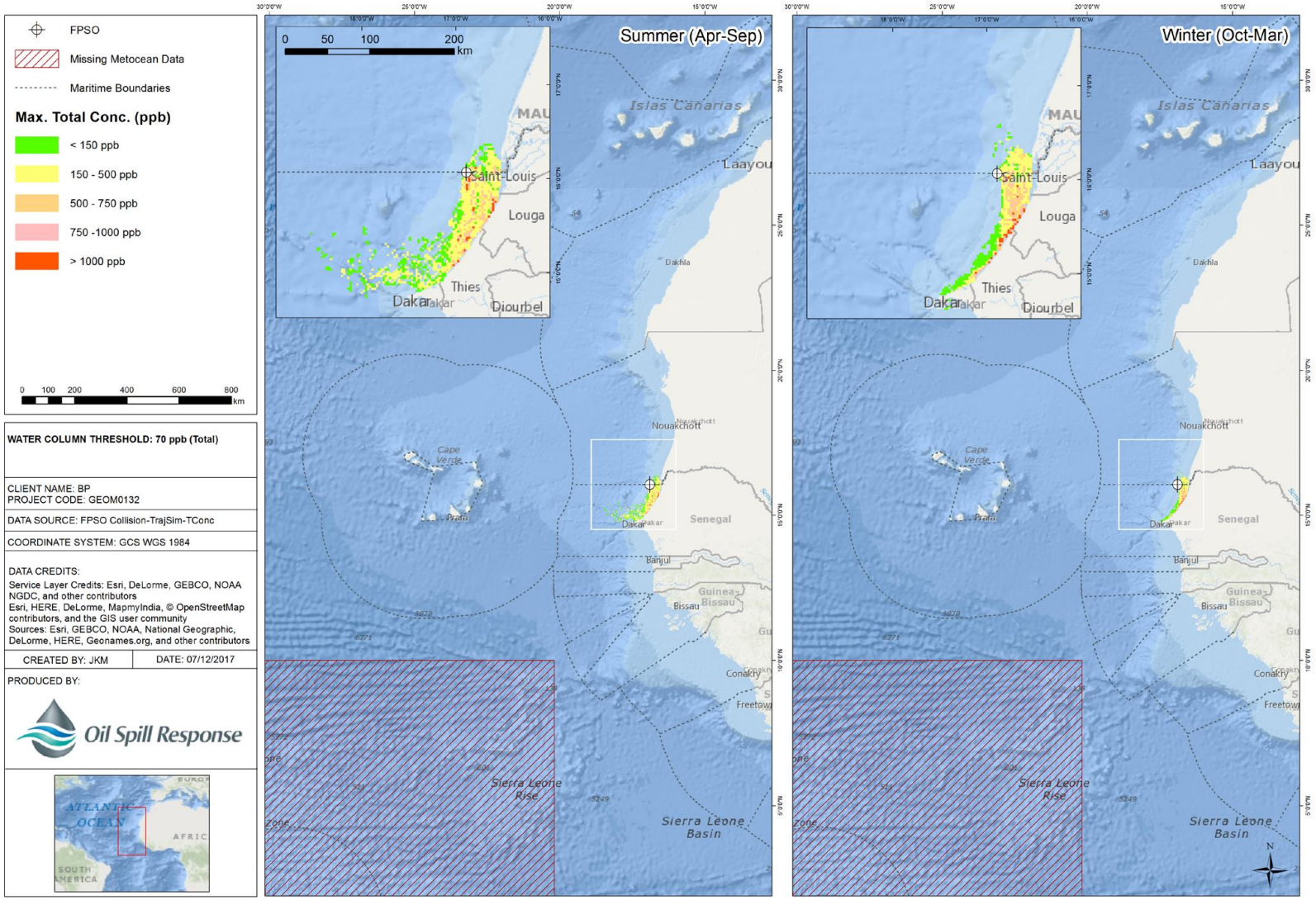


Figure 24 : Concentration totale maximale globale, été (gauche) et hiver (droite)

3 Conclusion

Un scénario a été modélisé pour le projet Tortue Phase 1a au large du Sénégal et de la Mauritanie. Il s'agissait du déversement de 160 000 m^3 de condensat pendant plus de 160 heures et 3200 m^3 de diesel pendant plus de 3,2 heures, en raison d'une défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO, suite à une collision de navire.

3.1 Impact sur le littoral

Un déversement à cet endroit, à environ 40 km de la côte, a une probabilité de 100% d'avoir un impact considérable sur le littoral (pollution légère ou plus importante) si le déversement survient en été et de 82% d'avoir un impact sur le littoral s'il survient en hiver. La Mauritanie et le Sénégal sont les deux seuls pays à risquer un impact sur le littoral, mais le Sénégal risque d'être plus sévèrement touché.

Été

Des deux saisons, l'été présente un risque plus élevé pour le littoral.

Dans le pire des cas, un déversement en été peut impacter la côte en 1 jour et 14 heures après le déversement. Toutefois, il y a 10 % de chance que le condensat et le diesel n'atteignent pas la côte dans les 4 jours et, dans le meilleur des cas, qu'ils n'atteignent pas la côte avant 8 jours.

De même, la sévérité de l'impact sur le littoral pendant l'été varie entre environ 1 000 t dans le meilleur des cas, et plus de 20 000 t dans le pire des cas. Il y a une probabilité de 50 % que plus de 9500 t puissent s'échouer.

On estime que l'impact pendant les mois d'été serait au minimum modéré. De plus, il y a une probabilité de 22 % d'impact « fort » du littoral. Spatialement, on estime que seuls quelques kilomètres seraient impactés de manière forte, mais jusqu'à 323 km pourraient être impactés de manière modérée.

Hiver

Des deux saisons, l'hiver présente un risque moins élevé pour le littoral.

Dans le pire des cas, un déversement en hiver peut impacter la côte en un peu plus de 2 jours après le déversement. Toutefois, les similitudes entre l'été et l'hiver s'arrêtent là, car il y a une probabilité de 50 % de chance que le condensat et le diesel n'atteignent pas la côte dans les 5 jours environ et, dans le meilleur des cas, qu'ils n'atteignent pas du tout la côte.

De même, la sévérité de l'impact sur le littoral pendant l'hiver varie entre un impact négligeable (probabilité de 18 %) dans le meilleur des cas, et plus de 21 000 tonnes dans le pire des cas.

Il y a une probabilité de 69 % d'un impact modéré de la côte et de 14 % d'impact léger, aucun impact fort du littoral n'est attendu. Spatialement, on estime que près de 25 km seraient impactés de manière modérée, mais jusqu'à 363 km pourraient être impactés de manière modérée dans le pire des cas.

3.2 Impact en surface

Les eaux du Sénégal sont plus susceptibles d'être touchées par ce scénario de déversement, mais dans certains scenarios la Mauritanie pourrait ne pas être impactée en raison d'un courant circulant vers le sud. Les eaux du Cap-Vert, de la Guinée-Bissau et de la Gambie sont également à risque dans les deux scénarios d'été et d'hiver.

Les eaux du Sénégal et de la Mauritanie pourraient connaître un déversement avec une épaisseur en surface de plus de 5 µm, les rendant éligibles aux techniques de confinement et de récupération. Les eaux des autres pays voisins peuvent présenter un reflet d'hydrocarbures à la surface de l'eau, mais pas sur une épaisseur susceptible d'être suffisante pour le confinement et la récupération.

ANNEXE A. DONNÉES D'ENTRÉE FOURNIES AU MODÈLE

	Scénario 1	Scénario 2
Description	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO - Été	Défaillance du réservoir de stockage et du réservoir de diesel du FPSO - Hiver
Latitude	16° 04' 00.0732" N	16° 04' 00.0732" N
Longitude	016° 53' 09.2260" W	016° 53' 09.2260" W
Période de l'année	avril à sept.	oct. à mars
Profondeur du déversement	Surface (0 m)	
Débit de déversement	1000 m^3/h	
Durée du déversement	3,2 heures : diesel 160 heures : condensat	
Durée après l'arrêt	35 jours	
Durée du modèle totale	42 jours	
Type d'hydrocarbure	Diesel	Condensat
Gravité API	36,4	47,8
Densité relative	0,843	0,789
Viscosité (cP)	3,9	2,0
Point d'écoulement (°)	-36,0	-6,0
Paraffine (%)	-	6,00
Asphaltène (%)	-	-
Diamètre de l'ouverture de déversement (m)	sans objet	
Rapport gaz/pétrole (GOR, Sm^3/m^3)	sans objet	
Densité du gaz (kg/Sm^3)	sans objet	

ANNEXE B. DONNÉES MÉTÉO-OCÉANIQUES

Tableau 12: Données relatives au courant marin : description générale

Nom	G0132-Curr01		
Description	Source provenant de BMT ARGOSS. L'ensemble de données consiste en un amalgame des données globales HYCOM avec la superposition du modèle d'étude des marées BMT ARGOSS		
Date de commencement	Janvier 2009	**Résolution spatiale**	env. 9 km
Date de fin	Décembre 2011	**Résolution temporelle**	1 heure
Niveaux de profondeur [m]	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500		

La base de données hydrodynamique est conçue à partir des champs de vitesse du courant en 3D, adaptés à un usage au sein de simulations de modèle pétrolier. Cela comprend les courants océaniques (résiduels non soumis aux marées) d'un modèle de circulation océanique mondiale, combinés aux vitesses des courants de marée.

L'information sur les courants de marée est obtenue de BMT ARGOSS grâce à l'intégration d'environ 5 000 stations marémotrices et de 15 ans d'altimètre radar satellite dans des modèles de marées mondiales et régionales (modèle 2DH). Le modèle de marée fournit les courants de marée (composants u, v) ainsi que l'élévation de la surface. La résolution spatiale du modèle de marée varie de 1/60 à 1/12 de degré à l'échelle mondiale.

La structure verticale de la composante du courant de marée est définie à l'aide d'un profil d'algorithme qui fournit une représentation fiable des courants de marée à différentes profondeurs dans les mers épicontinentales. Le modèle de marée fournit des données à une résolution spatiale de 4 minutes dans la zone d'intérêt et peut être fourni en pas de temps selon les besoins du client.

Les courants océaniques sont obtenus à partir d'un modèle mondial des courants océaniques (HYCOM), qui présente les caractéristiques suivantes :

Résolution spatiale : 1/12 de degré (ne peut pas être affinée davantage)

Résolution temporelle : quotidien (ne peut pas être affinée davantage, sauf par interpolation)

Types de données : direction et vitesse du courant en 3D

Profondeur : les ensembles de données 3D se composent de 33 couches de profondeur, depuis la surface jusqu'au fond de la mer, et réparties au sein de la colonne d'eau. Les couches individuelles et leur répartition sur la colonne d'eau varient et dépendent de la profondeur locale.

Disponibilité : 2009 à 2012

Les données résultantes, représentatives de la vitesse totale du courant, sont fournies sous forme de vecteurs de courant horaire, à des niveaux de profondeur choisis, à une résolution spatiale de 1/12 de degré dans la zone d'intérêt. Il est à noter que dans les eaux profondes, au-delà du talus continental, la vitesse du courant de marée serait négligeable.

Des résolutions temporelles d'une heure sont considérées comme étant optimales car des résolutions temporelles plus grossières ne permettraient pas de saisir correctement la variabilité des données dans les régions où les courants de marée constituent une composante clé du courant total.

Tableau 13: Données relatives au vent : description générale

Nom	G0132-Wind01		
Description	Source provenant de BMT ARGOSS. L'ensemble de données est constitué de l'ensemble de données globales du NCEP CFRS, étalonné par BMT ARGOSS en fonction des mesures de l'altimètre satellite et du diffusiomètre.		
Date de commencement	Janvier 2009	**Résolution spatiale**	env. 35 km
Date de fin	Décembre 2011	**Résolution temporelle**	3 heures
Niveau d'altitude	L'ensemble de données comprend des valeurs horaires moyennes de la vitesse du vent à 10 m au-dessus du niveau de la mer.		

Les vents sont fournis sous forme de valeurs moyennes horaires des composantes de vitesse Nord et Est à 10 m au-dessus du niveau de la mer. Les données proviennent de l'ensemble de données globales du NCEP, calibrées par BMT ARGOSS en fonction des mesures de l'altimètre satellite et du diffusiomètre. Les données sources sont disponibles à une résolution spatiale de 0,5° x 0,5° et à 3 pas de temps horaires.

ANNEXE C. MAILLAGE DE L'HABITAT

Tableau 14: Détails du domaine de l'habitat

Nom	Étendue du domaine			
G0132-Hab02	Bas	Haut	Gauche	Droite
	05° 00' 00'' N	25° 00' 00'' N	030° 00' 00'' W	010° 00' 00'' W
	Nombre de cellules		Résolution de cellule	
	858	888	2 500 km	2 500 km
	Taille du domaine			
	Est à Ouest		Nord à Sud	
	2 145 km		2 220 km	

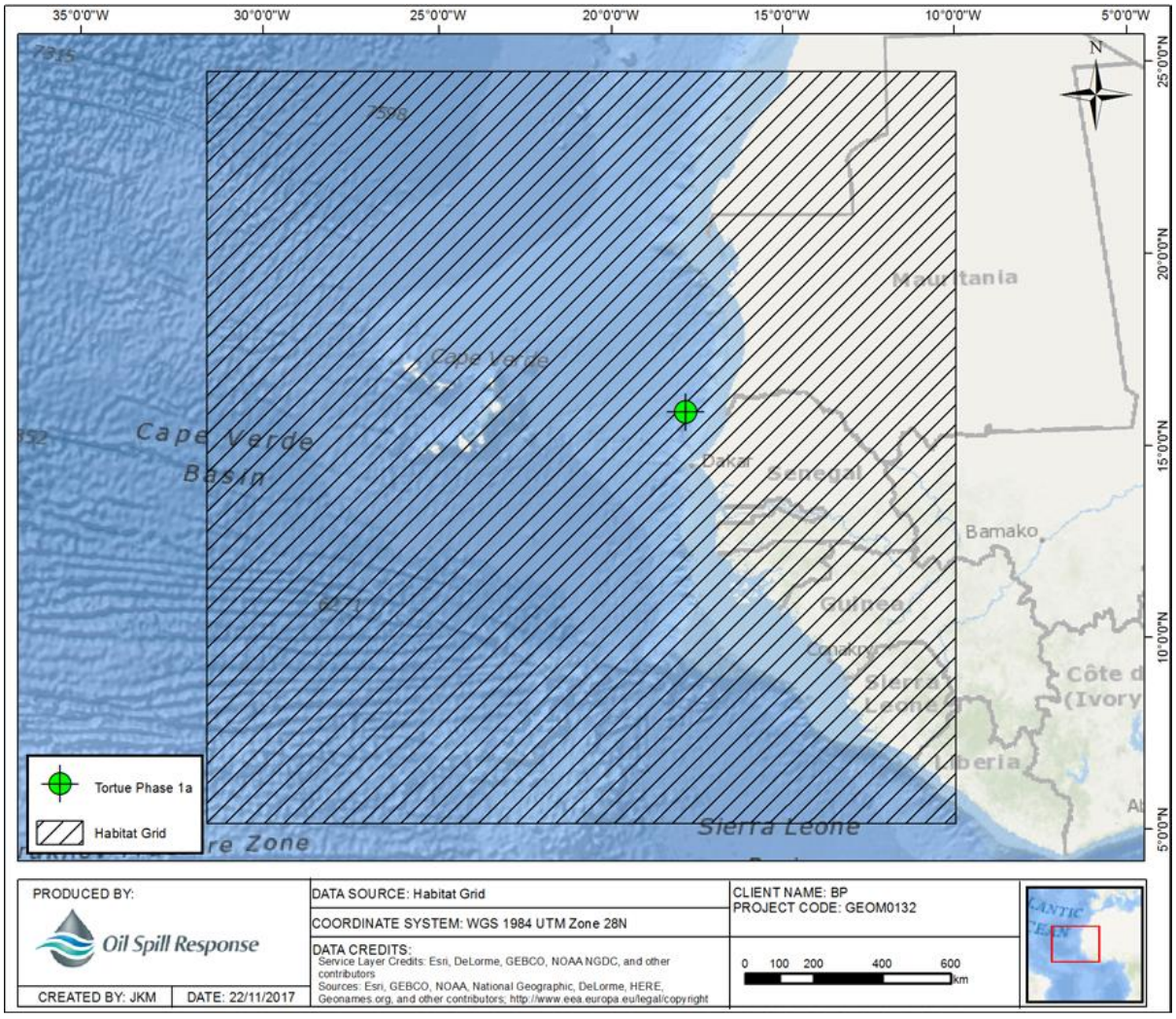


Figure 25: étendue du maillage de l'habitat utilisé dans cette étude

ANNEXE D. CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES

Les composants présents dans le pétrole sont classés en deux groupes principaux : les hydrocarbures et les non-hydrocarbures (voir Figure 26). Si le pétrole est riche en alcanes C1-12, il est particulièrement léger car il contient des composants plus légers que les alcanes C25+. Inversement, le pétrole est dit « lourd » lorsqu'il contient de grandes quantités d'alcanes C25+, de résines et d'asphaltènes.

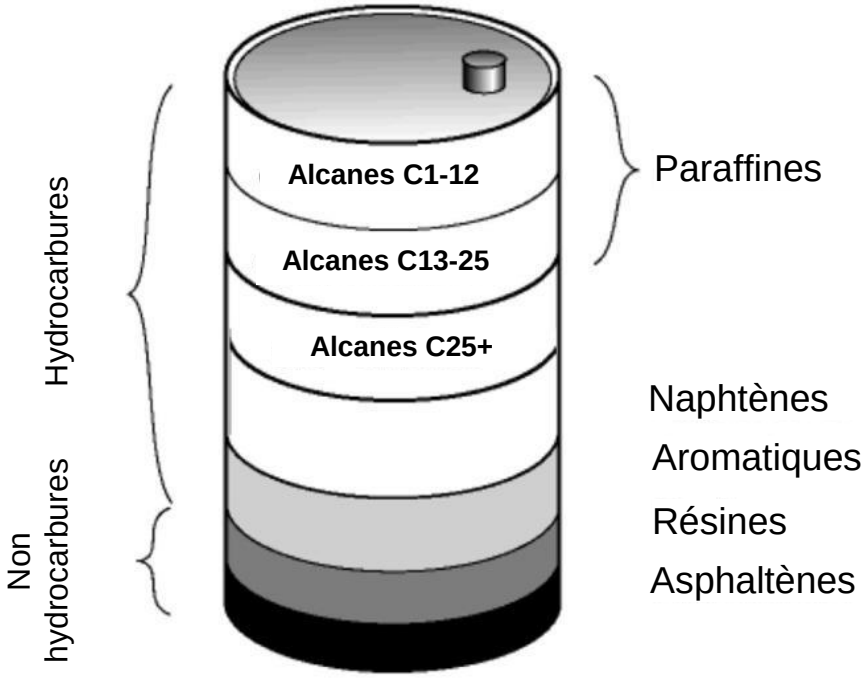


Figure 26: composition chimique du pétrole brut

La composition chimique du pétrole est importante pour prédire sa dégradation ou sa résilience. Par exemple, le pétrole contenant des composants essentiellement légers risque de perdre un volume plus important à cause de l'évaporation que le pétrole lourd. Les pétroles ayant des chaînes carbonées supérieures à 15 (C15+) ne peuvent pas s'évaporer, même lors de grosses tempêtes. Les chaînes longues (par exemple, les alcanes C25+) mettent un certain temps à se dégrader dans la colonne d'eau. Les asphaltènes peuvent augmenter la stabilité du pétrole, lui permettant d'absorber l'eau, mais empêchant l'émulsion pétrole-eau de se décomposer.

Comme le pétrole est un mélange complexe de composés organiques, ses composants doivent être analysés pour le définir avec succès (LECO Corporation, 2012). Les composants de l'huile peuvent être « identifiés » et représentés à l'aide d'instruments de chromatographie en phase gazeuse qui sont couplés à des spectromètres de masse (voir Bacher, 2014, pour plus d'informations). Les résultats de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse sont convertis en une liste de 25 sous-composants, répartis dans la base de données pétrolières OSCAR. Chacun des 25 sous-composants se caractérise par un poids moléculaire, une densité, une viscosité, une température d'ébullition, une solubilité dans l'eau, une pression de vapeur et un coefficient de partage entre pétrole et eau.

La base de données des types d'hydrocarbures OSCAR

La force du modèle OSCAR réside dans sa base de données d'observation des propriétés d'altération du pétrole (teneur maximale en eau, viscosité, distribution granulométrique des gouttelettes, évaporation, émulsification et dispersion, données mesurées dans un large éventail de conditions). La base de données pétrolière contient des renseignements complets sur l'altération de 340 pétroles bruts et produits pétroliers. Il contient également des données d'analyse du brut pour environ 170 autres pétroles bruts (dérivées de la base de données HPI : HPI, 1987). Mais ces pétroles n'ont pas été testés en laboratoire, les estimations du modèle quant au processus d'altération sont donc utilisées à la place des données d'observation. Ceci réduit la fiabilité du modèle.

Appariement des pétroles

Deux pétroles testés en laboratoire ont été sélectionnés pour cette étude de modélisation basée sur les informations fournies par BP.

Les propriétés des pétroles modélisés sont indiquées dans les tableaux 14 et 15. Les figures 30 et 31 référencent les sous-composants des pétroles modélisés et leur fraction de pourcentage.

Tableau 15: Propriétés du diesel modélisé

Nom	Densité relative	Viscosité (cP)	Point d'écoulement[3]* (°C)	Teneur en paraffine (%)	Asphaltène (%)
Diesel client	0,843	3,9	-36,0	-	-
Diesel modélisé	0,843	3,9	-36,0	-	-

Tableau 16: Propriétés du condensat modélisé

Nom	Densité relative	Viscosité (cP)	Point d'écoulement[3]* (°C)	Teneur en paraffine (%)	Asphaltène (%)
Condensat client	0,735	1,0	< -36,0	3,0 à 5,0	0
Condensat modélisé	0,789	2,0	-6,0	6,00	-

[3]En raison des algorithmes dans le modèle, le point d'écoulement est de moindre importance lors de l'appariement des échantillons d'hydrocarbures.

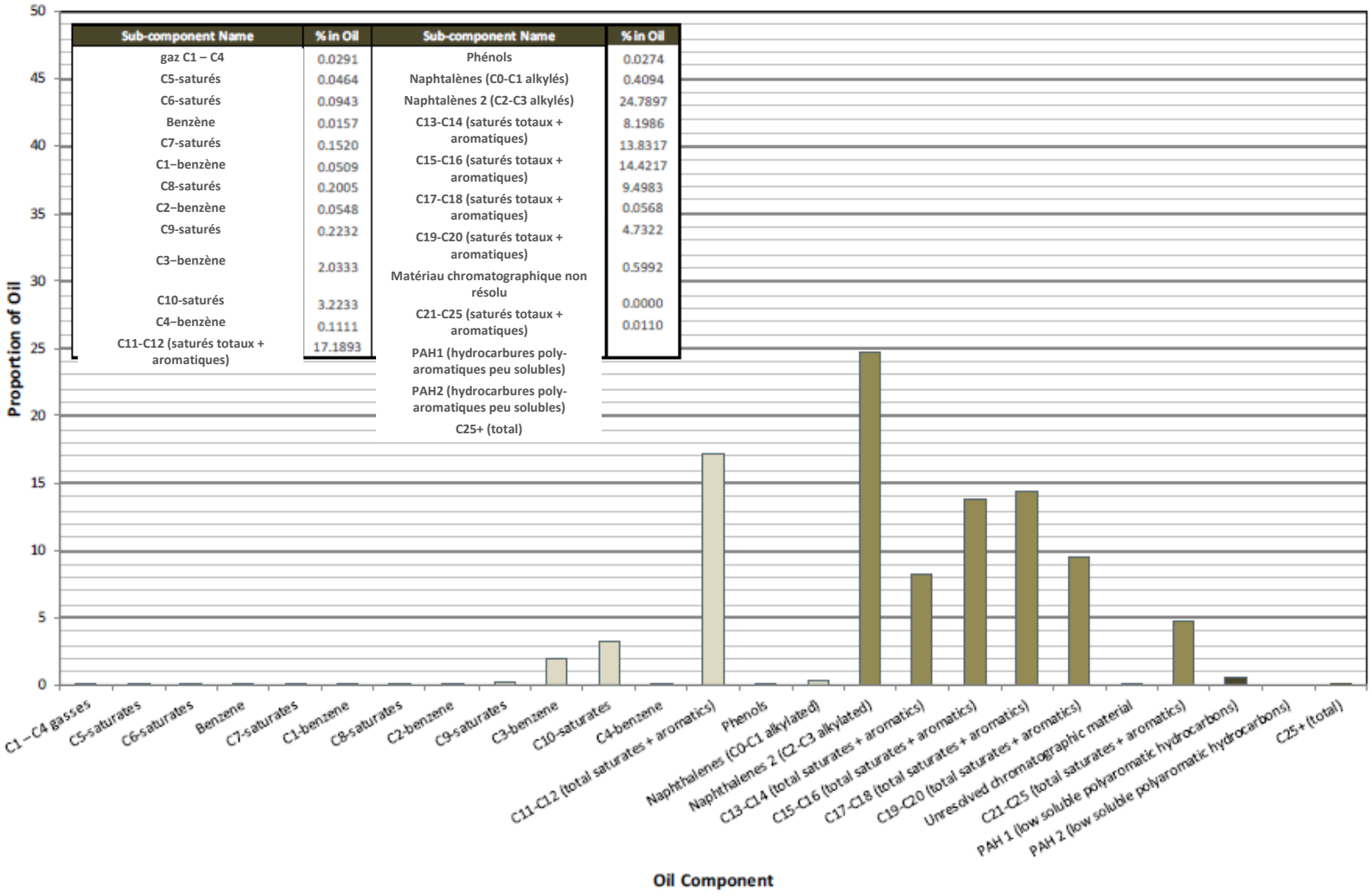
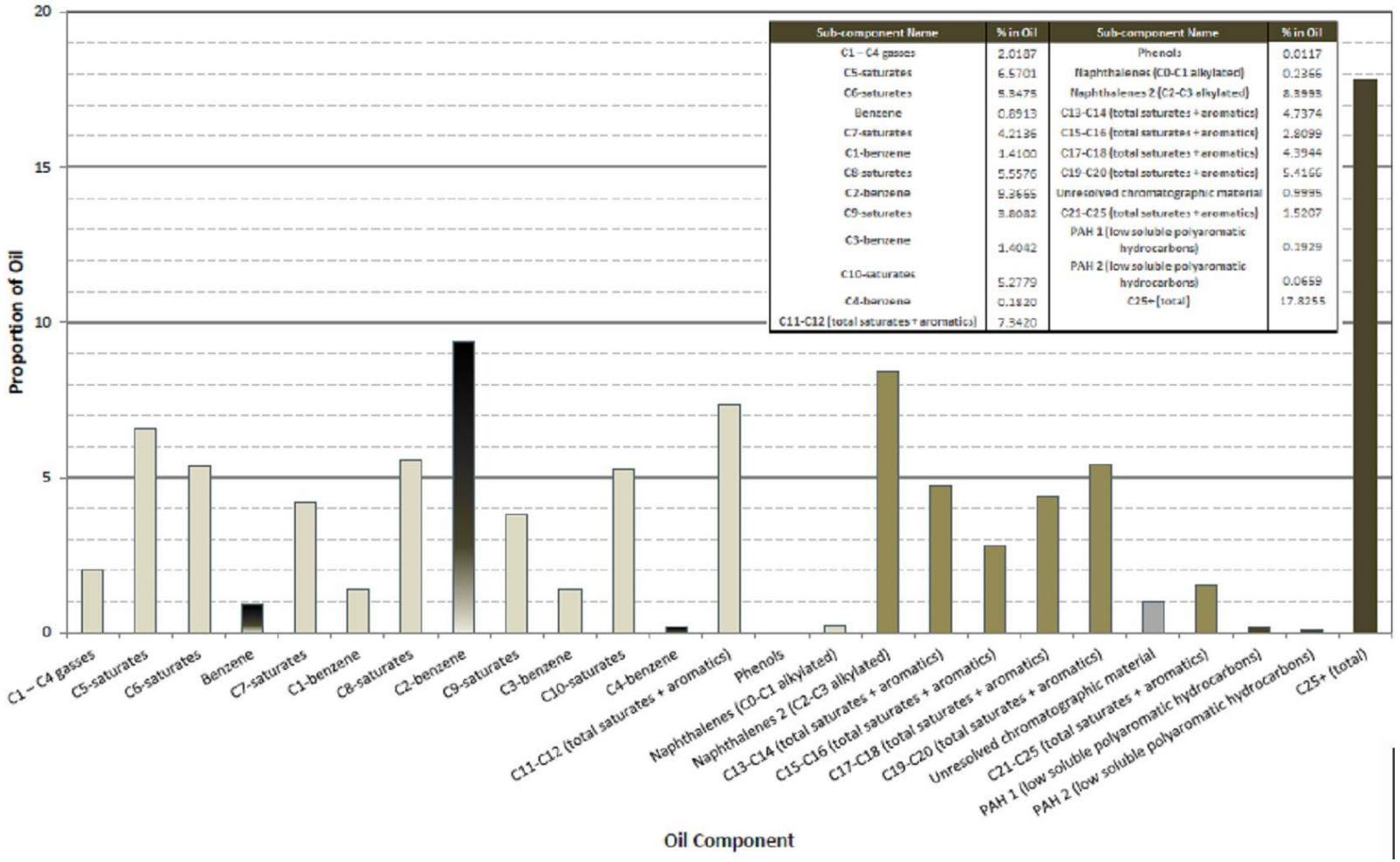


Figure 27: composition chimique du diesel modélisé



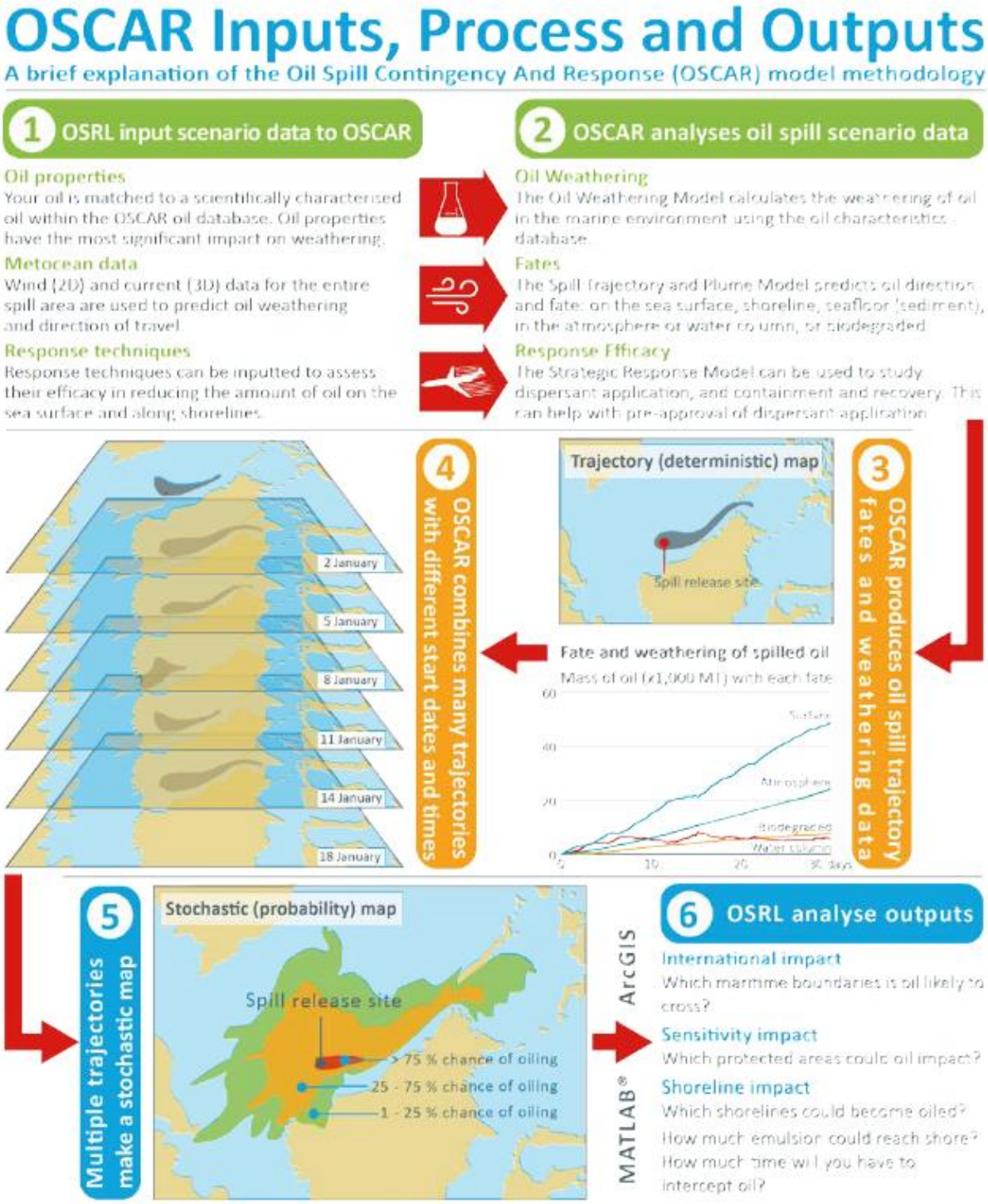
Sub-component Name	% in Oil	Sub-component Name	% in Oil
C1 – C4 gasses	2.0187	Phenols	0.0117
C5-saturates	6.5701	Naphthalenes (C0-C1 alkylated)	0.2366
C6-saturates	5.3475	Naphthalenes 2 (C2-C3 alkylated)	8.3998
Benzene	0.8913	C13-C14 (total saturates + aromatics)	4.7374
C7-saturates	4.2136	C15-C16 (total saturates + aromatics)	2.8099
C1-benzene	1.4100	C17-C18 (total saturates + aromatics)	4.3944
C8-saturates	5.5576	C19-C20 (total saturates + aromatics)	5.4166
C2-benzene	9.3665	Unresolved chromatographic material	0.8995
C9-saturates	3.8082	C21-C25 (total saturates + aromatics)	1.5207
C3-benzene	1.4042	PAH 1 (low soluble polyaromatic hydrocarbons)	0.1929
C10-saturates	5.2779	PAH 2 (low soluble polyaromatic hydrocarbons)	0.0659
C4-benzene	0.1820	C25+ (total)	17.8355
C11-C12 (total saturates + aromatics)	7.3420		

Figure 28: composition chimique du condensat modélisé

ANNEXE E. LOGICIEL ET MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

Ce projet a été réalisé à l'aide du modèle OSCAR contenue dans le logiciel MEMW 8.0 (Marine Environmental Modelling Workbench). Ce modèle qui a été entièrement validé et étalonné à l'aide de diverses observations de terrain concernant plusieurs déversements d'hydrocarbures expérimentaux (Reed et al., 1995, 1996).

OSCAR prédit le mouvement des hydrocarbures à la surface de l'eau et dans toute la colonne d'eau. OSCAR consiste en plusieurs modules reliés entre eux qui sont activés au besoin. L'infographie suivante illustre le processus de modélisation OSCAR.


OSCAR Inputs, Process and Outputs
A brief explanation of the Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) model methodology
1 OSRL input scenario data to OSCAR
Oil properties
Your oil is matched to a scientifically characterised oil within the OSCAR oil database. Oil properties have the most significant impact on weathering.
Metocean data
Wind (2D) and current (3D) data for the entire spill area are used to predict oil weathering and direction of travel.
Response techniques
Response techniques can be inputted to assess their efficacy in reducing the amount of oil on the sea surface and along shorelines.
2 OSCAR analyses oil spill scenario data
Oil Weathering
The Oil Weathering Model calculates the weathering of oil in the marine environment using the oil characteristics database.
Fates
The Spill Trajectory and Plume Model predicts oil direction and fate: on the sea surface, shoreline, seafloor (sediment), in the atmosphere or water column, or biodegraded.
Response Efficacy
The Strategic Response Model can be used to study dispersant application, and containment and recovery. This can help with pre-approval of dispersant application.
3 OSCAR produces oil spill trajectory fates and weathering data
Trajectory (deterministic) map
Spill release site
Fate and weathering of spilled oil
Mass of oil (x1,000 MT) with each fate
60
40
20
0
Surface
Atmosphere
Biodegraded
Water column
0
10
20
30 days
4 OSCAR combines many trajectories with different start dates and times
2 January
5 January
8 January
11 January
14 January
18 January
5 Multiple trajectories make a stochastic map
Stochastic (probability) map
Spill release site
> 75 % chance of oiling
25 - 75 % chance of oiling
1 - 25 % chance of oiling
ArcGIS
MATLAB®
6 OSRL analyse outputs
International impact
Which maritime boundaries is oil likely to cross?
Sensitivity impact
Which protected areas could oil impact?
Shoreline impact
Which shorelines could become oiled?
How much emulsion could reach shore?
How much time will you have to intercept oil?

ANNEXE F. GLOSSAIRE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

°C	Degrés Celsius (1,0 °C = 33,8 °Fahrenheit)
µm	Micromètre (1,0 µm = 10-6 m)
API	L'institut américain du pétrole (American Petroleum Institute)
Gravité API	La densité API, comme la densité relative, est un rapport entre les densités de l'hydrocarbure et de l'eau. À la différence de la densité relative, la densité API est utilisée uniquement pour décrire l'hydrocarbure, qu'elle qualifie comme suit : • léger : API > 31,1 • moyen : API entre 22,3 et 31,1 • lourd : API < 22,3 • extra lourd : API < 10,0 La densité API est convertie en densité relative à l'aide de la formule suivante : *densité API* = (141,5/*densité spécifique*) - 131,5 Une valeur API de 10 équivaut à l'eau, donc les hydrocarbures avec un API supérieur à 10 flotteront sur l'eau tandis que les hydrocarbures avec une API inférieures à 10 couleront. Voir également : *Densité relative, API*
ArcGIS	Un système d'information géographique (SIG) utilisé pour présenter les résultats d'OSCAR sur les cartes.
Teneur en asphaltène	Les asphaltènes représentent les composants du pétrole brut qui sont (1) insolubles dans le n-heptane à un taux de dilution de 40 volumes alcane pour 1 volume d'hydrocarbures brut et (2) dissous à nouveau dans le toluène. Les asphaltènes comprennent la part d'hydrocarbures brut la plus élevé en termes de poids moléculaire, de polarité et d'aromaticité.
barils	Barils d'hydrocarbures (une unité de volume). (1,0 barils = 0,15899 m^3 et 1,0 m^3 = 6,2898 barils) La conversion entre la masse et le volume nécessite de connaître la densité du pétrole. Voir également : *tonne, densité API, densité spécifique*
barils/jour	Barils d'hydrocarbures par jour (débit).
Accord de Bonn	L'Accord de Bonn est une norme internationale et un accord sur la façon de caractériser la pollution et d'y répondre. Bien qu'il soit prévu pour la pollution en Mer du Nord (Europe), nombre des normes de caractérisation sont reconnues au niveau international.
FPSO	Unité flottante de production, stockage et déchargement en mer (Floating Production Diesel and Offloading, FPSO) : une installation flottante servant à la production, au traitement et au stockage d'hydrocarbure.
GOR	Rapport gaz/pétrole : rapport entre le débit volumétrique du gaz produit et le débit volumétrique du pétrole. Bien que le GOR soit un rapport, les unités de volume doivent être connues car les volumes de gaz et d'hydrocarbures sont mesurés différemment. Le GOR change selon la température et la pression. Les conditions de mesure du GOR doivent donc être connues.
ITOPF	Fédération internationale des armateurs pétroliers contre la pollution (International Tanker Owners Pollution Federation Limited)
km	Kilomètres (1,0 km = 1000 m) Voir également : *m*

m	Mètres (1,0 km = 1 000 m) Voir également : *µm, km*
MATLAB	Matrix Laboratory : un environnement de calcul numérique multiparadigme et un langage de programmation utilisé dans cette étude pour la manipulation des résultats fournis par OSCAR.
MW	Marine Environmental Modelling Workbench : le logiciel de modélisation développé par SINTEF. Le MEMW consiste en trois modèles : • **DREAM (Modèle d'évaluation de la quantité, des risques et des effets)** • **OSCAR (Modèle de réponse et de contingence en cas de déversement d'hydrocarbure)** • **Modèle ParTrack** Quand ils sont combinés, ces trois modèles permettent de quantifier l'effet environnemental de la plupart des activités de pollution par produits chimiques. Voir également : *OSCAR, SINTEF*
t	tonnes : unité de masse du pétrole. (1,0 t = 1000 kg) La conversion entre la masse et le volume nécessite de connaître la densité API ou la densité relative du pétrole, comme suit : *barils par tonne = 1/[(141,5/ (API + 131,5) x 0,159)* Voir aussi : *barils, densité API, densité spécifique*
NOAA	L'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique : l'agence américaine responsable de l'étude des conditions météorologiques et océaniques
OSCAR	Un modèle et un outil de simulation 3D à la fine pointe de la technologie pour prédire le devenir et les effets des hydrocarbures rejetés dans l'environnement marin. Développé par SINTEF, il est intégré à l'application MEMW. Voir également : *SINTEF, MEMW*
OSRL	Oil Spill Response Limited
Point d'écoulement	Le point d'écoulement d'un liquide est la température la plus basse à laquelle un liquide présente des caractéristiques d'écoulement. Si la température ambiante est inférieure au point d'écoulement, le liquide commence à se solidifier.
SCAT	Technique d'évaluation et de restauration des rives (Shoreline Cleanup Assessment Technique)
SINTEF	SINTEF est un institut de recherche indépendant norvégien qui développe le modèle OSCAR utilisé pour cette étude.
Densité relative	La densité relative est le rapport entre la densité d'une substance et la densité d'une substance de référence, habituellement l'eau. La densité relative du pétrole est le rapport entre la densité du pétrole et la densité de l'eau. Voir également : *densité API, barils, t*
Stochastique	Les résultats stochastiques (ou probabilistes) indiquent la probabilité qu'un événement se produise. Ils donnent des données statistiques qui peuvent servir à évaluer un risque et à identifier les pires scénarios. Les résultats stochastiques sont obtenus en combinant différentes simulations de trajectoire. Voir également : *Trajectoire*
Trajectoire	Les trajectoires ou résultats déterministes indiquent l'impact d'un seul événement de déversement dans le temps. Ceci peut servir à évaluer différentes options de réponse comme les barrages flottants, les récupérateurs et le dispersant. Voir également : *Stochastique*

UTC	Temps universel coordonné
Teneur en paraffine	Représente les composants du pétrole brut qui sont solubles dans les alcanes normaux ayant un poids moléculaire plus élevé (n-heptane) mais qui sont insolubles dans les alcanes ayant un poids moléculaire moindre (n-pentane).

ANNEXE G. RÉFÉRENCES

Bacher, A.D. (2014) « Gas Chromatography Theory », accessible en ligne : http://www.chem.ucla.edu/~bacher/General/30BL/gc/theory.html, dernière consultation le 31 octobre 2017.

HPI Consultants Inc. (1987) *HPI Crude Oil Assay Handbook*, première édition, Californie : États-Unis.

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (n.d.) Guide d'information technique n° 02, « Devenir des déversements d'hydrocarbures en mer », accessible en ligne via : http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/2-devenir-des-deversements-dhydrocarbures-en-mer/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (n.d.), Guide d'information technique n° 06, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux », accessible en ligne via : http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/06-reconnaissance-des-hydrocarbures-sur-les-littoraux/http://www.itopf.com/knowledge-resources/documents-guides/document/tip-6-recognition-of-oil-on-shorelines/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

LECO Corporation (2012) « Analysis of Light Crude Oil Using Gas Chromatography – High Resolution Time-of-Flight Mass Spectrometry », formulaire n° 203-821-410 Rev0, accessible en ligne : http://www.leco.com/index.php/component/edocman/?task=document.download&id=404&Itemid=404, dernière consultation le 31 octobre 2017.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2014) *National Oceanographic Data Center (NODC)*, World Ocean Atlas Select (WOA*select*), accessible via : http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html, dernière consultation le 31 octobre 2017.

Oil Spill Response Ltd. (OSRL) « Shoreline Cleanup and Assessment Technique (SCAT) Field Guide », accessible en ligne : http://www.oilspillresponse.com/technical-development/technical-field-guides, dernière consultation le 31 octobre 2017.

Reed, M., French, D., Rines, G. and Rye, H. (1995) « A three-dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment », publication présentée en 1995 à la Conférence internationale sur les déversements d'hydrocarbures, pp.61-66.

Reed, M., Aamo, O.M. and Downing, K. (1996) « Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System », publication présentée en 1996 à la conférence sur le déversement d'hydrocarbures AMOP.

Saha, S., S. Moorthi, H. Pan, X. Wu, J. Wang, et co-auteurs, 2010 : Réanalyse du système de prévision climatique NCEP. Bulletin de la Société américaine de météorologie, 91, 1015–1057.

Saha, S., S. Moorthi, X. Wu, J. Wang et co-auteurs, 2014 : Système de prévision climatique NCEP, version 2 Revue du climat, 27, 2185–2208.

SINTEF (2014) « OSCAR – Oil Spill Contingency and Response », accessible en ligne : https://www.sintef.no/en/software/oscar/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

ANNEXE N-1c : RAPPORT DE MODÉLISATION DE DÉVERSEMENT D'HYDROCARBURES – COLLISION AVEC UN NAVIRE POSEUR DE CONDUITES

Rapport de modélisation de déversements d'hydrocarbures, collision avec un Navire poseur de conduites
Tortue Phase 1a

BP p.l.c.

Numéro du document : GEOM0132h R03

Publié : 19 janvier 2018

Oil Spill Response Limited
Lower William Street
Southampton
SO14 5QE
Royaume-Uni
Tél. : +44 (0)23 8033 1551
Fax : +44 (0)23 8022 1972

SOMMAIRE EXÉCUTIF

La modélisation des déversements d'hydrocarbures a été réalisée par Oil Spill Response Ltd. (OSRL) pour le compte de BP sur le site de Tortue Phase 1a, au large du Sénégal et de la Mauritanie (Figure 1). Les résultats de cette analyse aideront à élaborer un plan d'urgence et une étude d'impact sur l'environnement pour la région en cas de déversement d'hydrocarbure. Les scénarios modélisés sont résumés dans le tableau 1.

Scénario 1 : collision d'un Navire poseur de conduites ayant entraîné la libération de 2 980 m3 de diesel en 3 heures, 3 370 m^3 de fioul lourd en 3,4 heures, et 92 m^3 d'huile de lubrification en 1 heure durant les mois d'été (avril à septembre)

Scénario 2 : collision d'un Navire poseur de conduites ayant entraîné la libération de 2 980 m3 de diesel en 3 heures, 3 370 m^3 de fioul lourd en 3,4 heures, et 92 m^3 d'huile de lubrification en 1 heure durant les mois d'hiver (avril à septembre)

La collision d'un navire de pose de conduites pose un risque pour les côtes du Sénégal et de la Mauritanie. Même si le volume d'hydrocarbures atteignant les côtes dans le pire des cas est approximativement le même en été et en hiver, l'été est la saison présentant le plus de risques. En été, il y a une probabilité de 50 % que 3400 tonnes d'hydrocarbures atteignent le rivage alors qu'en hiver la même probabilité correspond à seulement 2900 tonnes d'hydrocarbures. De plus, en été l'arrivée des premiers impacts sur le littoral varie entre moins d'un jour jusqu'à approximativement 4,5 jours dans le meilleur des cas. Dans le scenario Hiver la fourchette est plus large, elle varie entre moins d'un jour à plus de 50 jours dans le meilleur des cas. Dans ce scenario d'accident, le Sénégal devrait être plus impacté que la Mauritanie. Un déversement en été peut également donner lieu à un impact plus « fort » du littoral (selon le document « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » de l'ITOPF [voir les seuils]) qu'en hiver. Cependant, la longueur du rivage susceptible d'être affectée par un impact fort se limite à moins de 4 km.

Les trajectoires suivies montrent que, bien que l'impact des côtes puisse être considérable au départ, les propriétés des hydrocarbures font qu'ils s'évaporent et se biodégradent relativement rapidement, la quantité d'hydrocarbures atteignant les côtes culmine à 4 600 t (5 469 m^3) après environ 4 jours, 12 heures.

Les eaux du Sénégal et de la Mauritanie pourraient se voir affecter par une nappe d'une épaisseur supérieure à 5 µm, épaisseur qui rendrait possible le recours à des techniques de confinement et de récupération. En été les eaux des autres pays voisins ne seraient pas impactées, mais elles seraient touchées par des nappes d'hydrocarbures d'épaisseurs allant jusqu'à 3 µm en hiver.

HISTORIQUE DU DOCUMENT

Document Numéro	Révision	Document Type	Auteur	Technique Révision	Format Révision	Date de publication
GEOM0132 h	R01	Projet de rapport de la modélisation	JKM	LHM	SJB	8 décembre 2017
GEOM0132 h	R02	En réponse aux	JKM	LHM	SJB	12 janvier 2017

JKM, Jenny Kirsty Mitchell LHM, Liam Harrington-Missin SJB, Simon Blaen

CLAUSES DE NON-RESPONSABILITÉ

- Les résultats de la modélisation ne doivent être utilisés qu'à titre indicatif et les stratégies d'intervention ne doivent pas se baser uniquement sur ces résultats.
- La résolution/qualité des données relatives aux vents et aux courants marins varie selon les régions et les modèles. Comme pour tout modèle, la qualité et la fiabilité des résultats dépendent de la qualité des données d'entrée.

Compte tenu de ce qui précède, tous les conseils, modélisations et autres renseignements fournis sont génériques et donnés à titre d'exemple uniquement. Ils ne sont pas destinés à être utilisés pour un cas spécifique. Le destinataire de tout conseil, modélisation ou autre information provenant de ou pour le compte de OSRL reconnaît et convient qu'un certain nombre de variables peuvent avoir une incidence sur un déversement de pétrole et, à ce titre, doit être traité individuellement. OSRL décline toute responsabilité en ce qui concerne ces conseils, modélisations ou autres informations ; le destinataire de ces informations indemnise et dégage de toute responsabilité OSRL, ses dirigeants, employés, actionnaires, mandataires, contractants et sous-traitants pour les coûts, pertes, réclamations ou responsabilités découlant de ces conseils, modélisations, formations ou autres informations.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 5

1.1 Contexte 5

1.2 Objectifs 5

1.3 Mise en place de la modélisation 8

1.4 Seuils 9

2 RÉSULTATS 11

2.1 Résultats stochastiques 11

2.2 Comparaison entre hiver et été 36

2.3 Pire scénario de déversement d'hydrocarbures 38

3 CONCLUSION 45

3.1 Impact sur le rivage 45

3.2 Impact en surface 45

ANNEXE A. DONNÉES D'ENTRÉE FOURNIES AU MODÈLE 47

ANNEXE B. DONNÉES MÉTÉO-OCÉANIQUES 48

ANNEXE C. MAILLAGE DE L'HABITAT 50

ANNEXE D. CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES 51

ANNEXE E. LOGICIEL ET MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES 56

ANNEXE F. GLOSSAIRE DES TERMES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS 58

ANNEXE G. RÉFÉRENCES 60

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

La modélisation des déversements d'hydrocarbures a été réalisée par Oil Spill Response Ltd. (OSRL) pour le compte de BP sur le site de Tortue Phase 1a, au large du Sénégal et de la Mauritanie (Figure 1). Les résultats de cette analyse aideront à élaborer un plan d'urgence et une étude d'impact sur l'environnement pour la région en cas de déversement d'hydrocarbure. Les scénarios modélisés sont résumés dans le tableau 1.

Scénario 1 : collision d'un Navire poseur de conduites ayant entraîné la libération de 2 980 m_3 de diesel en 3 heures, 3 370 m_3 de fioul lourd en 3,4 heures, et 92 m_3 d'huile de lubrification en 1 heure durant les mois d'été (avril à septembre)

Scénario 2 : collision d'un Navire poseur de conduites ayant entraîné la libération de 2 980 m_3 de diesel en 3 heures, 3 370 m_3 de fioul lourd en 3,4 heures, et 92 m_3 d'huile de lubrification en 1 heure durant les mois d'hiver (avril à septembre)

La simulation a été réalisée à l'aide du modèle préparation à la lutte contre les déversements accidentels d'hydrocarbures (Oil Spill Contingency and Response, OSCAR) de la société SINTEF. OSCAR est un outil de modélisation 3D utilisé pour prédire le mouvement et le devenir des hydrocarbures à la surface de la mer et à travers la colonne d'eau (voir Annexe F pour plus d'informations).

1.2 Objectifs

L'objectif de ce rapport est de présenter le risque pour la surface de la mer et le littoral en créant des cartes spatiales de :

1. Probabilité : pour estimer la possibilité qu'une zone soit touchée.
2. Heure d'arrivée : pour estimer la vitesse à laquelle une zone pourrait être touchée.
3. Épaisseur de l'émulsion : pour estimer la gravité de l'impact sur une zone.

Les données de ces cartes nous permettent de répondre aux questions suivantes :

1. À quelle vitesse les hydrocarbures pourraient-il atteindre les rivages voisins et en quelle quantité ?
2. Quels pays sont les plus susceptibles d'être touchés par un déversement provenant du Navire poseur de conduites ?
3. Quels aspects environnementaux sensibles seraient susceptibles d'être affectés par un déversement provenant du Navire poseur de conduites ?

4.

Tableau 1 : Mise en place du scénario

Description	Collision avec un navire de pose de conduites, été	Collision avec un navire de pose de conduites, hiver
Saison	avril à septembre	octobre à mars
Latitude	16° 03' 41.31" N	
Longitude	016° 36' 23.652" W	
Volume total déversé	6 442 m^3	
Masse total des déversements	5 852,7 t	
Durée des déversements	3,4 heures	
Profondeur des déversements	Surface (0 m)	
Côte la plus proche	env. 10 km, St Louis, Sénégal	

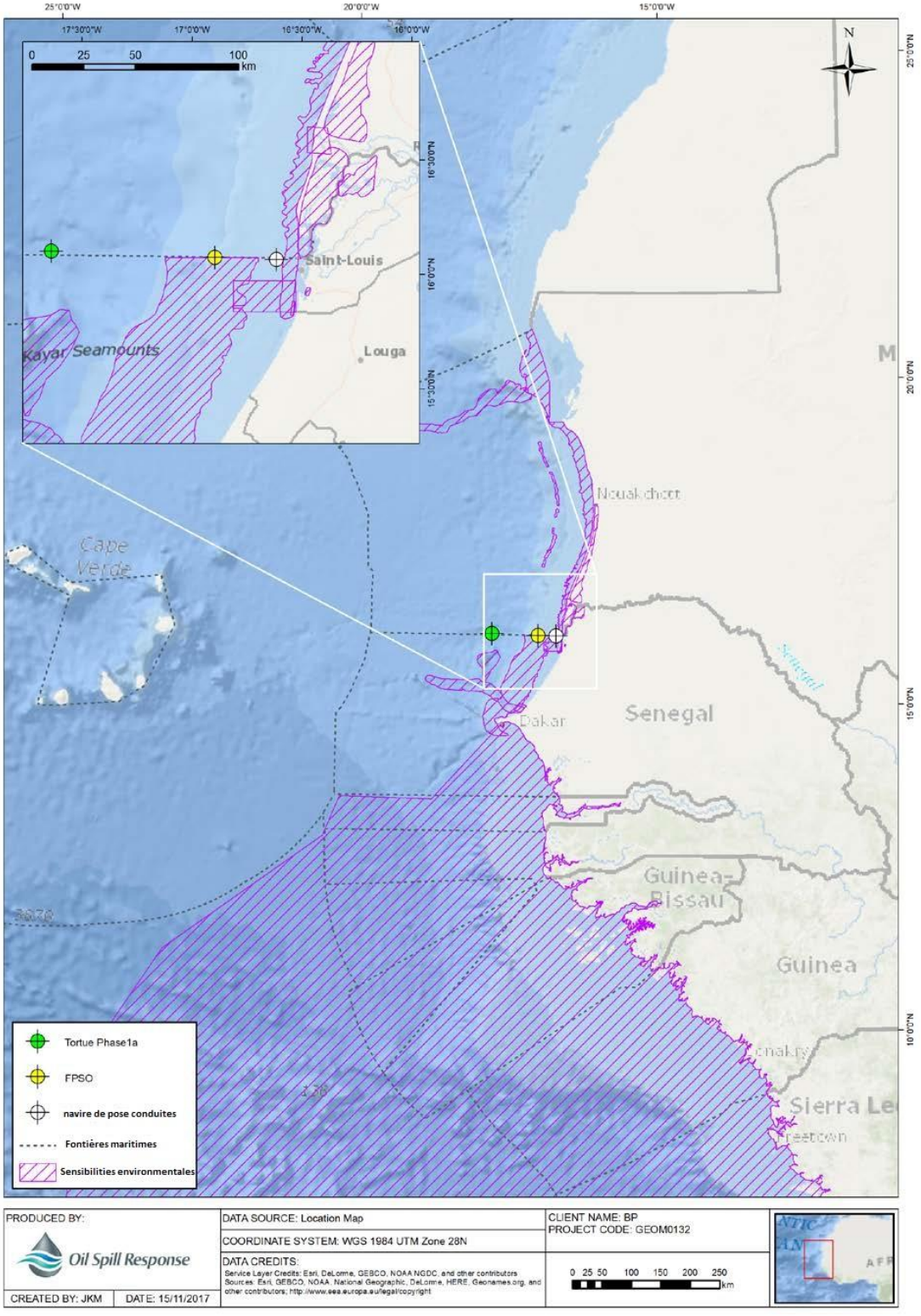


Figure 1 : Carte indiquant la localisation des déversements (point blanc)

1.3 Mise en place de la modélisation

Deux simulations stochastiques du pire scénario ont été réalisées pour le cas de collision d'un Navire poseur de conduites (Tableau 2), avec un total de 322 trajectoires individuelles post-traitées pour le scénario afin de créer les résultats stochastiques. Chaque trajectoire a débuté à une date différente, de sorte que chaque déversement a été simulé à l'aide d'une gamme de conditions de vents et de courants marins différentes.

Trois années de données hydrodynamiques (source Copernic et NOAA) ont été utilisées comme données d'entrée pour le modèle. Voir Annexe A à Annexe E pour plus d'information sur la mise en place du modèle.

Tableau 2 : Résumé de la configuration stochastique des scénarios de déversement

Description	Collision avec un Navire poseur de conduites en été	Collision avec un Navire poseur de conduites en hiver
Emplacement	16° 03' 41.31" N 016° 36' 23.652" W	
Période de l'année	avril à septembre	octobre à mars
Durée des déversements	3 heures : diesel 3,4 heures : fioul lourd 1 heure : huile de lubrification	
Vitesse de rejet	993,3 m^3/heure : diesel 991,2 m^3/heure : fioul lourd 92 m^3/heure : huile de lubrification	
Déversement total (volume)	6 442 m^3	
Durée d'exécution totale	60 jours	
Nombre total de trajectoires	165	157
Durée entre les trajectoires	3 jours, 9 heures	3 jours, 5 heures

Veuillez noter qu'un taux de rejet réaliste pour le pire des cas lors d'une collision avec un navire est de 1 000 m^3/h.

La quantité totale de diesel embarquée est de 2 980 m^3 ce qui signifie que la durée totale de rejet sera de 3 heures, donnant la vitesse de rejet indiquée.

La quantité totale de fioul lourd embarquée est de 3 370 m^3, ce qui mène à la durée et au taux de rejet indiqués.

Enfin, le volume d'huile de lubrification est de 92 m^3, l'incrément de temps le plus bas que nous avons fixé étant d'une heure, nous avons déterminé un rejet sur une période d'une heure.

Bien qu'il y ait de petites différences si ces durées et ces taux sont ajustés, cela ne changera pas les conclusions ou les résultats présentés dans les pages de ce rapport.

1.4 Seuils

Les seuils définissent le point au-dessous duquel les données ne sont plus informatives. Par exemple, lorsque l'épaisseur de l'émulsion de surface est inférieure à 0,04 µm, les hydrocarbures ne sont plus visible à l'œil nu et peuvent donc être considéré comme négligeable pour une intervention. Les seuils utilisés pour cette étude sont indiqués dans le tableau 3.

Tableau 3 : Seuils utilisés dans l'étape de post-traitement de la modélisation

Seuil	Valeur	Description
Surface	0,04 µm	Le code d'apparence des hydrocarbures de l'accord de Bonn définit cinq épaisseurs de couches d'hydrocarbures en fonction de leurs effets optiques et de leurs couleurs réelles. 0,04 µm est l'épaisseur minimale visible à l'œil nu.
Colonne d'eau	6 ppb (dissous)	Faible niveau d'exposition aux hydrocarbures dissous dans l'eau.
	70 ppb (total)	Niveau d'exposition à l'hydrocarbure entraîné, OSCAR a prédit une concentration sans effet (CSEP).
Littoral	0,1 l/m^2	Seuil inférieur pour une pollution légère à partir du document de l'ITOPF « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux ».

La valeur d'épaisseur utilisée dans les cartes d'épaisseur des émulsions de surface dans ce document est dérivée du code d'apparence de Bonn (Table 4).

Tableau 4 : Valeur utilisée pour les résultats relatifs à l'épaisseur de l'émulsion à la surface de la mer

Apparence	Intervalle d'épaisseur de	Couleur
Reflet (argenté/gris	0,04 à 0,3 µm	
Irisé (Arc-en-ciel)	0,3 à 5 µm	
Métallique	5 à 50 µm	
Vraie couleur discontinue	50 à 200 µm	
Vraie couleur continue	> 200 µm	

La valeur d'épaisseur utilisée dans les cartes du littoral tout au long de ce document provient du guide d'informations techniques (GIT) n° 6 de l'ITOPF « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » (ITOPF, 2011b ; Tableau 7). Un impact très léger est jugé négligeable par l'ITOPF (ITOPF, 2011b) ; aucune réponse pratique n'est requise pour un littoral très légèrement impacté, hormis la surveillance du déversement d'hydrocarbures.

Tableau 5 : Valeur utilisée pour les concentrations d'hydrocarbures dissous dans la colonne d'eau

Colonne d'eau Classification	Concentration	Couleur
Faible	< 50 ppb	
Modérée	50 à 400 ppb	
Élevée	> 400 ppb	

Tableau 6 : Valeur utilisée pour les concentrations en hydrocarbures totaux dans la colonne d'eau

Concentration	Couleur
< 150 ppb	
150 à 500 ppb	
500 à 750 ppb	
750 à 1000 ppb	
> 1000 ppb	

Tableau 7 : Valeur utilisée pour les résultats de l'épaisseur de l'émulsion sur le littoral

Classification des impacts côtiers	Concentration	Épaisseur	Couleur
Impact léger	0,1 à 1 l/m^2	0,1 à 1,0 mm	
Impact modéré	1 à 10 l/m^2	1 à 10 mm	
Impact fort	> 10 l/m^2	> 10 mm	

2 RÉSULTATS

2.1 Résultats stochastiques

Les résultats stochastiques pour le scénario 1 ont été calculés à partir de 322 trajectoires. Le scénario implique le rejet de 2 980 m_3 de diesel en 3 heures, de 3 370 m3 de fioul lourd sur 3,4 heures, et de 92 m_3 d'huile de lubrification en 1 heure en été (avril à septembre) et en hiver (octobre à mars). Les déversements sont suivis sur un total de 60 jours.

Les résultats suivants sont présentés :

Surface de la mer

Figure 2 : Collision avec un navire de pose de conduites, - probabilité d'impact en surface par cellule - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 3 : Collision avec un navire de pose de conduites - temps minimum d'arrivée en surface - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 4 : Collision avec un navire de pose de conduites - épaisseur maximum de l'émulsion en surface - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 5 : Collision avec un navire de pose de conduites - épaisseur moyenne de l'émulsion en surface -été (gauche) et hiver (droite)

Figure 6 : Collision avec un navire de pose de conduites - durée maximum d'exposition en surface - été (gauche) et hiver (droite)

Littoral

Figure 7 : Collision avec un navire de pose de conduites - probabilité d'impact sur les littoraux par cellule - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 8 : Collision avec un navire de pose de conduites - temps minimum d'arrivée sur les littoraux - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 9 : Collision avec un navire de pose de conduites - impact sur les littoraux - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 10 : Collision avec un navire de pose de conduites - impact sur les littoraux - probabilité relative au temps d'arrivée sur les littoraux - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 11 : Collision avec un navire de pose de conduites - impact sur les littoraux - probabilité relative à la masse atteignant le rivage - été (gauche) et hiver (droite)

Colonne d'eau (hydrocarbures dissous)

Figure 12 : Collision avec un navire de pose de conduites - probabilité d'impact des hydrocarbures dissous sur la colonne d'eau par cellule - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 13 : Collision avec un navire de pose de conduites - temps minimum d'arrivée des hydrocarbures dissous dans la colonne d'eau - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 14 : Collision avec un navire de pose de conduites - concentrations en hydrocarbures dissous dans la colonne d'eau - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 15 : Collision avec un navire de pose de conduites - durée maximum d'exposition de la colonne d'eau aux hydrocarbures dissous - été (gauche) et hiver (droite)

Colonne d'eau (total des hydrocarbures)

Figure 16 : Collision avec un navire de pose de conduites - probabilité d'impact des hydrocarbures totaux sur la colonne d'eau par cellule - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 17 : Collision avec un navire de pose de conduites - temps minimum d'arrivée des hydrocarbures totaux dans la colonne d'eau - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 18 : Collision avec un navire de pose de conduites - concentrations en hydrocarbures totaux dans la colonne d'eau - été (gauche) et hiver (droite)

Figure 19 : Collision avec un navire de pose de conduites - durée maximum d'exposition de la colonne d'eau aux hydrocarbures totaux - été (gauche) et hiver (droite)

Collision avec un navire de pose de conduites
Surface

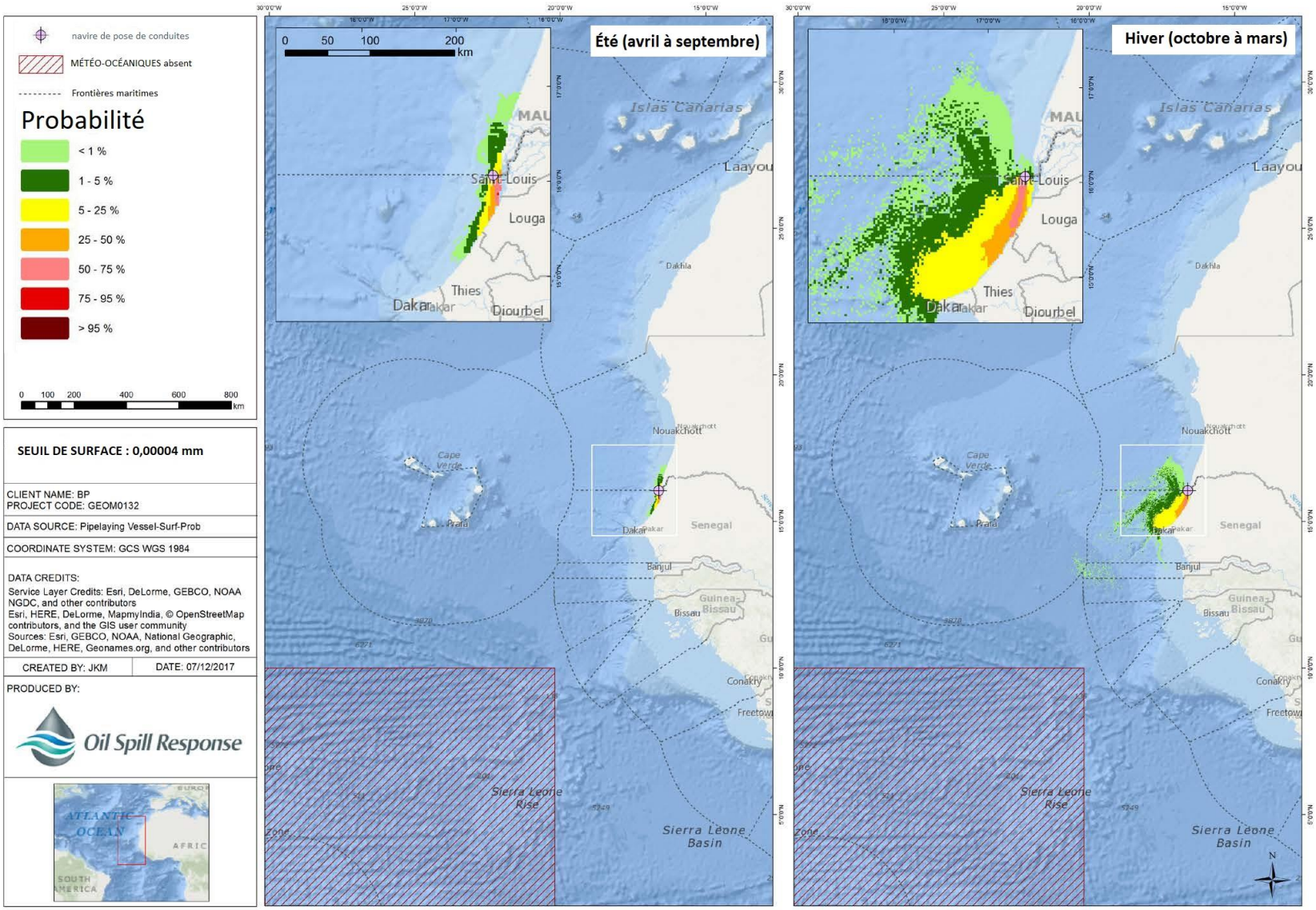


Figure 2 : Collision avec un navire de pose de conduites, probabilité d'impact en surface par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

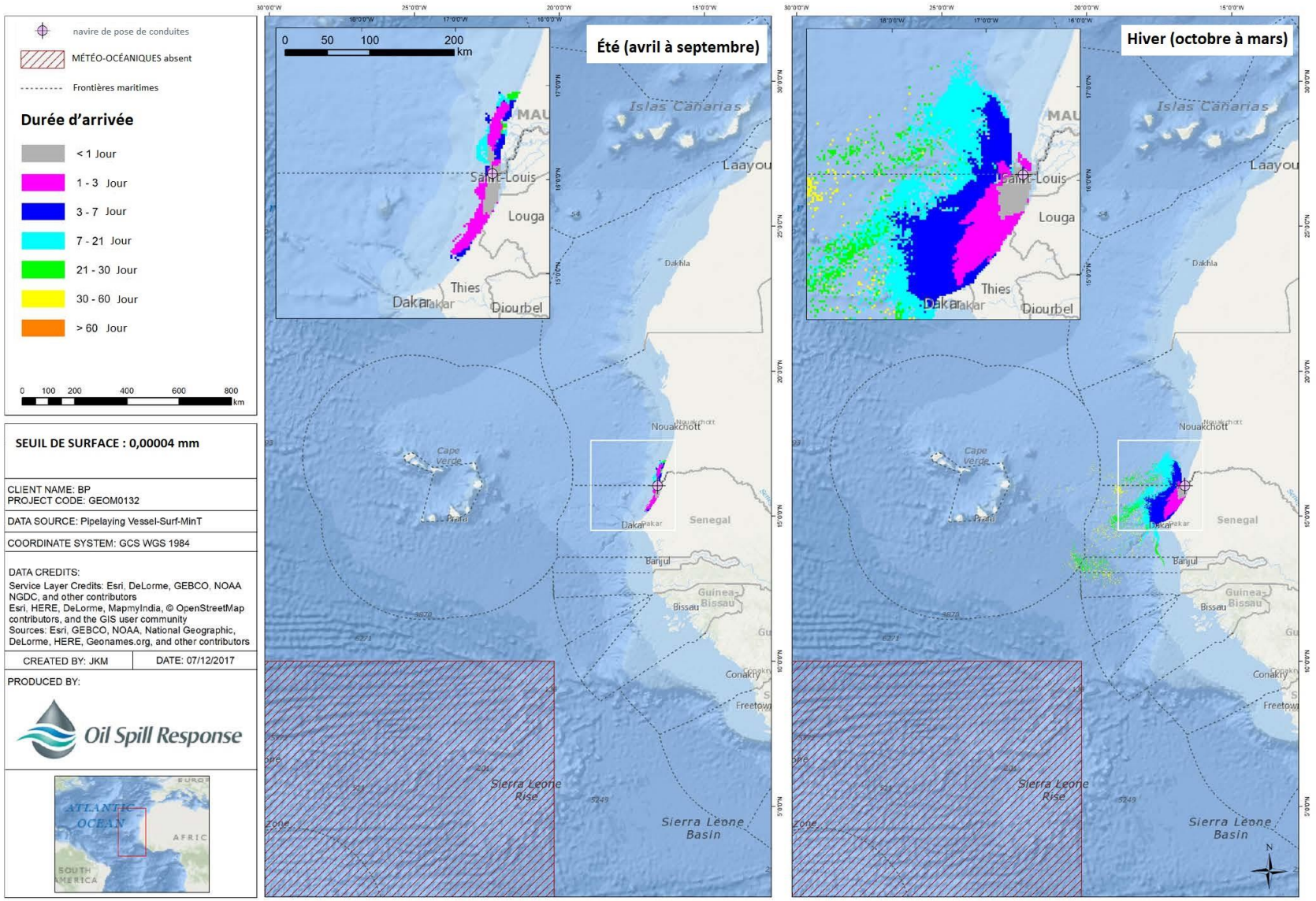


Figure 3 : Collision avec un navire de pose de conduites, temps minimum d'arrivée en surface, été (gauche) et hiver (droite)

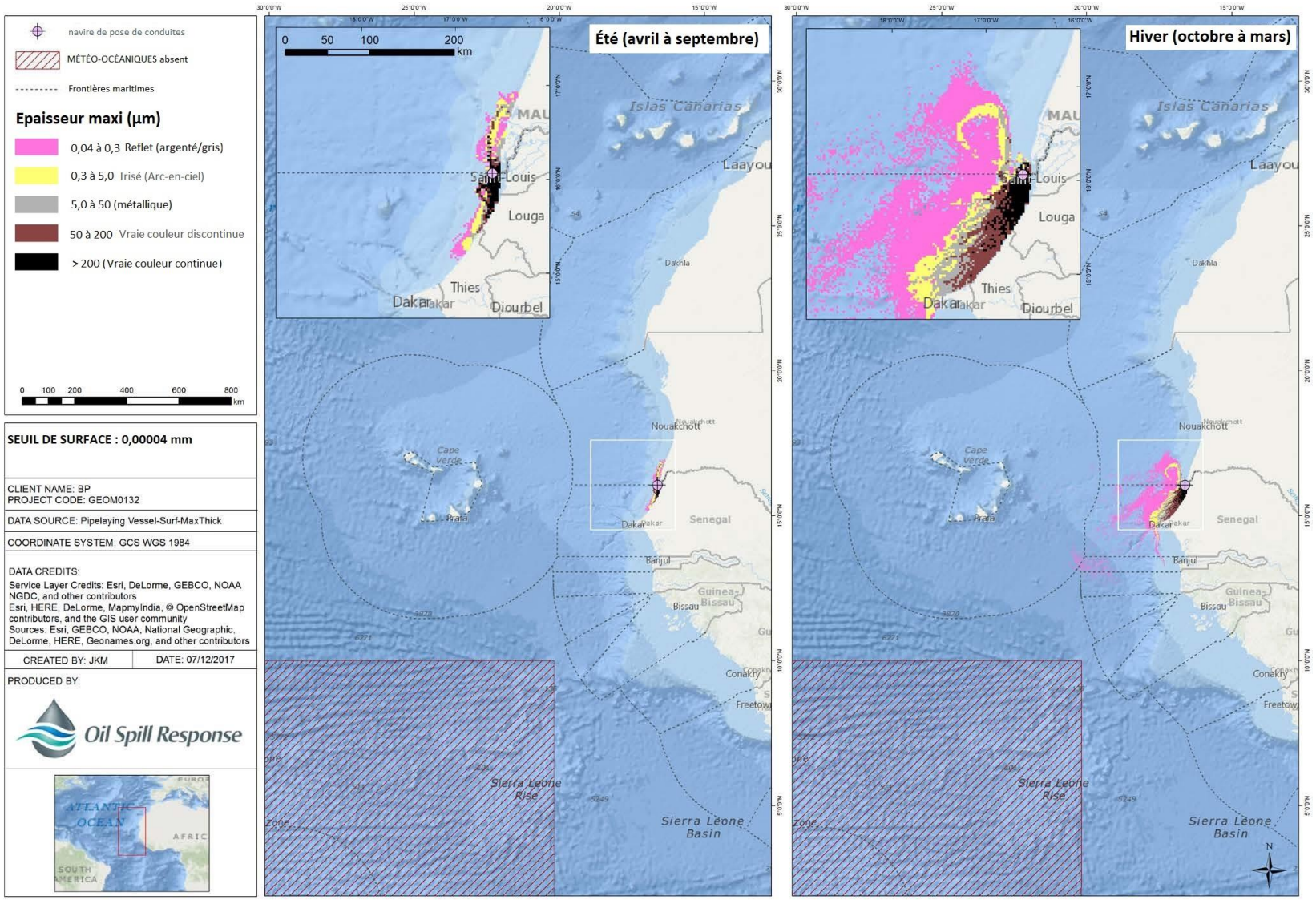


Figure 4 : Collision avec un navire de pose de conduites, épaisseur maximum de l'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

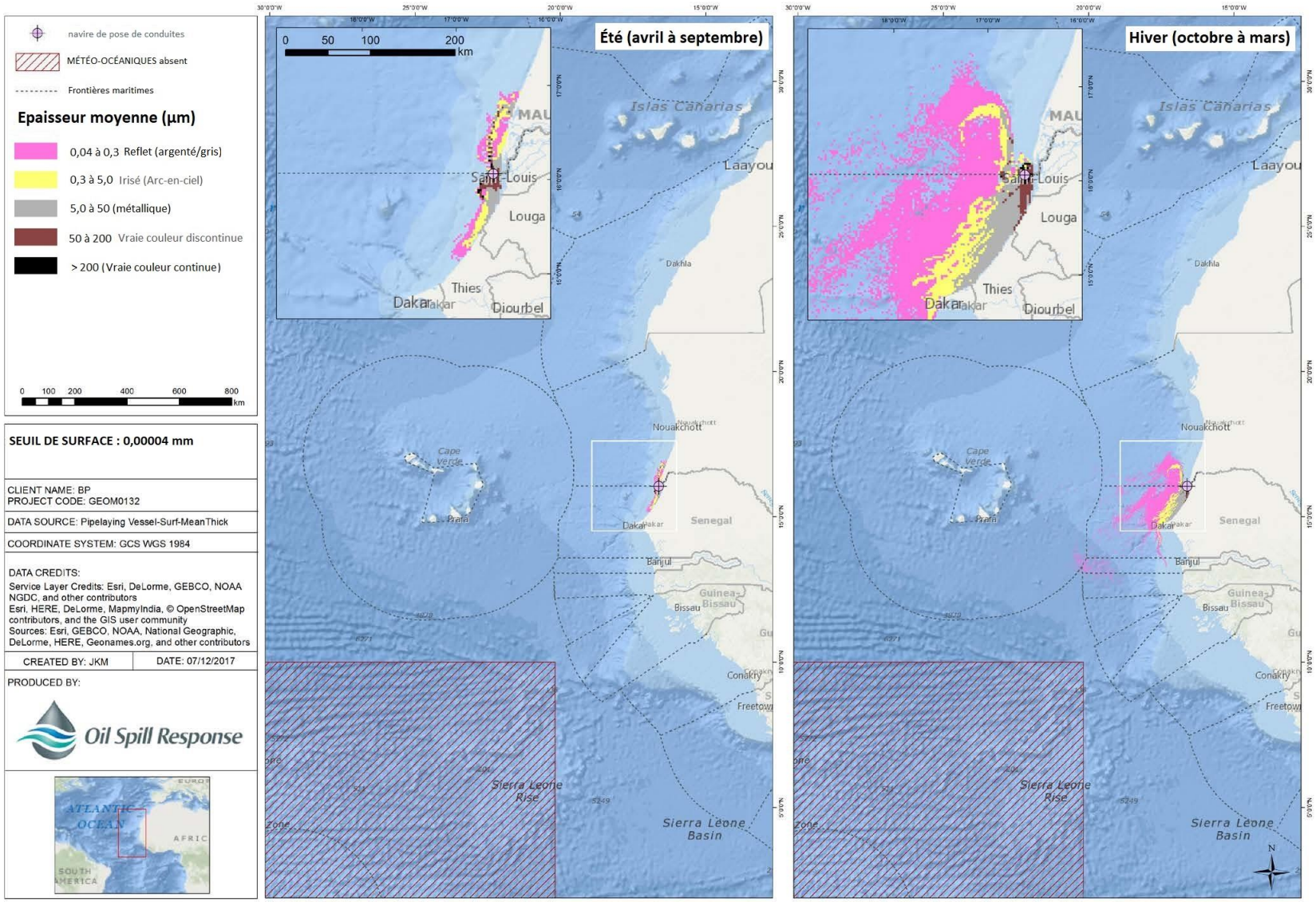


Figure 5 : Collision avec un navire de pose de conduites, épaisseur moyenne de l'émulsion en surface, été (gauche) et hiver (droite)

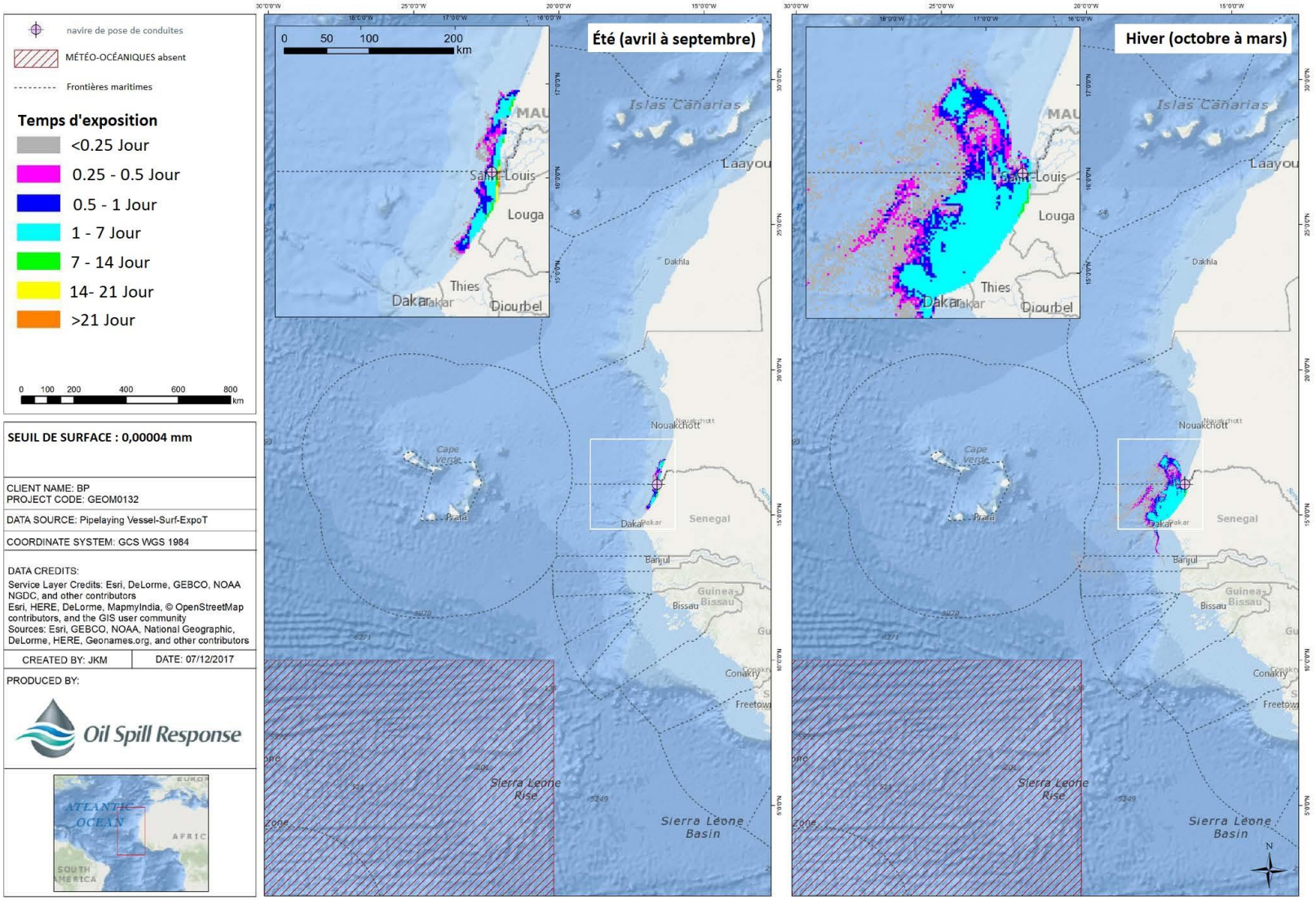


Figure 6 : Collision avec un Navire poseur de conduites - Durée maximum d'exposition en surface, été (gauche) et hiver (droite)

Collision avec un navire de pose de conduites
Littoral

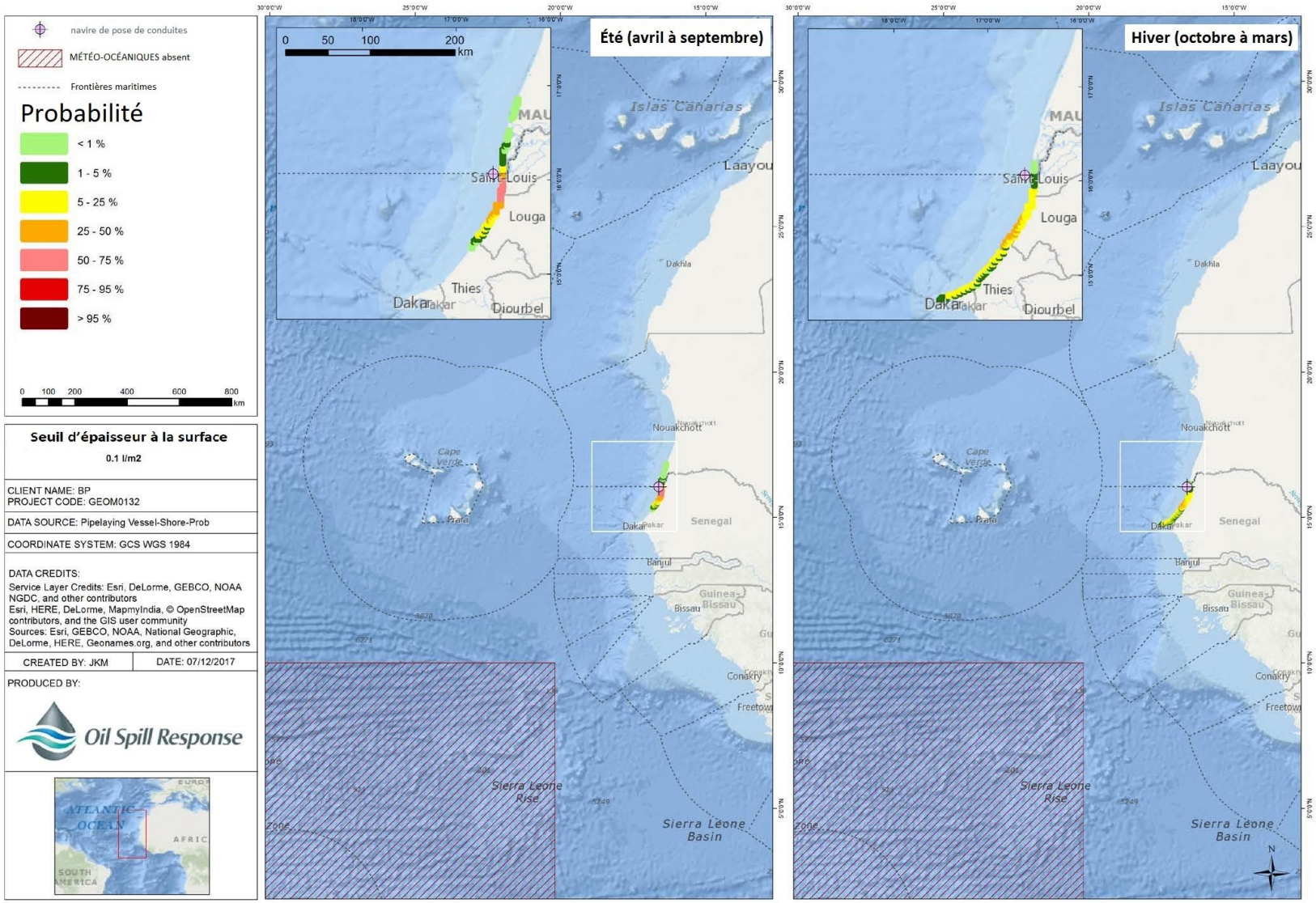


Figure 7 : Collision avec un navire de pose de conduites, probabilité d'impact sur les littoraux par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

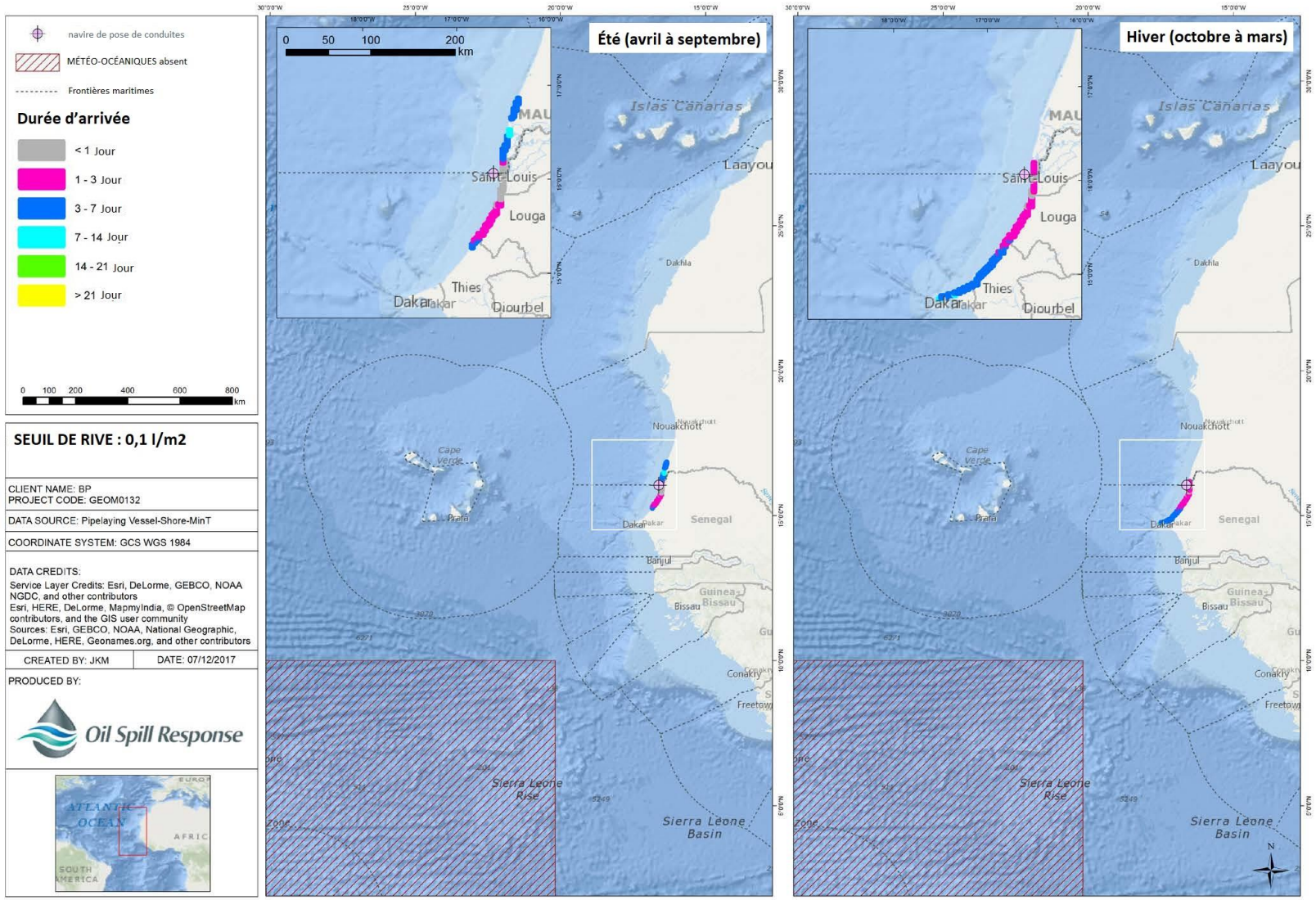


Figure 8 : Collision avec un navire de pose de conduites, temps minimum d'arrivée sur les littoraux, été (gauche) et hiver (droite)

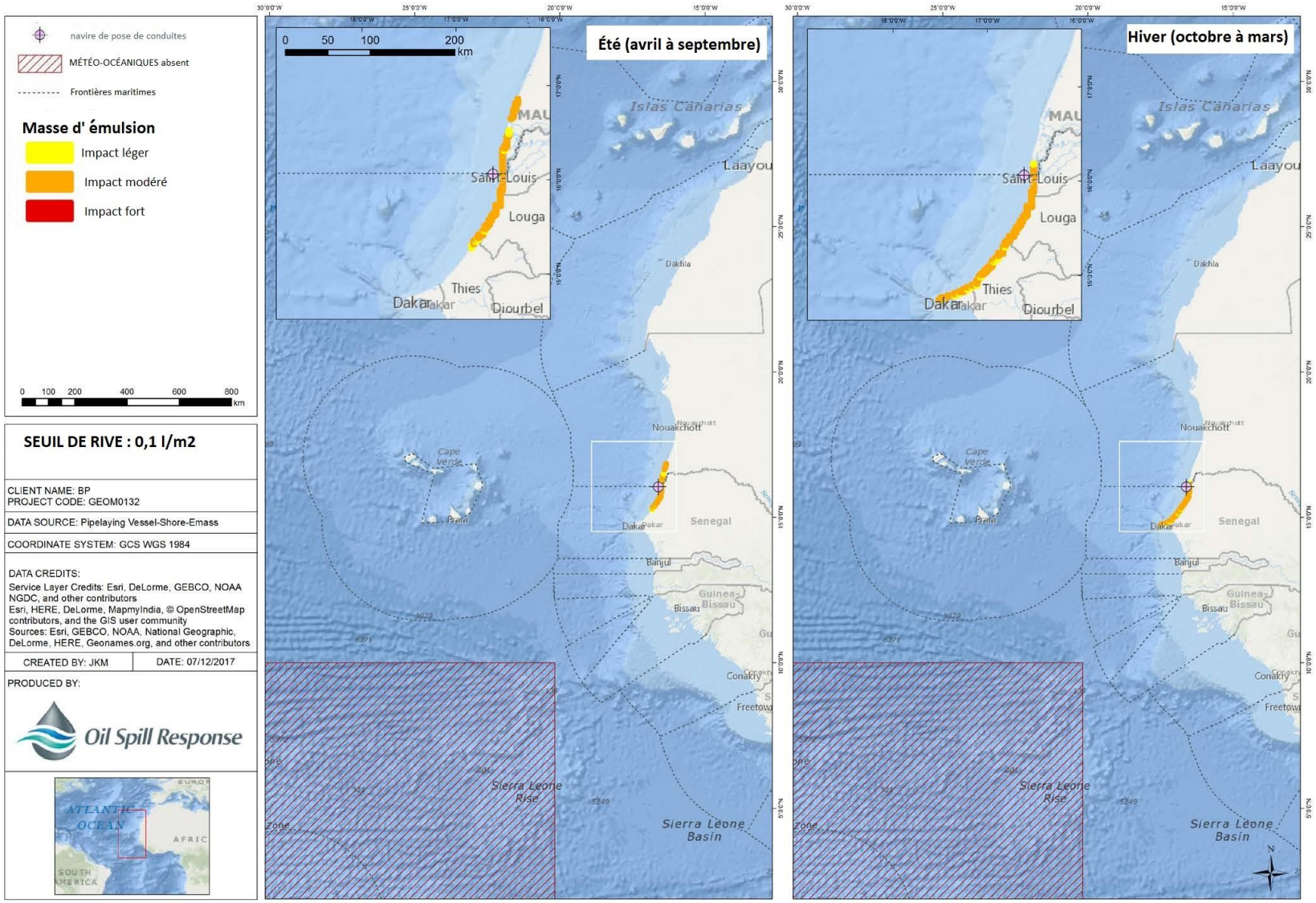


Figure 9 : Collision avec un navire de pose de conduites, impact sur les littoraux, été (gauche) et hiver (droite)

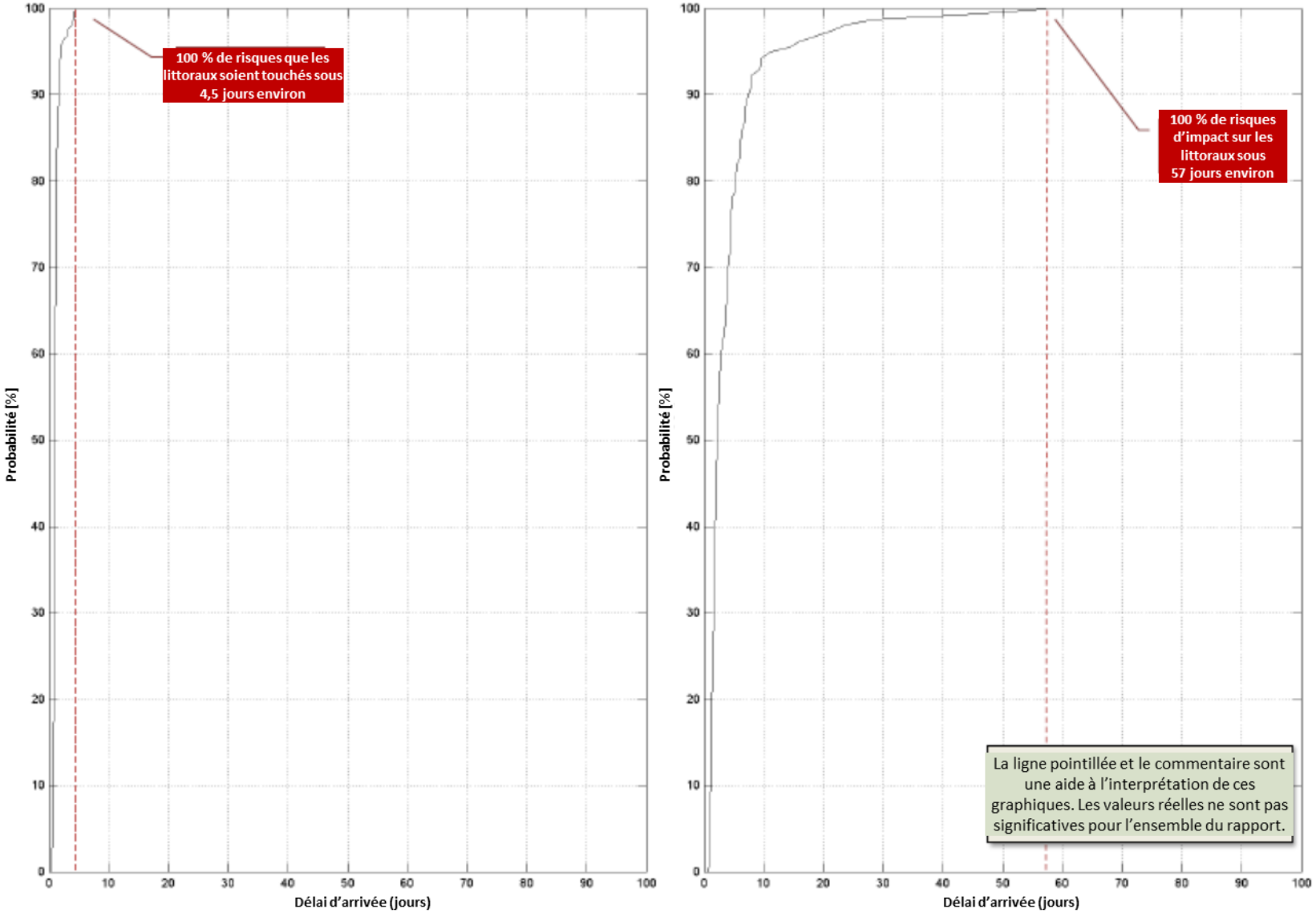


Figure 10 : Collision avec un navire de pose de conduites, impact sur les littoraux, probabilité relative au temps d'arrivée sur les littoraux, été (gauche) et hiver (droite)

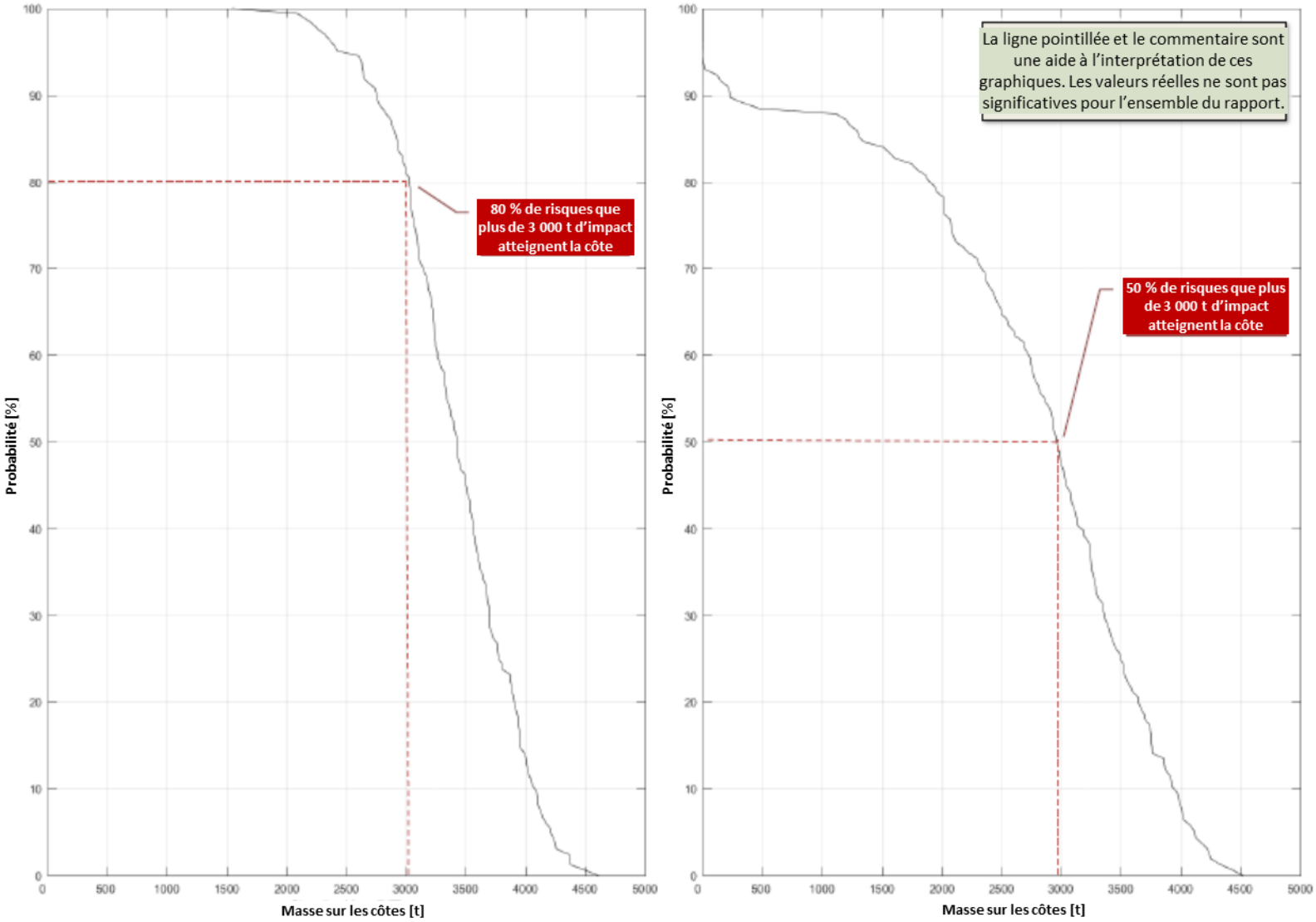


Figure 11 : Collision avec un navire de pose de conduites, impact sur les littoraux, probabilité relative à la masse atteignant le rivage, été (gauche) et hiver (droite)

Le tableau 8 affiche le nombre de simulations entraînant différents niveaux d'impact sur le littoral sur la base du Guide d'informations techniques (GIT) de l'ITOPF, n° 6, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux » et la longueur de littoral impacté. Pour plus d'informations, voir les Seuils dans la section 1.4.

Tableau 8 : Sévérité de l'impact du littoral suite à une collision avec un Navire poseur de conduites avec le puits du projet Tortue Phase 1a

Référence ITOPF Référence SCAT d'OSRL	Impact léger, modéré et fort Épaisseur		Impact léger et modéré Couverture		Impact léger Couche		Aucun impact significatif	
Saison	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver
Nombre de simulations	16 sur 165	2 sur 157	150 sur 165	143 sur 157	0 sur 165	1 sur 157	0 sur 165	0 sur 165
Probabilité	9 %	1 %	91 %	91 %	0 %	1 %	0 %	0 %

Chacune des 165 trajectoires est classée dans une seule catégorie en fonction de l'impact côtier le plus sévère. Par exemple, une trajectoire qui possède au moins une cellule classée *Impact fort* sera placée dans la catégorie Impact fort, quel que soit le nombre d'autres mailles classées Impact *modéré* ou *léger*.

			Cas le plus optimiste	Moyenne (50e percentile)	Cas le plus pessimiste
Étendue du littoral impacté	Fort	Été	0 km	0 km	4 km
		Hiver	0 km	0 km	4 km
	Modéré	Été	18 km	45 km	62 km
		Hiver	0 km	35 km	58 km
	Léger	Été	0 km	8 km	25 km
		Hiver	0 km	10 km	36 km

Les données présentées dans ces tableaux peuvent être interprétées comme suit

- Dans le meilleur des cas, il y aura :
  - Été = 18 km d'impact modéré sur le littoral.
  - Hiver = une probabilité (1 %) qu'il n'y ait qu'un impact léger.
- Dans un cas « classique » (50e percentile), il y aura :
  - Été = pas d'impact fort, 45 km d'impact modéré et 8 km d'impact léger.
  - Hiver = pas d'impact fort, 35 km d'impact modéré et 10 km d'impact léger.
- Dans le « pire des cas » (valeur maximum[1]), il y aura :
  - Été = 4 km d'impact fort, 62 km d'impact modéré et 25 km d'impact léger.
  - Hiver = 4 km d'impact fort, 58 km d'impact modéré et 36 km d'impact léger.

[1] Notez qu'il s'agit de la longueur maximum de côtes dans chaque catégorie. Il ne s'agit pas d'une référence à 1 trajectoire extraite de la stochastique.

Collision avec un navire de pose de conduites

Cartes des colonnes d'eau

Concentrations d'hydrocarbures dissous

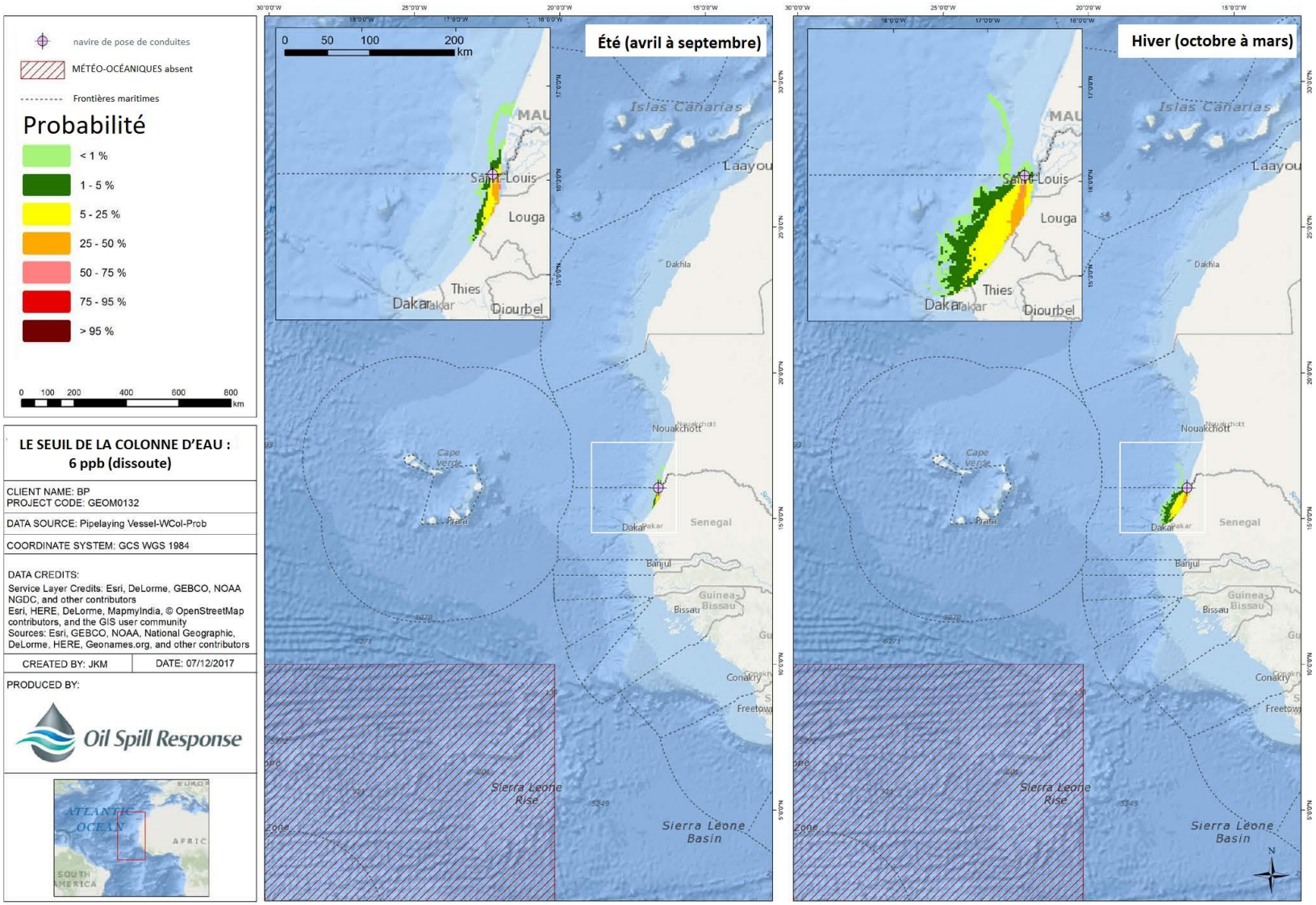


Figure 12 : Collision avec un navire de pose de conduites, probabilité d'impact des hydrocarbures dissous sur la colonne d'eau par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

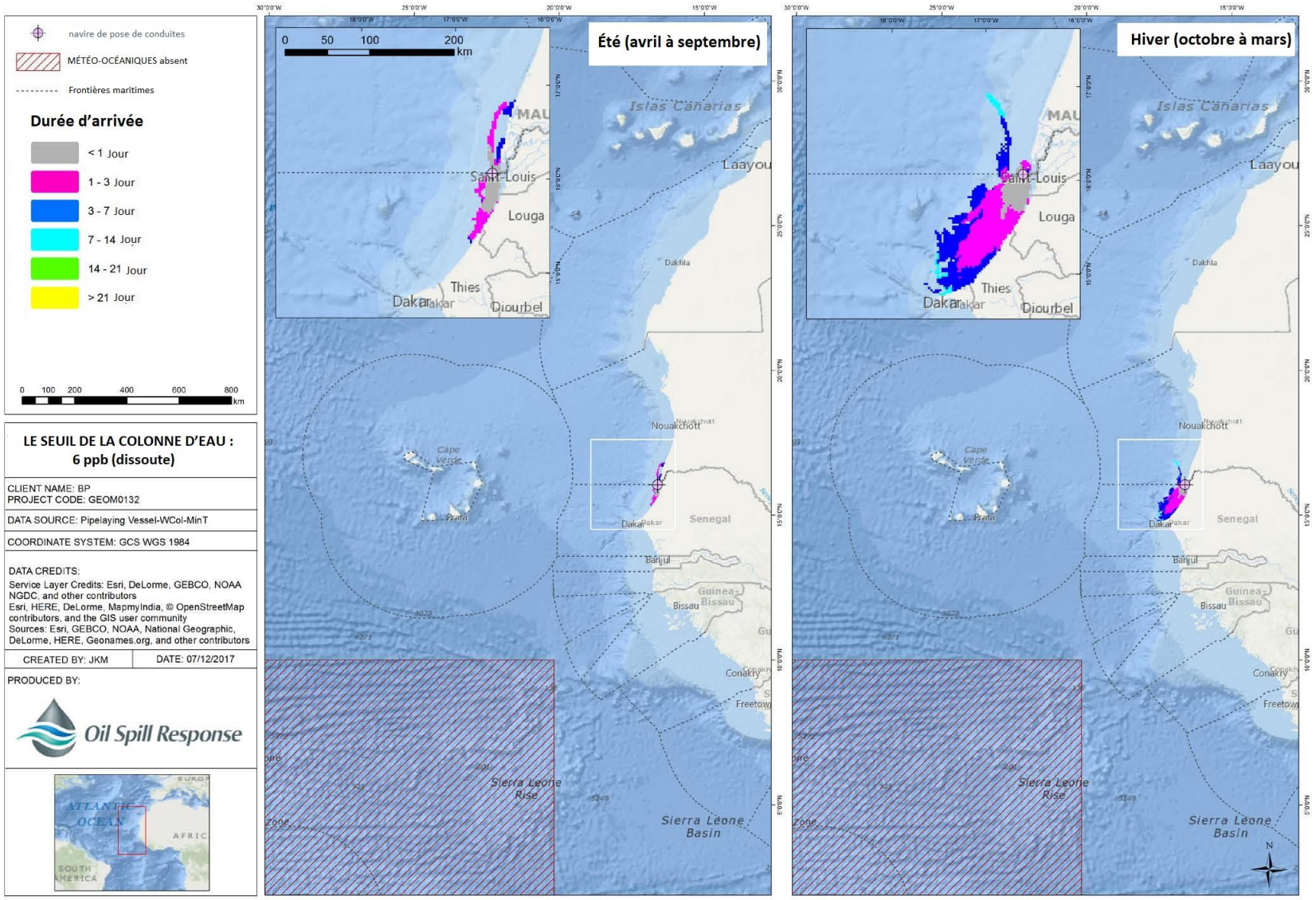


Figure 13 : Collision avec un navire de pose de conduites; temps minimum d'arrivée des hydrocarbures dissous dans la colonne d'eau, été (gauche) et hiver (droite)

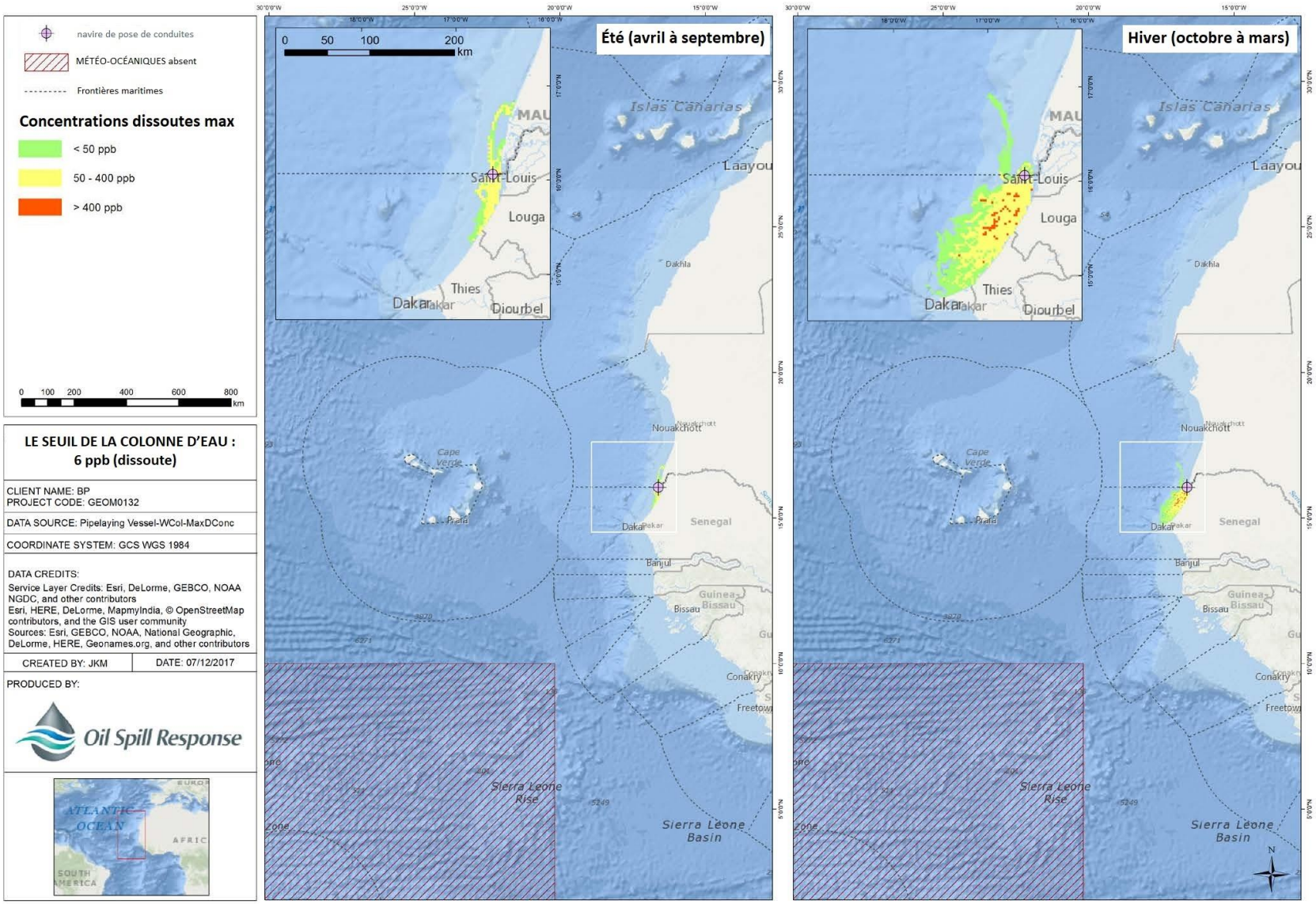


Figure 14 : Collision avec un navire de pose de conduites, concentrations en hydrocarbures dissous dans la colonne d'eau, été (gauche) et hiver (droite)

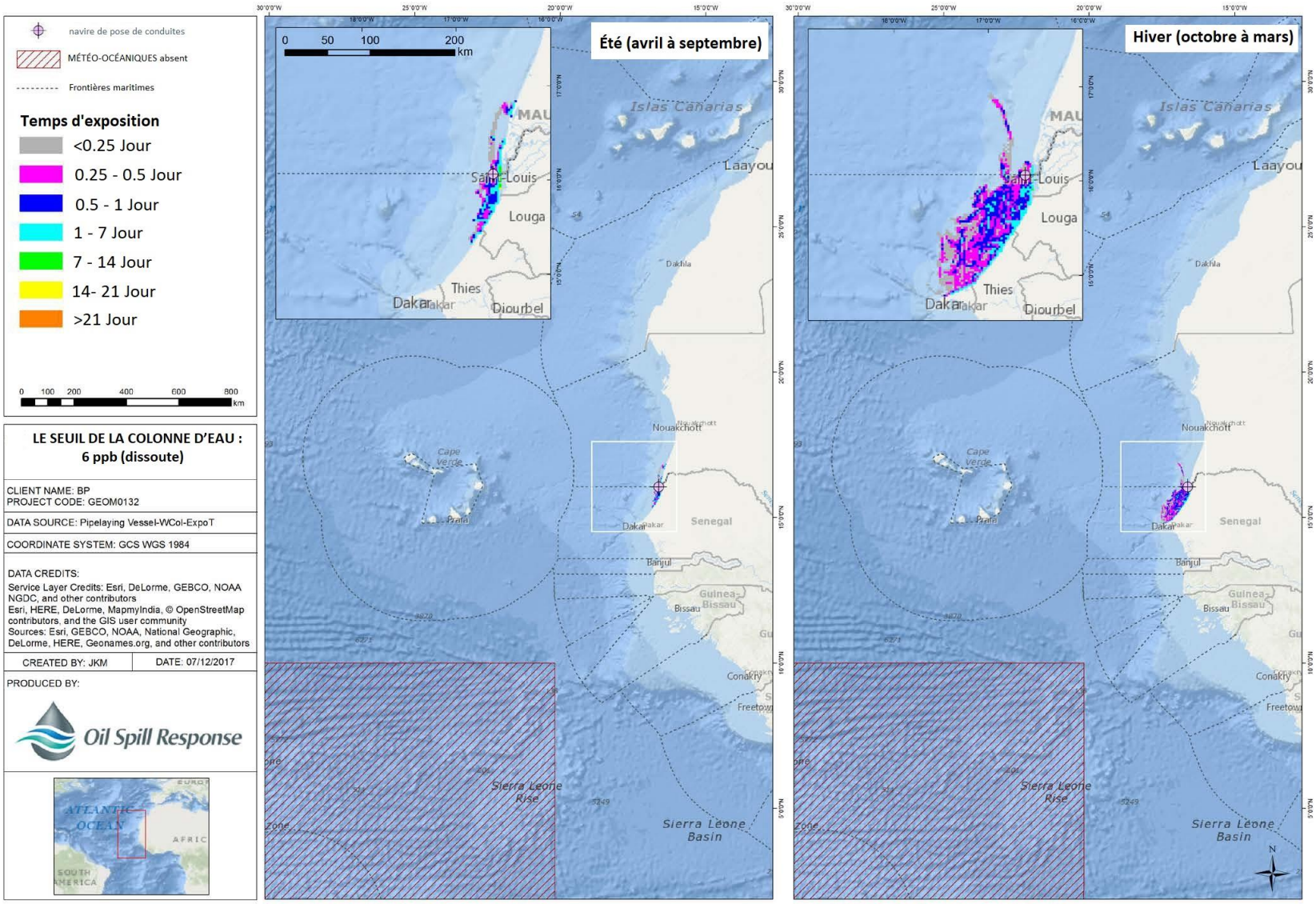


Figure 15 : Collision avec un navire de pose de conduites, durée maximum d'exposition de la colonne d'eau aux hydrocarbures dissous, été (gauche) et hiver (droite)

Collision avec un navire de pose de conduites

Cartes des colonnes d'eau

Concentrations totales

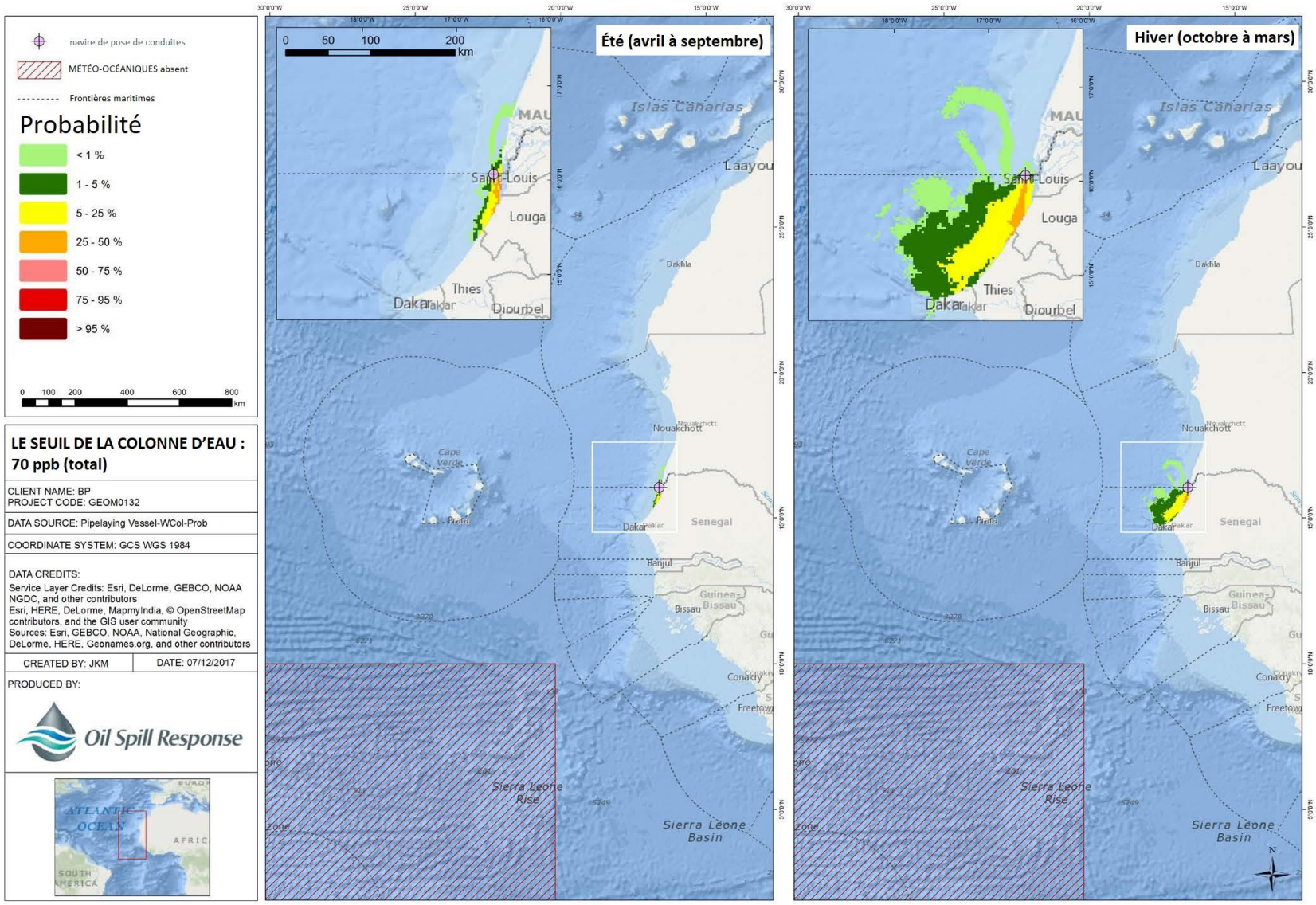


Figure 16 : Collision avec un navire de pose de conduites, probabilité d'impact des hydrocarbures totaux sur la colonne d'eau par cellule, été (gauche) et hiver (droite)

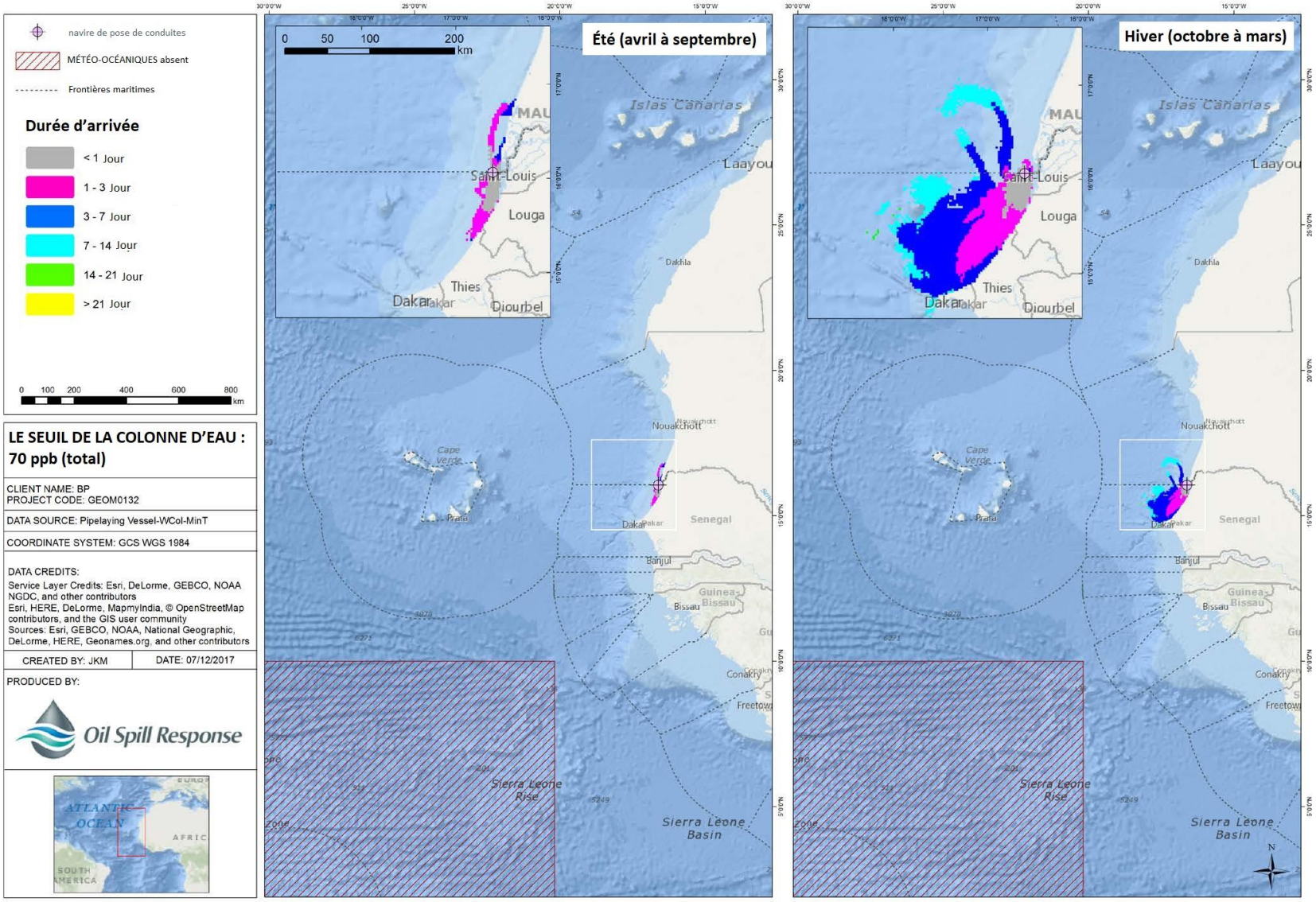


Figure 17 : Collision avec un navire de pose de conduites, temps minimum d'arrivée des hydrocarbures totaux dans la colonne d'eau, été (gauche) et hiver (droite)

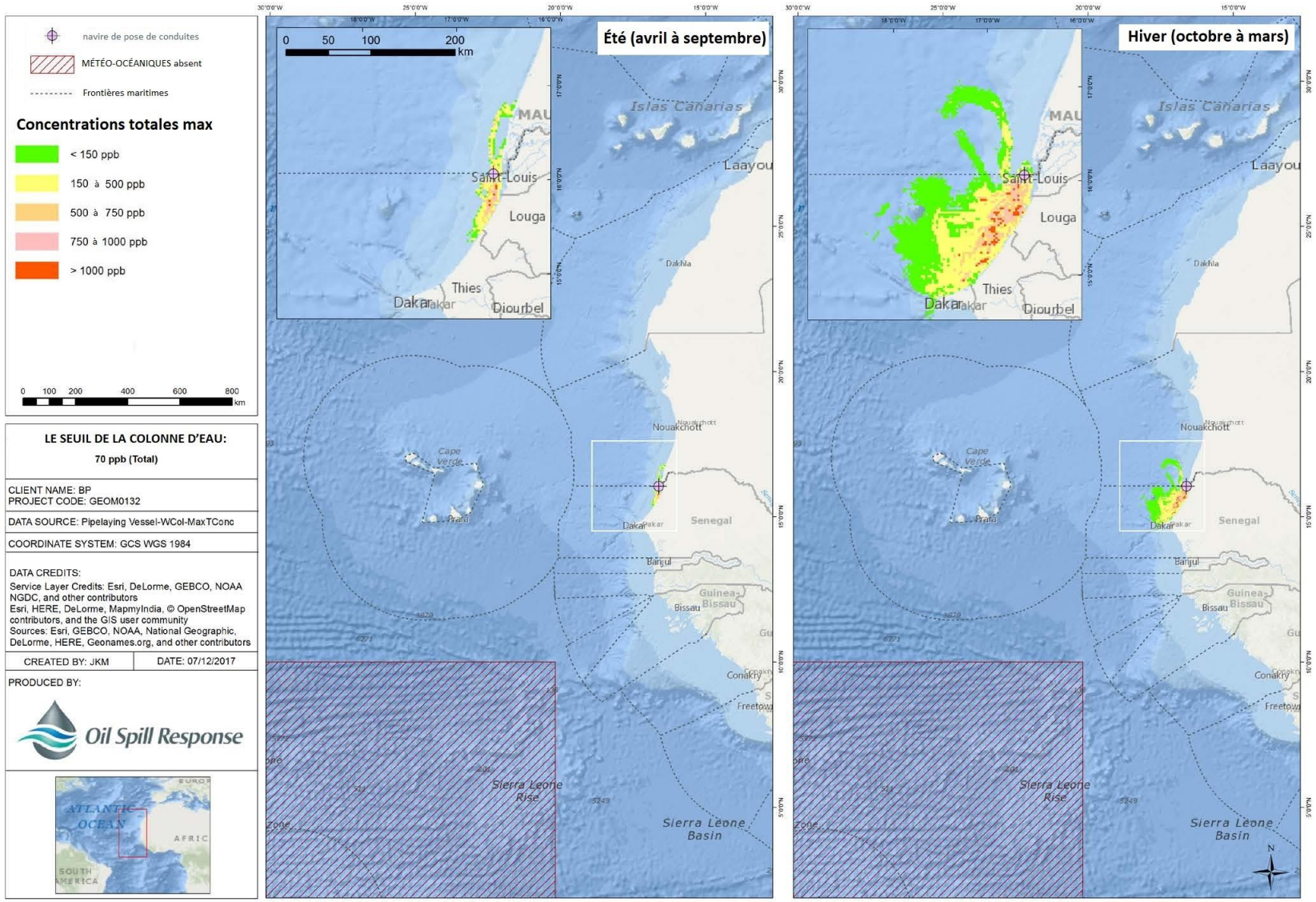


Figure 18 : Collision avec un navire de pose de conduites, concentrations en hydrocarbures totaux dans la colonne d'eau, été (gauche) et hiver (droite)

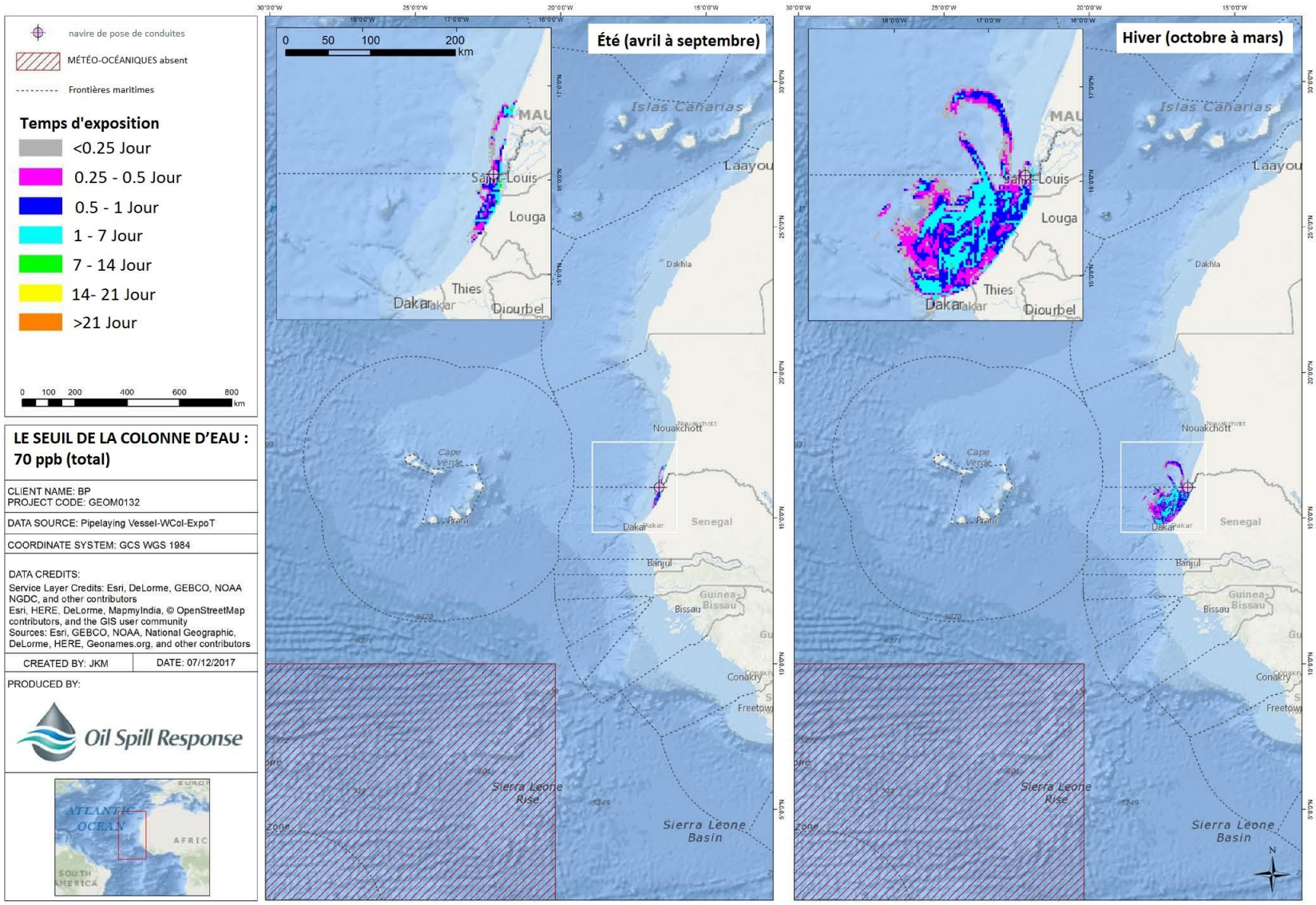


Figure 19 : Collision avec un navire de pose de conduites, durée maximum d'exposition de la colonne d'eau aux hydrocarbures totaux, été (gauche) et hiver (droite)

2.2 Comparaison entre hiver et été

Le tableau 9 résume les résultats des simulations stochastiques réalisées pour chaque scénario au large du Sénégal. Pour plus d'informations sur les seuils utilisés lors du post-traitement des données, voir la section 1.4.

Tableau 9 : Résumé des résultats stochastiques

Résumé de la modélisation des déversements d'hydrocarbures		
Scénario et description du déversement	Collision avec un navire de pose de conduites, été	Collision avec un navire de pose de conduites, hiver
Traverse une frontière maritime		
Cap Vert	- -	11 % 17 jours, 15 heures
Mauritanie	43 % < 1 heure	13 % 3 heures
Sénégal	100 % < 1 heure	100 < 1 heure
La Gambie	- -	6 % 14 jours, 12 heures
Impact sur les littoraux		
Mauritanie	31 % 14 heures	1 % 1 jour, 1 heure
Sénégal	99 % 11 heures	93 % 14 heures
Pire scénario d'impact sur les littoraux		
Masse d'hydrocarbures sur les côtes	4 610 t	4 523 t
Volume d'hydrocarbures sur les côtes[2]	5 469 m^3	5 365 m^3
Teneur en eau	0 %	0 %
Volume d'émulsion sur les côtes	5 469 m^3	5 365 m^3

[2] Ce scénario combine différents hydrocarbures en une seule simulation. Ces hydrocarbures ont des propriétés spécifiques, y compris leur densité. Il est donc impossible de simuler avec précision la manière dont le volume du déversement évoluera au fil du temps et quel volume d'hydrocarbures atteindra les côtes. La valeur présentée montre le volume d'hydrocarbures altérés SI la densité relative est de 0,843 kg/l.

Résumé de la modélisation des déversements d'hydrocarbures		
Scénario et description du déversement	Collision avec un navire de pose de conduites, été	Collision avec un navire de pose de conduites, hiver
Zones d'intérêt pour la conservation		
Canyon de Kayar	- -	42 % 2 jours, 18 heures
ZMP de Kayar	- -	28 % 3 jours, 6 heures
Complexe du mont sous-marin de Kayar	- -	11 % 4 jours, 21 heures
Réserve naturelle du Chat Tboul	< 1 % 4 jours, 12 heures	- -
Habitats côtiers, zone néritique, extrême nord de la Mauritanie	87 % 6 heures	20 % 6 heures
Zone de convergence, AIEB Canaries Guinée	- -	8 % 8 jours
Rupture du plateau continental au nord du Sénégal IBA	2 % 1 jour, 9 heures	58 % 3 heures
ZMP de Saint Louis	99 % 6 heures	100 % 6 heures

2.3 Pire scénario de déversement d'hydrocarbures

Les résultats de trajectoire sont générés par la simulation d'un scénario de déversement unique dans des conditions particulières à une date donnée. La trajectoire « la plus défavorable » a été choisie à partir de chaque groupe de trajectoires composant la stochastique, pour étudier plus en détail le devenir et le comportement des hydrocarbures au cours de la simulation.

Dans le présent rapport, les trajectoires les plus défavorables sont définies comme suit :

- La trajectoire permettant à la **plus grande quantité d'hydrocarbures d'atteindre la côte**

Tableau 10 : Principaux résultats du scénario 1

		SimTraj(107) Été	SimTraj(150) Hiver
Mise en place du modèle	**Localisation des déversements**	Tortue Phase-1 Navire de pose de conduites	
	Masse totale déversée	5 882,7 t	
Premier impact sur le littoral		2 jours	1 jour, 9 heures
Masse maximum d'hydrocarbures sur les côtes		4610 t	4 523 t
Délai sous lequel la masse maximum d'hydrocarbures a atteint la côte		4 jours, 12 heures	9 jours, 12 heures

Les chiffres suivants sont présentés :

Trajectoire de la majeure partie des nappes d'hydrocarbures vers les côtes

Figure 20 : Graphe du bilan massique pour une collision avec un Navire poseur de conduites en été

Figure 21 : Graphe du bilan massique pour une collision avec un Navire poseur de conduites en hiver

Figure 22 : Superficie totale impactée par une collision avec un navire de pose de conduites, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 23 : Concentration maximum globale d'hydrocarbures dissous, été (gauche) et hiver (droite)

Figure 24 : Concentration globale maximum en hydrocarbures totaux, été (gauche) et hiver (droite)

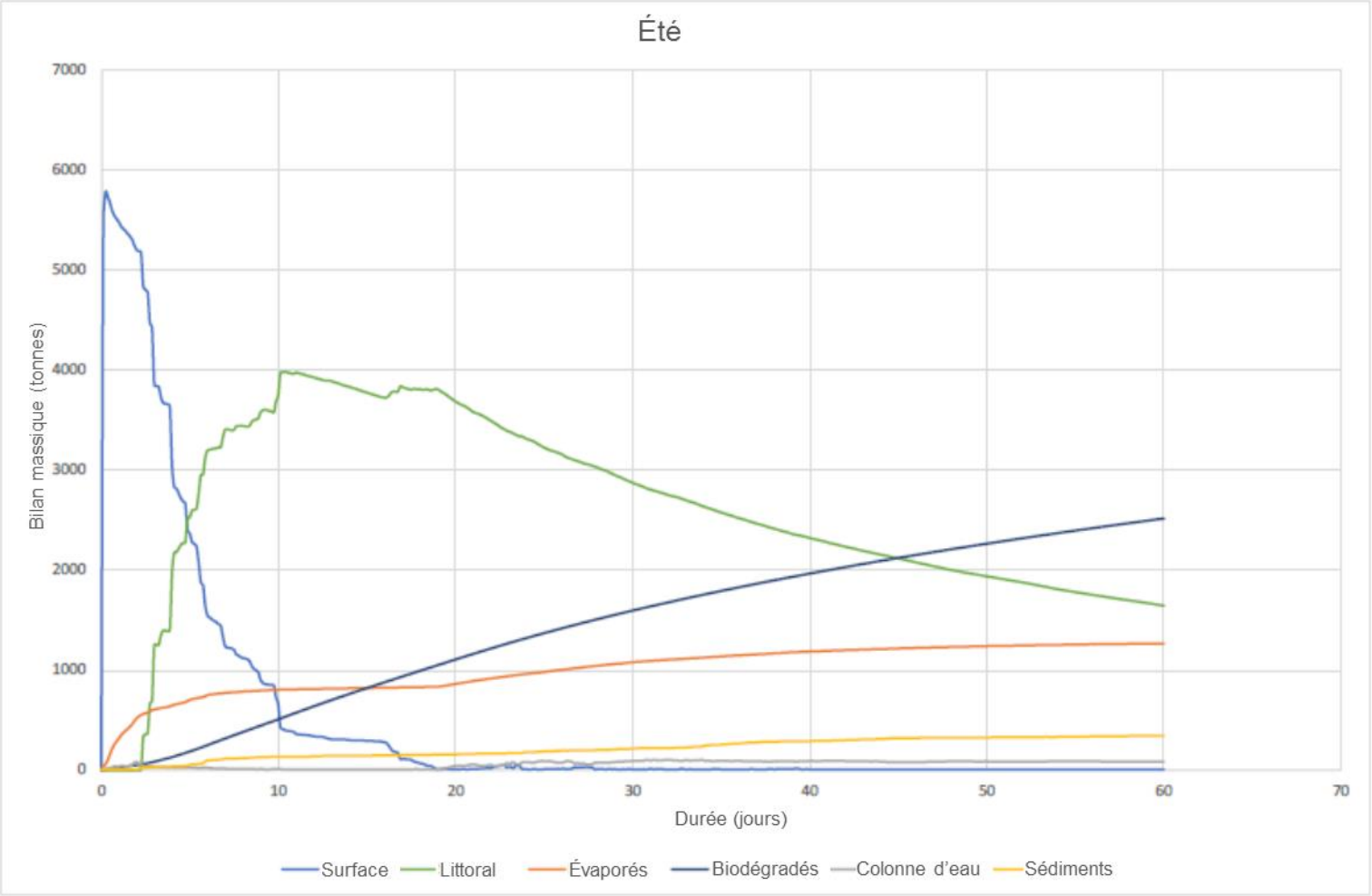


Figure 20 : Graphe du bilan massique pour une collision avec un Navire poseur de conduites en été

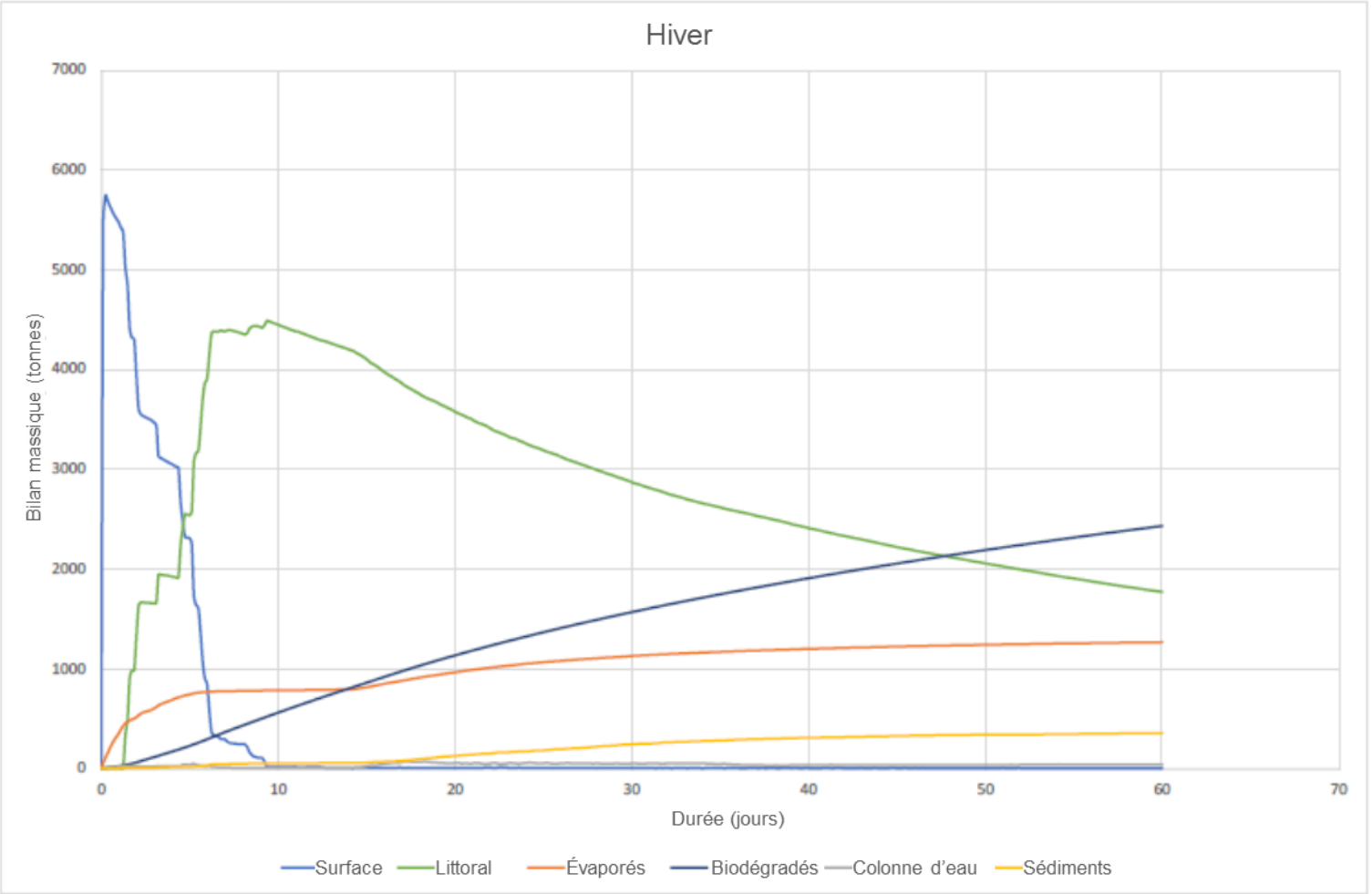


Figure 21 : Graphe du bilan massique pour une collision avec un Navire poseur de conduites en hiver

Tableau 11 : Tableau de comparaison du bilan massique pour une collision avec un Navire poseur de conduites en hiver et en été

	DEVENIR DES HYDROCARBURES (tonnes)											
	Surface		Littoral		Évaporés		Biodégradés		Colonne d'eau		Sédiments	
Temps	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver
0,5 jour	5 678	5 635	0	0	156,2	197,7	8,604	8,469	9,988	10,8	0	0
1 jour	5 488	5 471	0	0	314,2	346,1	20,8	20,29	29,39	16,02	0	0
5 jours	2 368	2 306	2 529	2 544	702,4	737,3	181,4	222,9	22,94	30,74	48,89	11,86
10 jours	648,8	11,07	3 761	4 456	805	778,5	502,9	555,7	4,533	1,633	130,6	49,82
20 jours	2,557	2,31	3 693	3 584	862,8	959	1 101	1 130	36,45	52,91	156,8	124,4
30 jours	0,9352	2,555	2 879	2 874	1 081	1 123	1 590	1 564	87,47	47,67	213,7	242,1
40 jours	1,939	0,7551	2 325	2 413	1 190	1 194	1 960	1 904	85,17	31,71	290,7	308,8
50 jours	0,2529	0,3724	1 942	2 059	1 244	1 235	2 259	2 187	80,26	31,17	327,9	340,8
60 jours	0,1432	0,6229	1 649	1 772	1 272	1 261	2 510	2 428	78,63	35,25	342,6	356

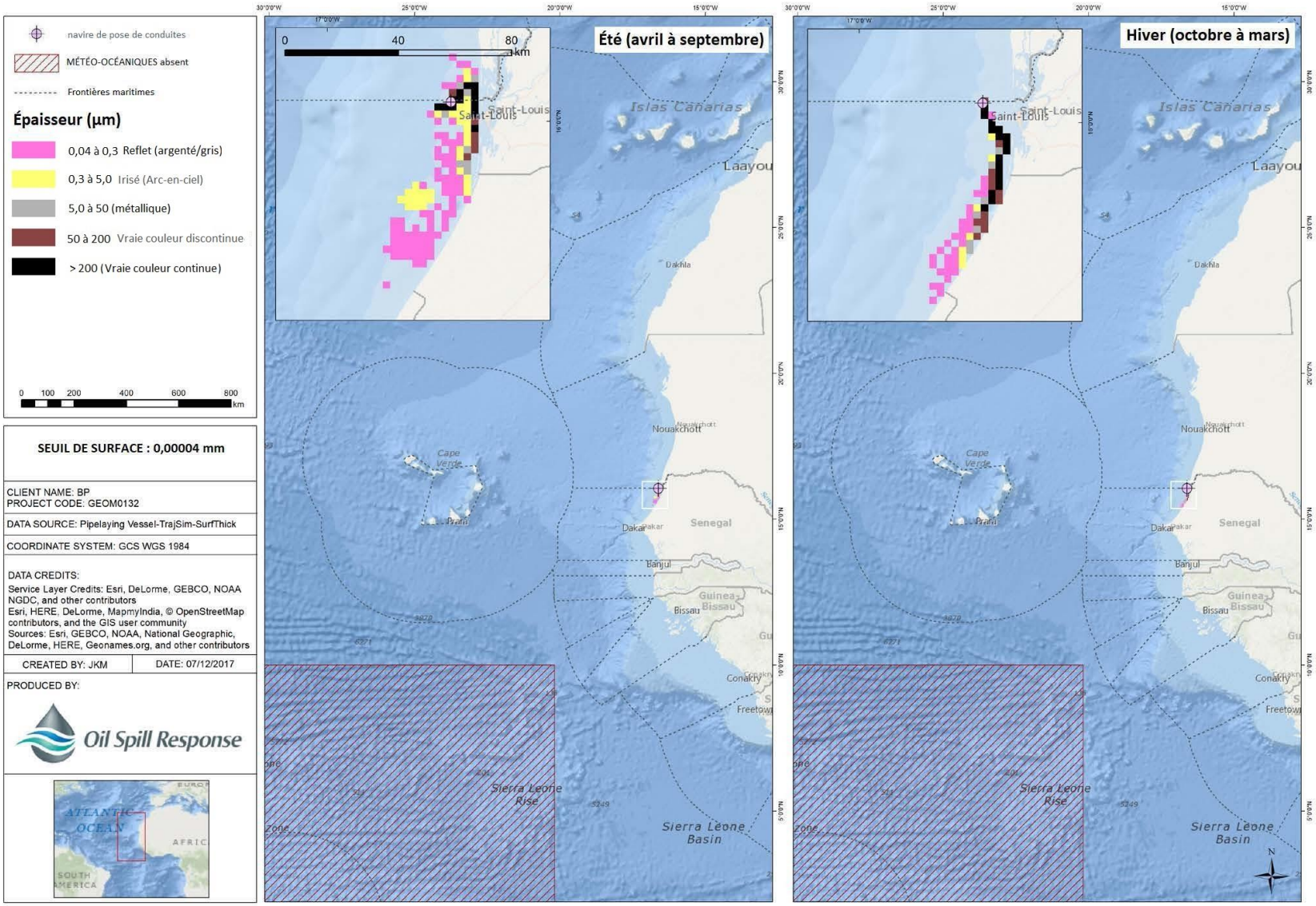


Figure 22 : Superficie totale impactée pour une collision avec un navire de pose de conduites, été (gauche) et hiver (droite)

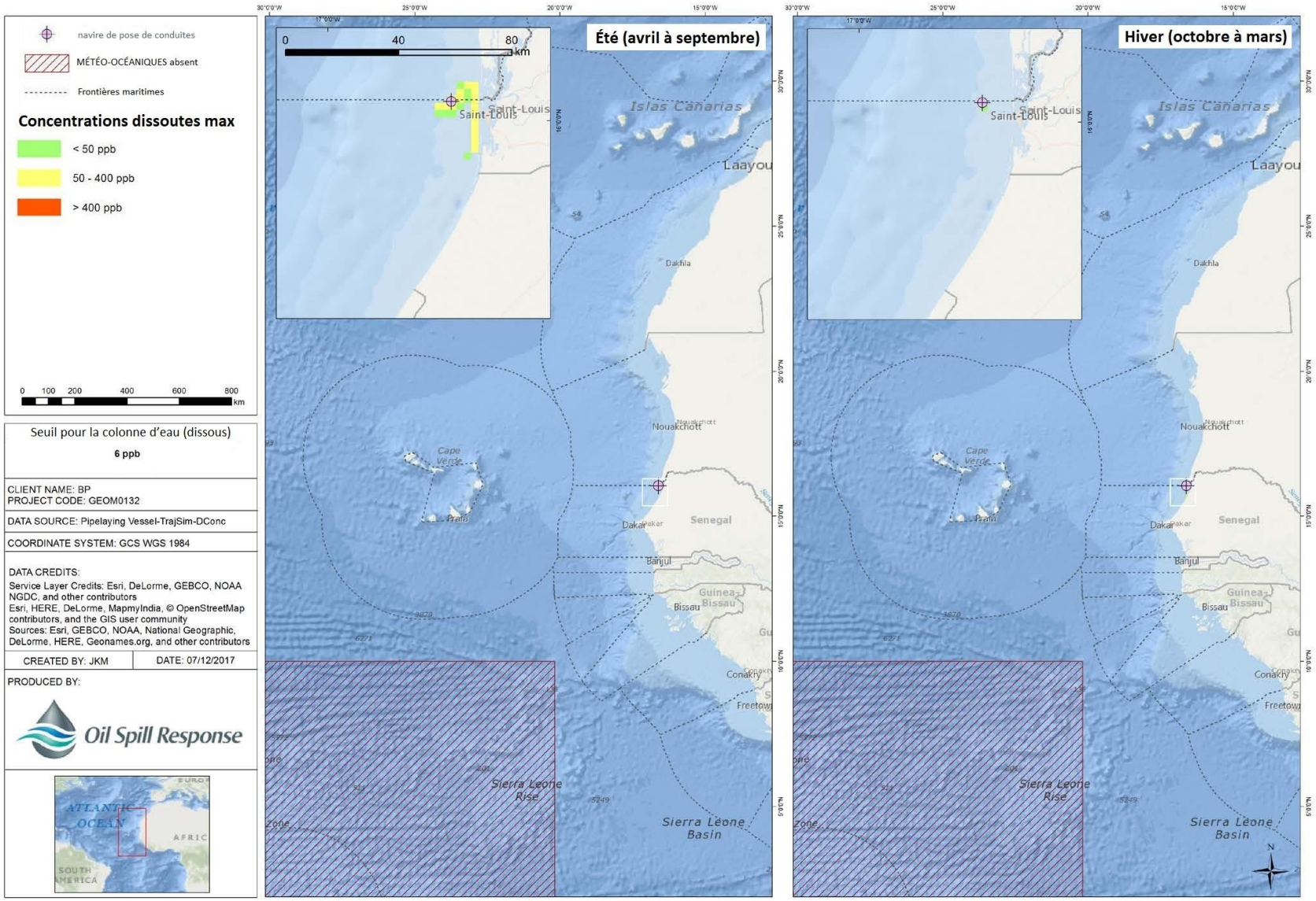


Figure 23 : Concentration maximum globale d'hydrocarbures dissous, été (gauche) et hiver (droite)

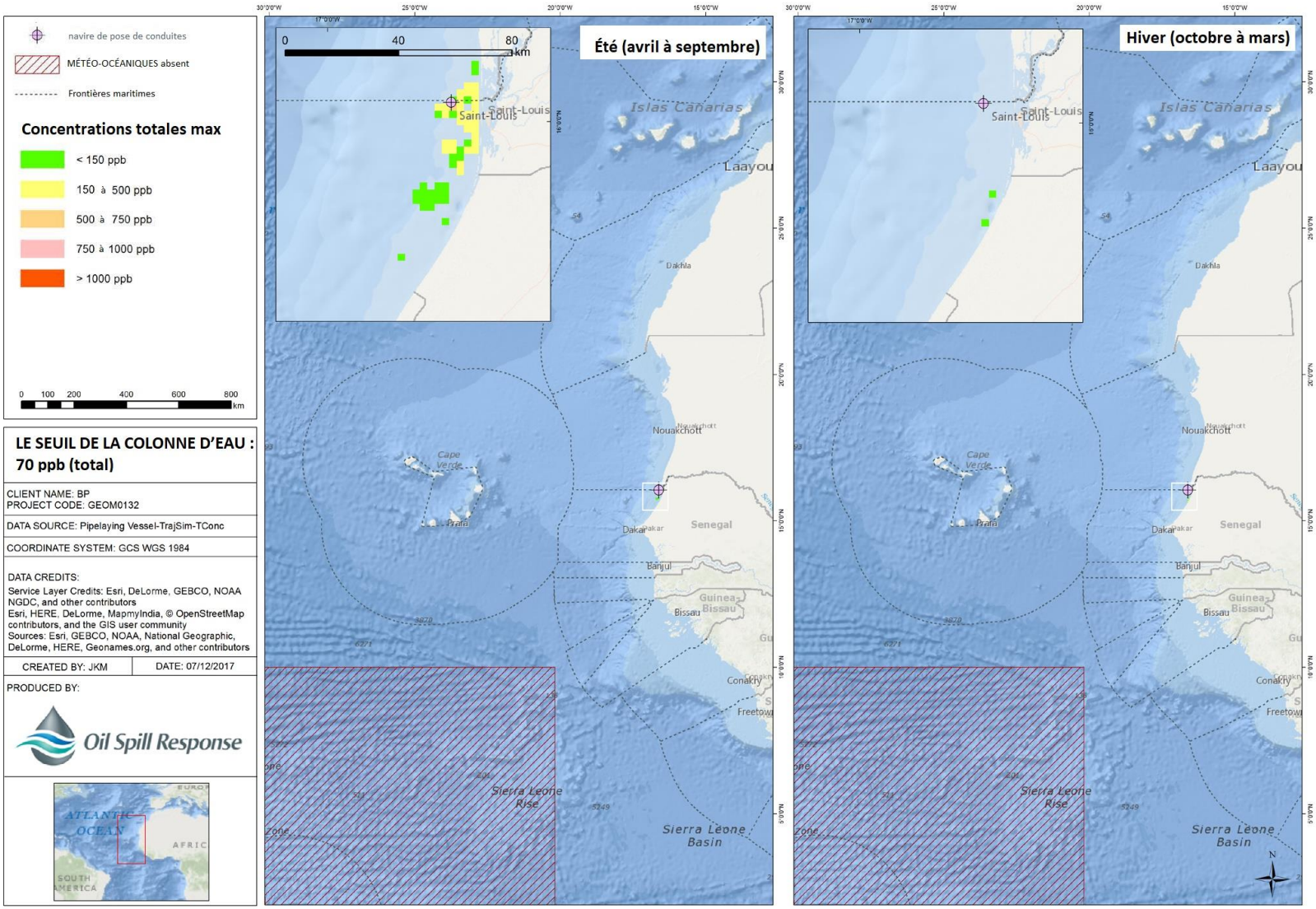


Figure 24 : Concentration globale maximum en hydrocarbures totaux, été (gauche) et hiver (droite)

3 CONCLUSION

Un scénario a été modélisé pour le projet Tortue Phase 1a au large du Sénégal et de la Mauritanie. Il impliquait une collision avec un Navire poseur de conduites entraînant le rejet de 2 980 m^3 de diesel en 3 heures, 3 370 m^3 de fuel lourd en 3,4 heures, et 92 m^3 d'huile de lubrification en 1 heure.

3.1 Impact sur le rivage

Un déversement à cet emplacement, à environ 10 km de la côte, a une probabilité de 100 % d'avoir un impact sur le littoral (impact aux hydrocarbures léger ou plus), que le déversement se produise en été ou en hiver. La Mauritanie et le Sénégal sont les deux seuls pays à risquer un impact sur le littoral, mais le Sénégal risque d'être plus sévèrement touché.

Été

Des deux saisons, l'été présente un risque plus élevé pour le littoral.

Dans le pire des scénarios, un déversement en été pourrait toucher le littoral en 2 jours après le rejet.

De même, la sévérité de l'impact sur le littoral en été variée de 1 500 t dans le meilleur des cas, à plus de 4 500 t dans le pire des cas. Il existe une probabilité de 50 % que plus de 3 400 t puissent impacter les côtes[3].

On estime que l'impact sur le littoral pendant les mois d'été serait au moins modéré. De plus, il existe une probabilité de 9 % d'impact fort du littoral et de 91 % d'impact modéré. Spatialement, on estime que seuls quelques km seraient impactés de manière importante, mais un impact modéré pourrait toucher jusqu'à 62 km.

Hiver

L'hiver présente moins de risques pour les côtes.

Dans le pire des cas, un déversement en hiver pourrait avoir un impact sur les côtes un peu plus d'1 jour après le rejet.

De même, la sévérité de l'impact sur le littoral en hiver varie de quelques tonnes dans le meilleur des cas, à plus de 4 500 t dans le pire des cas. Il existe une probabilité de 50 % que plus de 2900 t puissent atteindre les côtes[3]. Cela représente 500 tonnes de moins que pour le scenario Eté.

Il existe une probabilité de 1 % d'impact fort du littoral, 91 % d'impact modéré et 1 % de risque d'impact léger. Spatialement, on estime que seuls quelques km seraient touchés par impact fort, mais un impact modéré pourrait affecter jusqu'à 58 km.

3.2 Impact en surface

Les eaux du Sénégal sont plus que susceptibles d'être impactées par ce scénario de déversement, quelle que soit la saison, mais dans certains scénarios, la Mauritanie pourrait ne pas être impactée du fait d'un courant s'écoulant vers le sud. Seuls deux pays sont associés à un risque durant l'été, cependant, dans le scénario hivernal, quatre pays pourraient être impactés, bien que le Cap-Vert et la Gambie n'aient respectivement que 11 et 6 % de risques d'être concernés.

Les eaux du Sénégal et de la Mauritanie pourraient se voir affecter par une nappe d'une épaisseur supérieure à 5 µm, épaisseur qui rendrait possible le recours à des techniques de

[3] Calculé à partir de la Figure 11

confinement et de récupération. Les eaux des autres pays voisins pourraient être affectées par des irisations huileuses en surface en hiver, mais pas en été. Pendant l'hiver, les irisations huileuses sur les eaux de surface ne présentent pas une épaisseur suffisante pour permettre l'efficacité d'équipements de confinement et de récupération.

ANNEXE A. DONNÉES D'ENTRÉE FOURNIES AU MODÈLE

	Scénario 1	Scénario 2	
Description	Collision avec un navire de pose de conduites, été	Collision avec un navire de pose de conduites, hiver	
Latitude	16° 03' 41.31" N	16° 03' 41.31" N	
Longitude	016° 36' 23.652" W	016° 36' 23.652" W	
Période de l'année	avril à septembre	octobre à mars	
Profondeur des déversements	Surface (0 m)		
Vitesse de rejet	993,3 m^3/h : diesel 991,2 m^3/h : fioul lourd 92 m^3/h : huile de lubrification		
Durée du rejet	3 h : diesel 3,4 h : fioul lourd 1 h : huile de lubrification		
Durée après arrêt	60 jours		
Durée totale du modèle	60 jours		
Type d'hydrocarbures	Diesel	Fioul lourd	Huile de lubrification
Densité API	36,4	15,1	33,8
Densité relative	0,843	0,965	0,856
Viscosité (cP)	3,9	10 000	17,0
Point d'écoulement (°C)	-36,0	20,0	-39,0
Cire (%)	-	-	-
Asphaltènes (%)	-	-	0,10
Diamètre de l'orifice de rejet (m)	Sans objet		
Rapport gaz/pétrole (GOR, Sm^3/m^3)	Sans objet		
Densité du gaz (kg/Sm^3)	Sans objet		

ANNEXE B. DONNÉES MÉTÉO-OCÉANIQUES

Tableau 12 : Données actuelles : description générale

Nom	G0132-Curr01		
Description	Source : BMT ARGOSS. Les données sont constituées de la mise en commun des données HYCOM mondiales avec superposition du modèle de marée BMT ARGOSS.		
Période de début	Janvier 2009	**Résolution spatiale**	env. 9 km
Période de fin	Décembre 2011	**Résolution temporelle**	1 heure
Niveaux de profondeur [m]	0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500		

La base de données d'hydrodynamique est construite à partir des champs de vitesse de courant 3D, adaptés à une utilisation dans les simulations impliquant des hydrocarbures. Il s'agit des courants océaniques (résiduels non liés à la marée) issus d'un modèle mondial de circulation océanique, combinés à la vitesse des courants de marée.

Les informations sur les courants de marée sont obtenues de BMT ARGOSS à partir de l'intégration d'environ 5000 stations marégraphiques et de 15 ans d'altimétrie radar par satellite dans des modèles de marées mondiales et régionales (modèle 2DH). Le modèle de marée fournit les courants de marée (composants u, v) ainsi que l'élévation de la surface. La résolution spatiale du modèle de marée varie de 1/60 à 1/12 de degré à l'échelle mondiale.

La structure verticale de la composante du courant de marée est établie à l'aide d'un profil logarithmique qui fournit une représentation fiable des courants de marée à différentes profondeurs dans les mers du plateau continental. Le modèle de marée fournit des données à une résolution spatiale de 4 minutes dans la zone d'intérêt et peut être fourni en incréments de temps selon les besoins du client.

Les courants océaniques sont obtenus à partir d'un modèle mondial des courants océaniques (HYCOM), présentant les caractéristiques suivantes :

Résolution spatiale : 1/12 de degré (ne peut être affinée davantage)

Résolution temporelle : quotidienne (ne peut être affinée davantage, excepté par interpolation)

Types de données : vitesse et direction du courant 3D

Profondeur : les ensembles de données 3D comprennent jusqu'à 33 couches de profondeur allant de la surface au plancher océanique et réparties sur la colonne d'eau. Les couches individuelles et leur répartition sur la colonne d'eau varient et dépendent de la profondeur locale.

Disponibilité : 2009 à 2012

Les données résultantes, représentatives de la vitesse totale du courant, sont fournies sous forme de vecteurs de courant par heure, à des niveaux de profondeur choisis, à une résolution spatiale de 1/12 de degré dans la zone d'intérêt. Il est à noter que dans les eaux profondes, au-delà du talus continental, la vitesse du courant de marée serait négligeable.

Les résolutions temporelles d'une heure sont considérées comme étant optimales car des résolutions temporelles plus grandes ne permettraient pas de refléter correctement la variabilité des données dans les régions où les courants de marée constituent une composante clé du courant total.

Tableau 13 : Données relatives au vent : description générale

Nom	G0132-Wind01		
Description	Source : BMT ARGOSS. L'ensemble de données est constitué des données mondiales du NCEP CFRS, étalonné par BMT ARGOSS en fonction des mesures d'altimétrie par satellite et de diffusiomètre.		
Période de début	Janvier 2009	**Résolution spatiale**	env. 35 km
Période de fin	Décembre 2011	**Résolution temporelle**	3 heures
Niveau d'altitude	L'ensemble de données comprend des valeurs horaires moyennes de la vitesse du vent à 10 m au-dessus du niveau de la mer.		

Les vents sont fournis sous forme de valeurs moyennes horaires des composantes de vitesse nord et est à 10 m au-dessus du niveau de la mer. Les données proviennent de l'ensemble de données globales du NCEP, étalonnées par BMT ARGOSS en fonction des mesures d'altimétrie par satellite et de diffusiomètre. Les données sources sont disponibles à une résolution spatiale de 0,5° x 0,5° et à 3 pas de temps horaires.

ANNEXE C. MAILLAGE DE L'HABITAT

Tableau 14 : Détails du domaine de l'habitat

Nom	Étendue du domaine			
G0132-Hab02	Bas	Haut	Gauche	Droite
	05° 00' 00'' N	25° 00' 00'' N	030° 00' 00'' O	010° 00' 00'' O
	Nombre de cellules		Résolution du maillage	
	Est à Ouest	Nord à Sud	Est à Ouest	Nord à Sud
	858	888	2 500 km	2 500 km
	Taille du gisement			
	Est à Ouest		Nord à Sud	
	2 145 km		2 220 km	

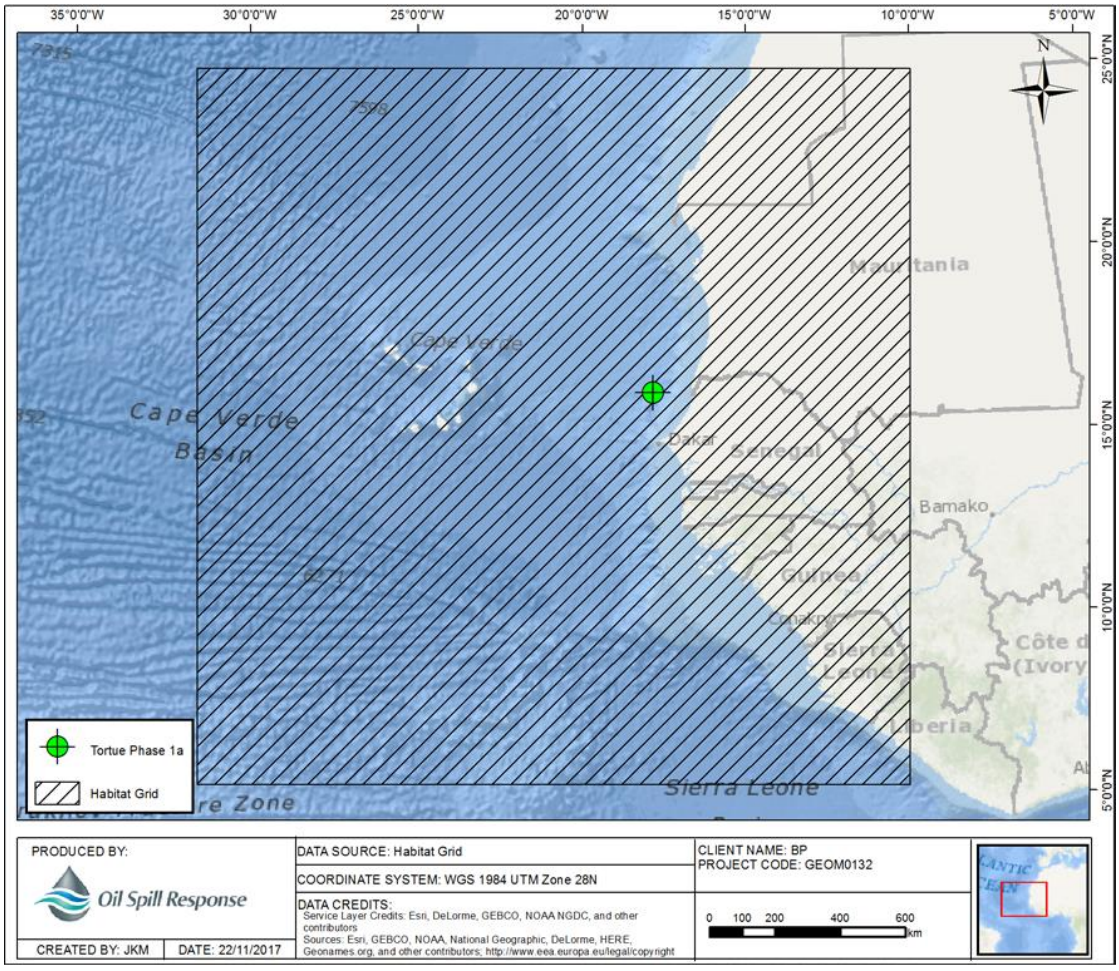


Figure 25 : étendue du maillage habitat utilisé dans cette étude

ANNEXE D. CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DES HYDROCARBURES

Les composants présents dans le pétrole sont classés en deux groupes principaux : les hydrocarbures et les non-hydrocarbures (voir Figure 29). Si le pétrole est riche en alcanes C1-12, il est particulièrement léger car il contient des composants plus légers que les alcanes C25+. Inversement, un pétrole est dit « lourd » lorsqu'il contient de grandes quantités d'alcanes C25+, de résines et d'asphaltènes.

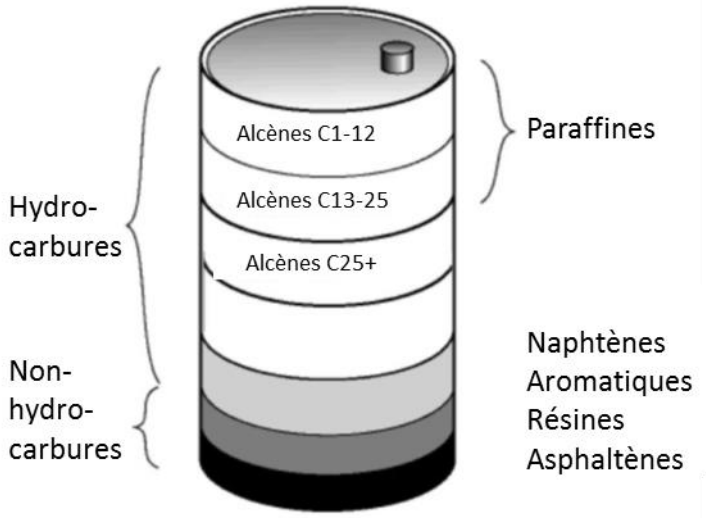


Figure 26 : La composition chimique du pétrole brut

La composition chimique du pétrole est importante lorsqu'il s'agit de prédire sa dégradation ou sa résilience. Par exemple, d'hydrocarbures contenant principalement des composants légers va perdre un volume plus important sous l'effet de l'évaporation que d'hydrocarbures lourd. Les pétroles dont la chaîne carbonée est supérieure à 15 (C15+) ne peuvent s'évaporer, même pendant de grandes tempêtes. Les longues chaînes (par exemple, alcanes C25+) mettent beaucoup de temps à se dégrader dans la colonne d'eau. Les asphaltènes peuvent augmenter la stabilité du pétrole, lui permettant d'absorber l'eau mais empêchant l'émulsion pétrole-eau de se décomposer.

D'hydrocarbures étant un mélange complexe de composés organiques, ses composants doivent être analysés pour le caractériser efficacement (LECO Corporation, 2012). Les composants du pétrole peuvent être « identifiés » et tracés à l'aide d'instruments de chromatographie en phase gazeuse couplés à des spectromètres de masse (voir Bacher, 2014, pour plus d'informations). Les résultats de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse sont convertis en une liste de 25 sous-composants, répartis dans la base de données pétrolières OSCAR. Chacun des 25 sous-composants est caractérisé par son poids moléculaire, sa densité, sa viscosité, son point d'ébullition, sa solubilité dans l'eau, sa pression de vapeur et son coefficient de partage entre pétrole et eau.

La base de données des types d'hydrocarbures OSCAR

Une des forces du modèle OSCAR réside dans sa base de données d'observation des propriétés de dégradation des hydrocarbures (teneur maximum en eau, viscosité, distribution granulométrique des gouttelettes, évaporation, émulsification et dispersion, mesurées dans un large éventail de conditions). La base de données pétrolière contient des renseignements complets sur la dégradation de 340 pétroles bruts et autres produits pétroliers. Elle contient également des données d'analyse du pétrole brut pour environ 170 autres pétroles bruts (issues de la base de données HPI : HPI, 1987).

Mais ces pétroles n'ayant pas été testés en laboratoire, on utilise des estimations modélisées du processus d'altération plutôt que des données d'observation. Cela réduit la fiabilité du modèle.

Correspondance de pétroles

Trois pétroles testés en laboratoire ont été sélectionnés pour cette étude de modélisation sur la base des informations fournies par BP.

Les propriétés des pétroles modélisés sont présentées dans les tableaux 14, 15 et 16. Les figures 30, 31 et 32 référencent les sous-composants des pétroles modélisés et leur fraction en pourcentage.

Tableau 15 : Propriétés du diesel modélisé

Nom	Densité relative	Viscosité (cP)	Point d'écoulement[3]* (°C)	Teneur en cire (%)	Asphaltènes (%)
Diesel client	0,843	3,9	-36,0	-	-
Diesel modélisé	0,843	3,9	-36,0	-	-

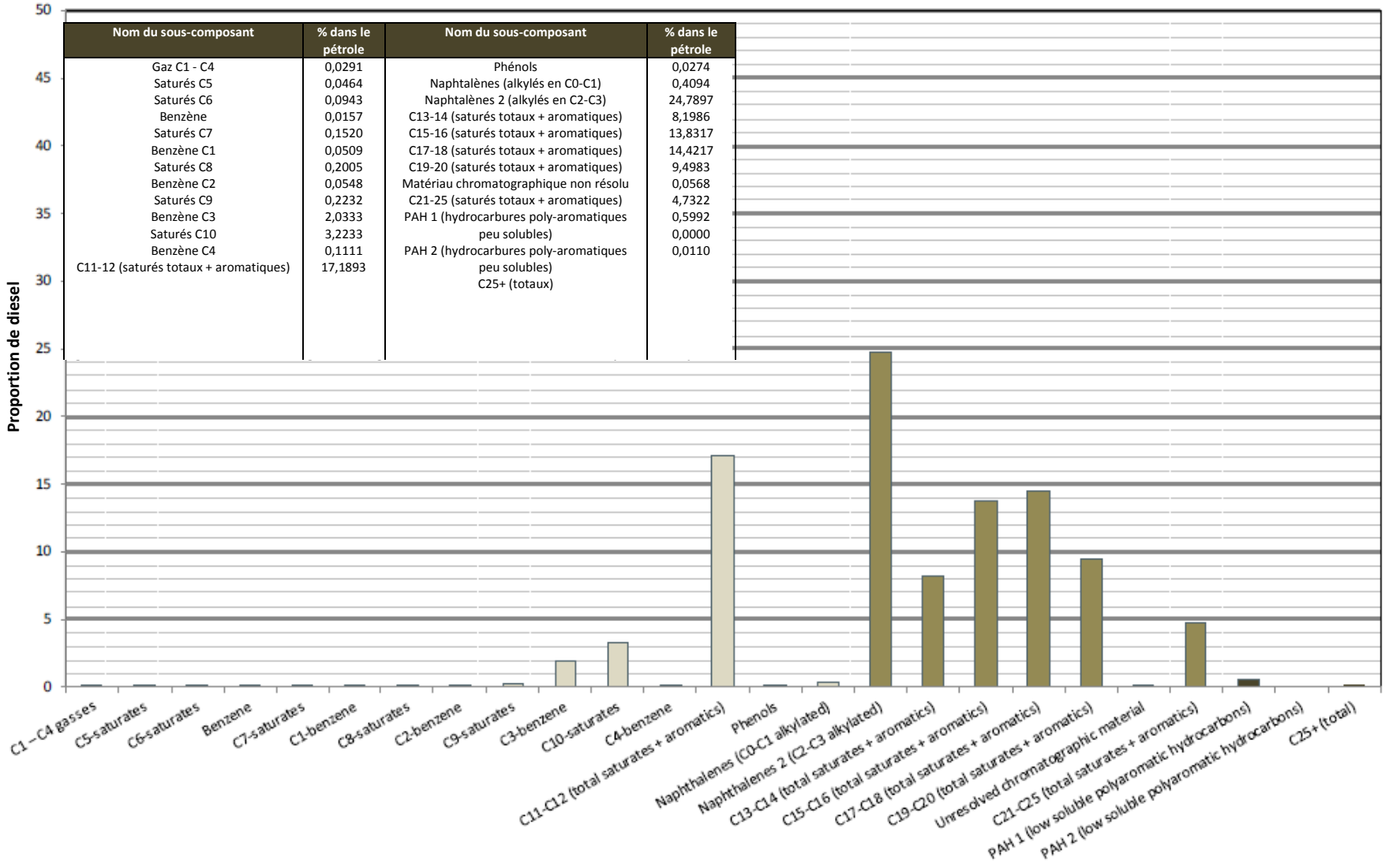
Tableau 16 : Propriétés du fioul lourd modélisé

Nom	Densité relative	Viscosité (cP)	Point d'écoulement[3]* (°C)	Teneur en cire (%)	Asphaltènes (%)
Fioul lourd client	0,965	10 000	20,0	-	-
Fioul lourd modélisé	0,965	10 000	20,0	-	-

Tableau 17 : Propriétés de l'huile de lubrification modélisée

Nom	Densité relative	Viscosité (cP)	Point d'écoulement[3]* (°C)	Teneur en cire (%)	Asphaltènes (%)
Huile de lubrification client	0,837	46	-54,0	-	-
Huile lubrifiante modélisée	0,856	17,0	-39,0	-	0,10

[3] En raison des algorithmes du modèle, le point d'écoulement est de moindre importance lors de la correspondance de pétroles.



Nom du sous-composant	% dans le pétrole	Nom du sous-composant	% dans le pétrole
Gaz C1 - C4	0,0291	Phénols	0,0274
Saturés C5	0,0464	Naphtalènes (alkylés en C0-C1)	0,4094
Saturés C6	0,0943	Naphtalènes 2 (alkylés en C2-C3)	24,7897
Benzène	0,0157	C13-14 (saturés totaux + aromatiques)	8,1986
Saturés C7	0,1520	C15-16 (saturés totaux + aromatiques)	13,8317
Benzène C1	0,0509	C17-18 (saturés totaux + aromatiques)	14,4217
Saturés C8	0,2005	C19-20 (saturés totaux + aromatiques)	9,4983
Benzène C2	0,0548	Matériau chromatographique non résolu	0,0568
Saturés C9	0,2232	C21-25 (saturés totaux + aromatiques)	4,7322
Benzène C3	2,0333	PAH 1 (hydrocarbures poly-aromatiques peu solubles)	0,5992
Saturés C10	3,2233	PAH 2 (hydrocarbures poly-aromatiques peu solubles)	0,0000
Benzène C4	0,1111	C25+ (totaux)	0,0110
C11-12 (saturés totaux + aromatiques)	17,1893		

Image 27 : Composition chimique du diesel modélisé

Nom du sous-composant	% dans le pétrole	Nom du sous-composant	% dans le pétrole
Gaz C1 - C4	0,0000	Phénols	0,0007
Saturés C5	0,0000	Naphtalènes (alkylés en C0-C1)	0,0240
Saturés C6	0,0000	Naphtalènes 2 (alkylés en C2-C3)	0,0286
Benzène	0,0000	C13-14 (saturés totaux + aromatiques)	0,4815
Saturés C7	0,0000	C15-16 (saturés totaux + aromatiques)	0,3977
Benzène C1	0,0000	C17-18 (saturés totaux + aromatiques)	0,4928
Saturés C8	0,0000	C19-20 (saturés totaux + aromatiques)	0,3784
Benzène C2	0,0000	Matériau chromatographique non résolu	0,0104
Saturés C9	0,0000	C21-25 (saturés totaux + aromatiques)	0,8621
Benzène C3	0,0913	PAH 1 (hydrocarbures poly-aromatiques peu solubles)	0,0172
Saturés C10	0,2382		
Benzène C4	0,0082	PAH 2 (hydrocarbures poly-aromatiques peu solubles)	0,0079
C11-12 (saturés totaux + aromatiques)	0,4458	C25+ (totaux)	96,5153

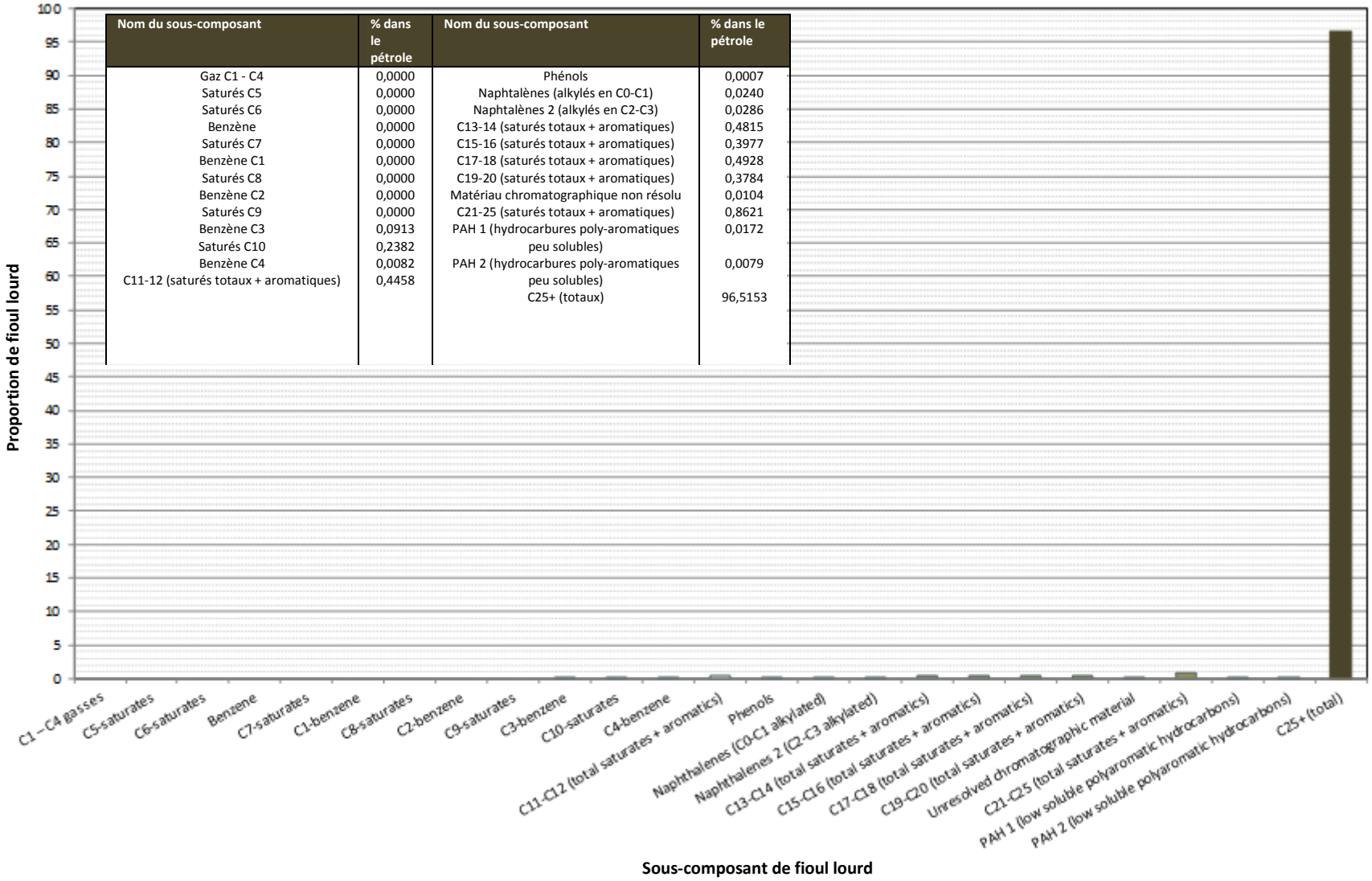
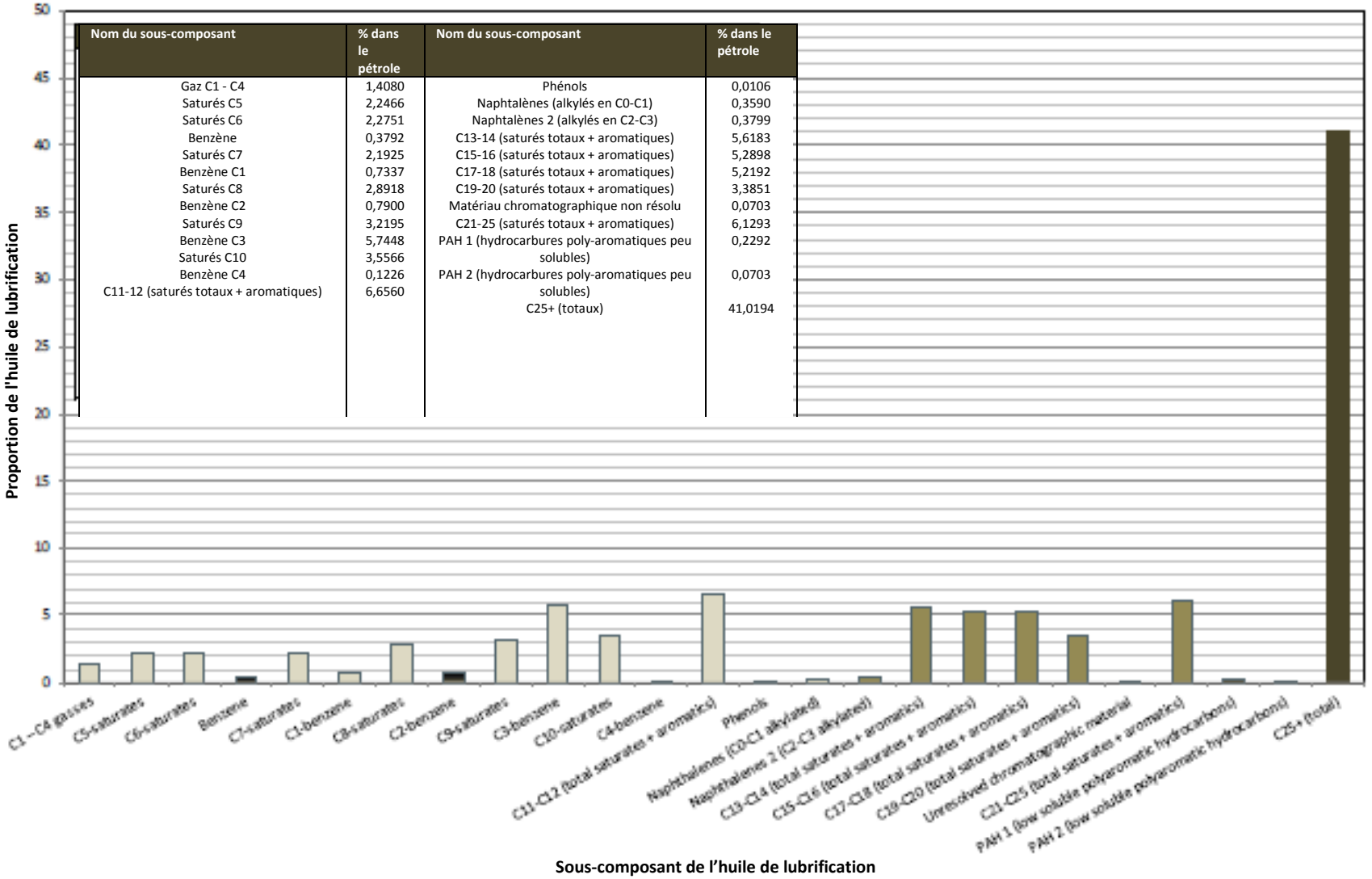


Figure 28 : Composition chimique du fioul lourd modélisé



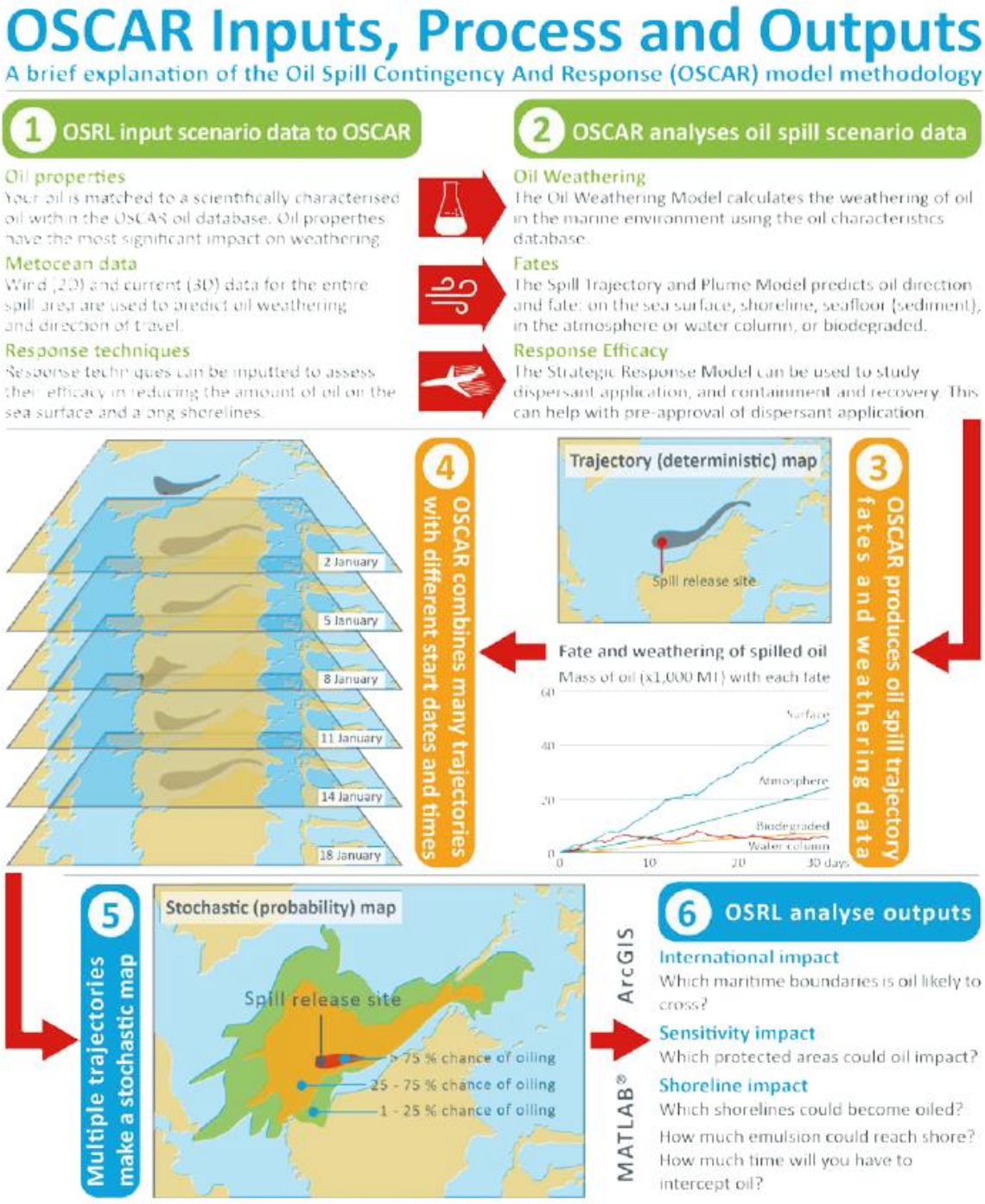
Nom du sous-composant	% dans le pétrole	Nom du sous-composant	% dans le pétrole
Gaz C1 - C4	1,4080	Phénols	0,0106
Saturés C5	2,2466	Naphtalènes (alkylés en C0-C1)	0,3590
Saturés C6	2,2751	Naphtalènes 2 (alkylés en C2-C3)	0,3799
Benzène	0,3792	C13-14 (saturés totaux + aromatiques)	5,6183
Saturés C7	2,1925	C15-16 (saturés totaux + aromatiques)	5,2898
Benzène C1	0,7337	C17-18 (saturés totaux + aromatiques)	5,2192
Saturés C8	2,8918	C19-20 (saturés totaux + aromatiques)	3,3851
Benzène C2	0,7900	Matériau chromatographique non résolu	0,0703
Saturés C9	3,2195	C21-25 (saturés totaux + aromatiques)	6,1293
Benzène C3	5,7448	PAH 1 (hydrocarbures poly-aromatiques peu solubles)	0,2292
Saturés C10	3,5566		
Benzène C4	0,1226	PAH 2 (hydrocarbures poly-aromatiques peu solubles)	0,0703
C11-12 (saturés totaux + aromatiques)	6,6560	C25+ (totaux)	41,0194

Figure 29 : Composition chimique de l'huile de lubrification modélisée

ANNEXE E. LOGICIEL ET MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DES DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES

Ce projet a été réalisé à l'aide de la version OSCAR contenue dans le logiciel MEMW 8.0 (Marine Environmental Modelling Workbench), modèle ayant été entièrement validé et étalonné à l'aide de diverses observations sur le terrain de plusieurs déversements d'hydrocarbures expérimentaux (Reed et al., 1995,1996).

OSCAR prédit le déplacement des hydrocarbures à la surface de l'eau et dans toute la colonne d'eau. OSCAR se compose de plusieurs modules associés activés selon les besoins. L'infographie suivante illustre le processus de modélisation OSCAR.


OSCAR Inputs, Process and Outputs
A brief explanation of the Oil Spill Contingency And Response (OSCAR) model methodology
1 OSRL input scenario data to OSCAR
Oil properties
Your oil is matched to a scientifically characterised oil within the OSCAR oil database. Oil properties have the most significant impact on weathering.
Metocean data
Wind (2D) and current (3D) data for the entire spill area are used to predict oil weathering and direction of travel.
Response techniques
Response techniques can be inputted to assess their efficacy in reducing the amount of oil on the sea surface and along shorelines.
2 OSCAR analyses oil spill scenario data
Oil Weathering
The Oil Weathering Model calculates the weathering of oil in the marine environment using the oil characteristics database.
Fates
The Spill Trajectory and Plume Model predicts oil direction and fate: on the sea surface, shoreline, seafloor (sediment), in the atmosphere or water column, or biodegraded.
Response Efficacy
The Strategic Response Model can be used to study dispersant application, and containment and recovery. This can help with pre-approval of dispersant application.
2 January
5 January
8 January
11 January
14 January
18 January
4 OSCAR combines many trajectories with different start dates and times
Trajectory (deterministic) map
Spill release site
Fate and weathering of spilled oil
Mass of oil (x1,000 Ml) with each fate
Surface
Atmosphere
Biodegraded
Water column
0
10
20
30 days
3 OSCAR produces oil spill trajectory fates and weathering data
5 Multiple trajectories make a stochastic map
Stochastic (probability) map
Spill release site
> 75 % chance of oiling
25 - 75 % chance of oiling
1 - 25 % chance of oiling
ArcGIS
MATLAB®
6 OSRL analyse outputs
International impact
Which maritime boundaries is oil likely to cross?
Sensitivity impact
Which protected areas could oil impact?
Shoreline impact
Which shorelines could become oiled?
How much emulsion could reach shore?
How much time will you have to intercept oil?

ANNEXE F. GLOSSAIRE DES TERMES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

°C	Degrés Celsius (1 °C = 33,8 °Fahrenheit)
µm	Micromètre (1 µm = 10^{-6} m)
API	American Petroleum Institute
Densité API	La densité API, comme la densité relative, est un rapport entre les densités du pétrole et de l'eau. Contrairement à la densité relative, la densité API n'est utilisée que pour décrire les hydrocarbures, les catégories sont les suivantes : • Léger - API > 31,1 • Moyen - API entre 22,3 et 31,1 • Lourd - API < 22,3 • Extra lourd - API < 10,0 La densité API est convertie en densité relative à l'aide de la formule suivante : *densité API = (141,5/densité relative) - 131,5* Une API de 10 est équivalente à celle de l'eau, donc les pétroles dont l'API est supérieure à 10 flotteront sur l'eau tandis que ceux dont l'API est inférieure à 10 couleront. Voir aussi : *Densité relative, API*
ArcGIS	Système d'information géographique (SIG) utilisé pour présenter les résultats d'OSCAR sur des cartes.
Teneur en asphaltène	Les asphaltènes représentent les composants du pétrole brut qui sont (1) insolubles dans le n-heptane à un rapport de dilution de 40 parties d'alcane pour 1 partie de pétrole brut et (2) se dissolvent à nouveau dans le toluène. Les asphaltènes comprennent d'hydrocarbures brut dont le poids moléculaire, la polarité et l'aromatique sont les plus élevés.
barils	Barils de pétrole (une unité de volume). (1 baril = 0,15899 m³ et 1 m³ = 6,2898 barils) La conversion entre masse et volume nécessite de connaitre la densité du pétrole. Voir aussi : *tonne, densité API, densité relative*
barils/jour	Barils de pétrole par jour (rythme).
Accord de Bonn	L'Accord de Bonn est une norme et un accord international sur la façon de caractériser la pollution et d'y répondre. Bien qu'il vise la pollution en mer du Nord (Europe), de nombreuses normes de caractérisation sont reconnues au niveau international.
FPSO	Unité flottante de production, stockage et déchargement en mer (Floating Production Diesel and Offloading) : navire flottant servant à la production, au traitement et au stockage du pétrole.
GOR	Rapport gaz/pétrole : rapport entre le débit volumétrique du gaz produit et le débit volumétrique du pétrole. Bien que le GOR soit un rapport, les unités de volume doivent être connues puisque les volumes de gaz et de pétrole sont mesurés différemment. Le GOR varie avec la température et la pression, de sorte que les conditions dans lesquelles il est mesuré doivent être connues.
ITOPF	Fédération internationale des armateurs pétroliers contre la pollution (International Tanker Owners Pollution Federation Limited)
km	Kilomètre (1 km = 1 000 m) Voir aussi : *m*
m	Mètre (1 km = 1 000 m) Voir aussi : *µm*, *km*
MATLAB	Matrix Laboratory : un environnement de calcul numérique multiparadigme et un langage de programmation utilisé dans cette étude pour la manipulation des résultats fournis par OSCAR.

MEMW	Marine Environmental Modelling Workbench : le logiciel de modélisation développé par SINTEF. Le MEMW se compose de trois modèles : • **DREAM (Modèle d'évaluation des doses, des risques et des effets)** • **OSCAR (Oil Spill Contingency and Response, Modèle de réponse et de contingence en cas de déversement d'hydrocarbure)** • **Modèle ParTrack** Combinés, ces trois modèles quantifient les effets environnementaux de la plupart des évènements d'impact chimique. Voir aussi : OSCAR, SINTEF
t	tonnes : unité de masse du pétrole. (1 t = 1 000 kg) La conversion entre la masse et le volume nécessite de connaitre l'API ou la densité relative du pétrole comme suit : barils par tonne = 1/[(141,5/ (API + 131,5) x 0,159) Voir aussi : *barils, densité API, densité relative*
NOAA	Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (National Oceanic and Atmospheric Administration) : agence américaine d'étude des conditions météorologiques et océaniques
OSCAR	Un modèle et un outil de simulation 3D à la pointe de la technologie pour la prévision du devenir et des effets des deversement d'hydrocarbures dans l'environnement marin. Développé par SINTEF, il fait partie plus généralement du logiciel de modélisation MEMW. Voir aussi : *SINTEF, MEMW*
OSRL	Oil Spill Response Limited
Point d'écoulement	Le point d'écoulement d'un liquide est la température la plus basse à laquelle il présente des caractéristiques d'écoulement. Si la température ambiante est inférieure au point d'écoulement du liquide, il commence à se solidifier.
SCAT	Technique d'évaluation du nettoyage des côtes (Shoreline Cleanup Assessment Technique)
SINTEF	SINTEF est un organisme de recherche indépendant norvégien qui développe le modèle OSCAR utilisé dans cette étude.
Densité relative	La densité relative est un rapport entre la densité d'une substance et la densité d'une substance de référence, habituellement l'eau. La densité relative d'un hydrocarbure est un rapport entre la densité de celui-ci et la densité de l'eau. Voir aussi : *densité API, barils, t*
Stochastique	Les résultats stochastiques (ou probabilistes) montrent la probabilité qu'un événement se produise. Ils fournissent des données statistiques pouvant être utilisées pour évaluer les risques et identifier les pires scénarios. Les résultats stochastiques sont obtenus en combinant différentes simulations de trajectoire. Voir aussi : *trajectoire*
Trajectoire	La trajectoire ou les résultats déterministes montrent l'impact d'un seul déversement au fil du temps. Elle peut être utilisée pour évaluer différentes options d'intervention telles que les barrages flottants, les écrémeurs et les dispersants. Voir aussi : *stochastique*
UTC	Temps universel coordonné
Teneur en cire	Représente les composants du pétrole brut qui sont solubles dans des alcanes normaux de poids moléculaire élevé (n-heptane) mais qui sont insolubles dans des alcanes de poids moléculaire inférieur (n-pentane).

ANNEXE G. RÉFÉRENCES

Bacher, A.D. (2014) 'Gas Chromatography Theory', accessible en ligne à l'adresse : http://www.chem.ucla.edu/~bacher/General/30BL/gc/theory.html, dernière consultation 31 octobre 2017.

HPI Consultants Inc. (1987) *HPI Crude Oil Assay Handbook*, première édition, Californie : États-Unis.

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (n.d.) Guide d'information technique n° 02, « Devenir des déversements d'hydrocarbures en mer », accessible en ligne via : http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/2-devenir-des-deversements-dhydrocarbures-en-mer/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (n.d.), Guide d'information technique n° 06, « Reconnaissance des hydrocarbures sur les littoraux », accessible en ligne via : http://www.itopf.com/fr/knowledge-resources/documents-guides/document/06-reconnaissance-des-hydrocarbures-sur-les-littoraux/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

LECO Corporation (2012) « Analysis of Light Crude Oil Using Gas Chromatography – High Resolution Time-of-Flight Mass Spectrometry », formulaire n° 203-821-410 Rev0, accessible en ligne à l'adresse : http://www.leco.com/index.php/component/edocman/?task=document.download&id=404&Itemid=404, dernière consultation le 31 octobre 2017.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2014) *National Oceanographic Data Center (NODC)*, World Ocean Atlas Select (WOA*select*), accessible à l'adresse : http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/woaselect/woaselect.html, dernière consultation le 31 octobre 2017.

Oil Spill Response Ltd. (OSRL) « Shoreline Cleanup and Assessment Technique (SCAT) Field Guide », accessible en ligne à l'adresse : http://www.oilspillresponse.com/technical-development/technical-field-guides, dernière consultation le 31 octobre 2017.

Reed, M., French, D., Rines, G. and Rye, H. (1995) « A three-dimensional oil and chemical spill model for environmental impact assessment », publication présentée en 1995 Forum international sur le déversement d'hydrocarbures et de produits chimiques organisés par l'AMOP, pp.61-66.

Reed, M., Aamo, O.M. and Downing, K. (1996) « Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System », publication présentée en 1996 au Forum international sur le déversement d'hydrocarbures et de produits chimiques organisés par l'AMOP.

Saha, S., S. Moorthi, H. Pan, X. Wu, J. Wang, et co-auteurs, 2010 : The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bulletin de la Société américaine de météorologie, 91, 1015–1057.

Saha, S., S. Moorthi, X. Wu, J. Wang et co-auteurs, 2014 : The NCEP Climate Forecast System Version 2. Journal of Climate, 27, 2185–2208.

SINTEF (2014) « OSCAR – Oil Spill Contingency and Response », accessible en ligne à l'adresse : https://www.sintef.no/en/software/oscar/, dernière consultation le 31 octobre 2017.

ANNEXE N-1d : RAPPORT DE MODÉLISATION DE DÉVERSEMENT D'HYDROCARBURES – ÉTUDE DU FLEUVE SÉNÉGAL

Rapport de modélisation des déversements accidentels d'hydrocarbures - Étude du fleuve Sénégal
Tortue Phase 1a

BP p.l.c.

Numéro de document : GEOM0132i R01
Publié : 05 février 2018

Oil Spill Response Limited
Lower William Street
Southampton
SO14 5QE
Royaume-Uni
Tél : +44 (0)23 8033 1551
Fax : +44 (0)23 8022 1972

HISTORIQUE DU DOCUMENT

Numéro de document	Révision	Type de document	Auteur	Analyse technique	Examen de format	Date d'émission
GEOM0132i	R01	Projet de rapport de modélisation	LHM			31 janvier 2018
GEOM0132i	R02	Rapport final	LHM			5 Février 2018

LHM – Liam Harrington-Missin

CLAUSES D'EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ

- Les résultats de la modélisation doivent être utilisés à des fins d'orientation uniquement. Par ailleurs, les stratégies de réponse ne doivent pas être basées uniquement sur ces résultats.
- La résolution / qualité des données sur les vents et les courants varient en fonction des régions et des modèles. Comme pour tout modèle, la qualité et la fiabilité des résultats dépendent de la qualité des données d'entrée.

Compte tenu de ce qui précède, tous les conseils, modèles et autres informations fournis ont uniquement un caractère général et illustratif et ne sauraient être destinés à une utilisation dans un cas particulier. Le destinataire de tout conseil, toute modélisation ou autre information fournis par OSRL ou en son nom reconnaît et accepte qu'un certain nombre de variables peut avoir une incidence lors d'un déversement d'hydrocarbures et, à ce titre, que chaque déversement doit être traité individuellement. OSRL décline toute responsabilité quant à ces conseils, modélisations ou autres informations et le destinataire de ces informations dégage OSRL, ses dirigeants, employés, actionnaires, agents, contractants et sous-traitants de toute responsabilité concernant les coûts, pertes, réclamations ou responsabilités pouvant découler de ces conseils, de la modélisation, des activités de formation ou d'autres informations fournies.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 4

2 RÉSULTATS 4

3 MÉTHODOLOGIE 12

3.1 CONDITIONS LIMITES À L'EMBOUCHURE DU FLEUVE 12

3.2 CONCENTRATIONS D'HYDROCARBURES DISSOUS ET TOTAL DES HYDROCARBURES DEVERSES DANS LE FLEUVE SENEGAL 13

4 HYPOTHÈSES ET LIMITES 14

4.1 SCENARIO DE DEVERSEMENT D'HYDROCARBURES 14

4.2 DEPLACEMENT VERS L'EMBOUCHURE DU FLEUVE 14

4.3 LE FLEUVE SENEGAL 14

ANNEXE A. 16

1 INTRODUCTION

La modélisation des déversements accidentels d'hydrocarbures réalisée pour étudier l'impact de divers scénarios pire-cas de déversement d'hydrocarbures fait état de la présence d'un risque pour le fleuve Sénégal. Compte tenu de la sensibilité potentielle du site à un déversement d'hydrocarbures, cette étude analyse plus en détail les risques spécifiques pour le fleuve Sénégal.

Les statistiques de risque de déversement d'hydrocarbures à l'embouchure du fleuve Sénégal sont extraites des données de modélisation existantes. Les résultats du modèle sont ensuite mis à l'échelle en utilisant la salinité comme indicateur pour déterminer de quelle manière les hydrocarbures seront dilués au fur et à mesure, qu'ils cheminent en amont et interagissent avec l'eau douce du fleuve.

Des hypothèses doivent être faites lorsque ce type d'étude est réalisé. Vous trouverez plus de détails dans la section 4.

2 RÉSULTATS

Les figures et tableaux suivants donnent un aperçu de la façon dont le fleuve Sénégal pourrait être affecté dans le scénario le plus pessimiste. Le scénario de déversement d'hydrocarbures le plus défavorable pour le fleuve Sénégal serait un déversement significatif provenant du FPSO dû à une collision (ou une autre cause) durant les mois d'été (avril à septembre).

L'impact des autres scénarios sur le fleuve Sénégal est disponible dans l'ANNEXE A à titre de comparaison.

Les tableaux et figures suivants sont présentés :

- **Tableau 1 :** Statistiques du risque de déversement d'hydrocarbures dans le scénario le plus pessimiste à l'embouchure du fleuve Sénégal (conditions limites) - Surface de la mer
- **Tableau 2 :** Statistiques du risque de déversement d'hydrocarbures dans le scénario le plus pessimiste à l'embouchure du fleuve Sénégal (conditions limites) - Colonne d'eau et littoral
- **Tableau 3 :** Concentrations maximum et dissoutes totales (ppb) à divers endroits du fleuve Sénégal

- **Figure 1** : Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Concentration maximum dissoute (en haut à gauche), Concentration maximum totale (en haut à droite), Temps minimum d'arrivée dans la colonne d'eau (en bas à gauche) et Durée maximum d'exposition de la colonne d'eau (en bas à droite)
- **Figure 2 :** Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Masse d'émulsion maximum sur le littoral (en haut à gauche), Épaisseur maximum sur le littoral (en haut à droite) et Temps minimum d'arrivée sur le littoral (en bas à gauche)

- **Figure 3 :** Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Masse d'hydrocarbure maximum en surface (en haut à gauche), Masse maximum d'émulsion en surface (en haut à droite), Temps minimum d'arrivée en surface (en bas à gauche) et Durée maximum d'exposition en surface (en bas à droite)
- **Figure 4 :** Graphiques des probabilités de dépassement de l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Épaisseur maximum en surface (en haut à gauche), Viscosité maximum en surface (en haut à droite) et Teneur en eau maximum en surface (en bas à gauche)

Tableau 1 : Statistiques du risque de déversement d'hydrocarbures dans le scénario le plus défavorable à l'embouchure du fleuve Sénégal (conditions limites) - Surface de la mer

	Surface						
	Masse d'hydrocarbures	Masse d'émulsion	Temps min. d'arrivée	Durée max. d'exposition	Épaisseur	Viscosité	Teneur en eau
	tonnes	tonnes	jours	jours	µm	cP	%
Probabilité d'impact	69 %	69 %	69 %	69 %	69 %	69 %	69 %
Valeur maximum	15 244	15 244	14,5	40	2 679	121	0
Valeur minimum[1]	<1	<1	1,5	<1	<1	24,0	0

Tableau 2 : Statistiques du risque de déversement d'hydrocarbures dans le scénario le plus défavorable à l'embouchure du fleuve Sénégal (conditions limites) - Colonne d'eau et littoral

	Colonne d'eau				Littoral		
	Conc. max. dissoute[n]	Conc. max. totale	Temps d'arrivée min	Durée max. d'exposition	Masse d'émulsion	Épaisseur	Temps min. d'arrivée
	ppb	ppb	jours	jours	tonnes	µm	jours
Probabilité d'impact	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %	67 %
Valeur maximum	1 010	1 764	16,3	31,9	439	29 709	11,5
Valeur minimum	5,7	66,5	1,4	0,1	9	613	1,6

[1] Il s'agit de la valeur minimum pour les déversements **impactant l'embouchure du fleuve**. Le vrai minimum est 0 car 31% des déversements n'impactent pas du tout l'embouchure du fleuve.

Tableau 3 : Total des concentrations maximum et dissoutes (ppb) à divers endroits du fleuve Sénégal

		< 1 % de probabilité	5 % de probabilité	10 % de probabilité	25 % de probabilité	50 % de probabilité
Concentration dissoute maximum [ppb]	Embouchure du fleuve	1 010	420	250	195	75
	St Louis	857	356	212	165	64
	Barrage de Dakar Bango	765	318	189	148	57
	Ile aux Bois (Sud)	642	267	159	124	48
	Ile aux Bois (Nord)	551	229	136	106	41
	Barrage de Diama	0	0	0	0	0
Concentration totale maximum [ppb]	Embouchure du fleuve	1 764	950	750	600	400
	St Louis	1 497	806	636	509	339
	Barrage inférieur	1 336	720	568	455	303
	Ile aux Bois (Sud)	1 123	605	477	382	255
	Ile aux Bois (Nord)	962	518	409	327	218
	Barrage de Diama	0	0	0	0	0

Les emplacements sont indiqués sur la carte à la Figure 5.

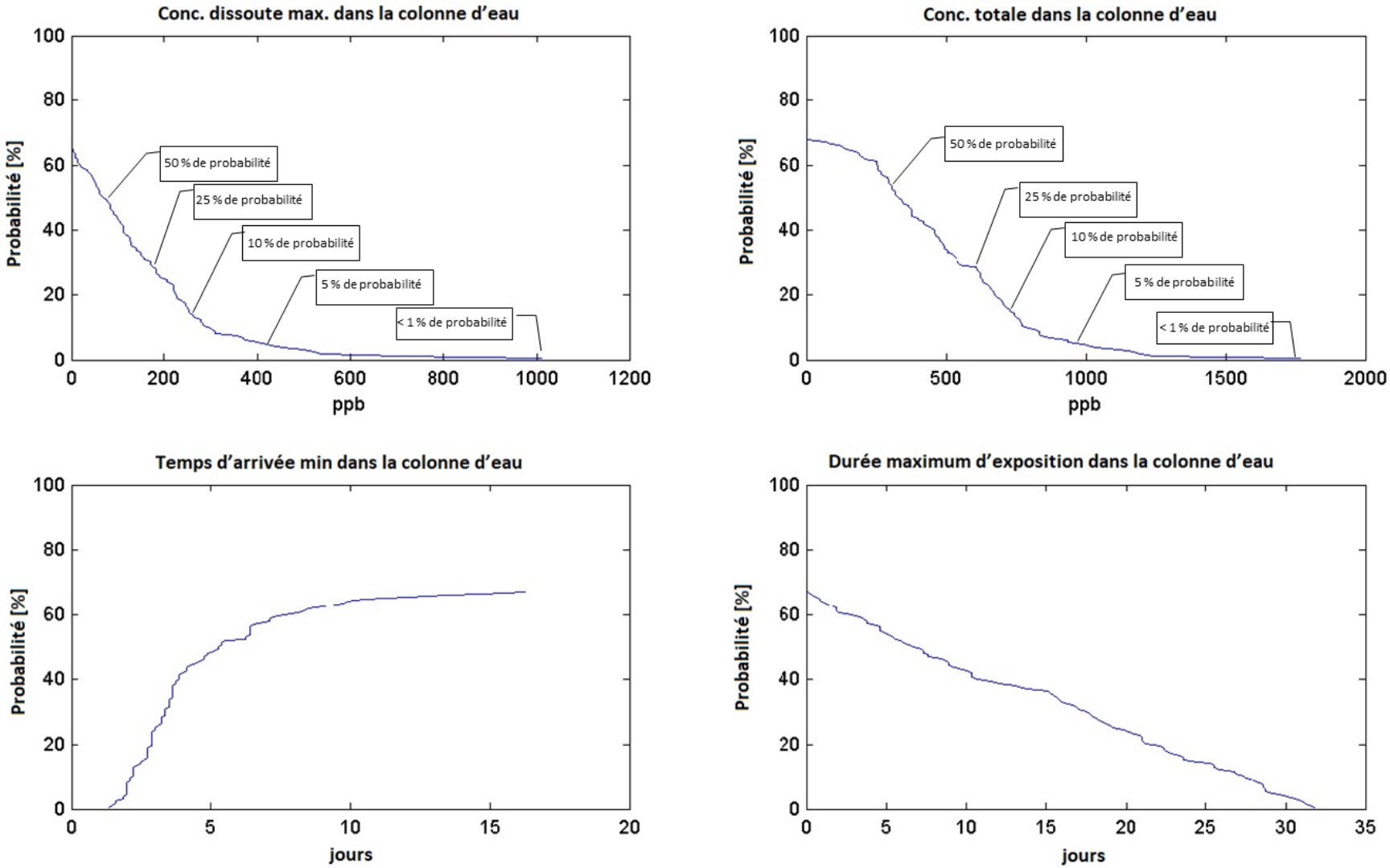


Figure 1 : Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Concentration maximum dissoute (en haut à gauche), Concentration totale maximum (en haut à droite), Temps minimum d'arrivée dans la colonne d'eau (en bas à gauche) et Durée maximum d'exposition dans la colonne d'eau (en bas à droite)

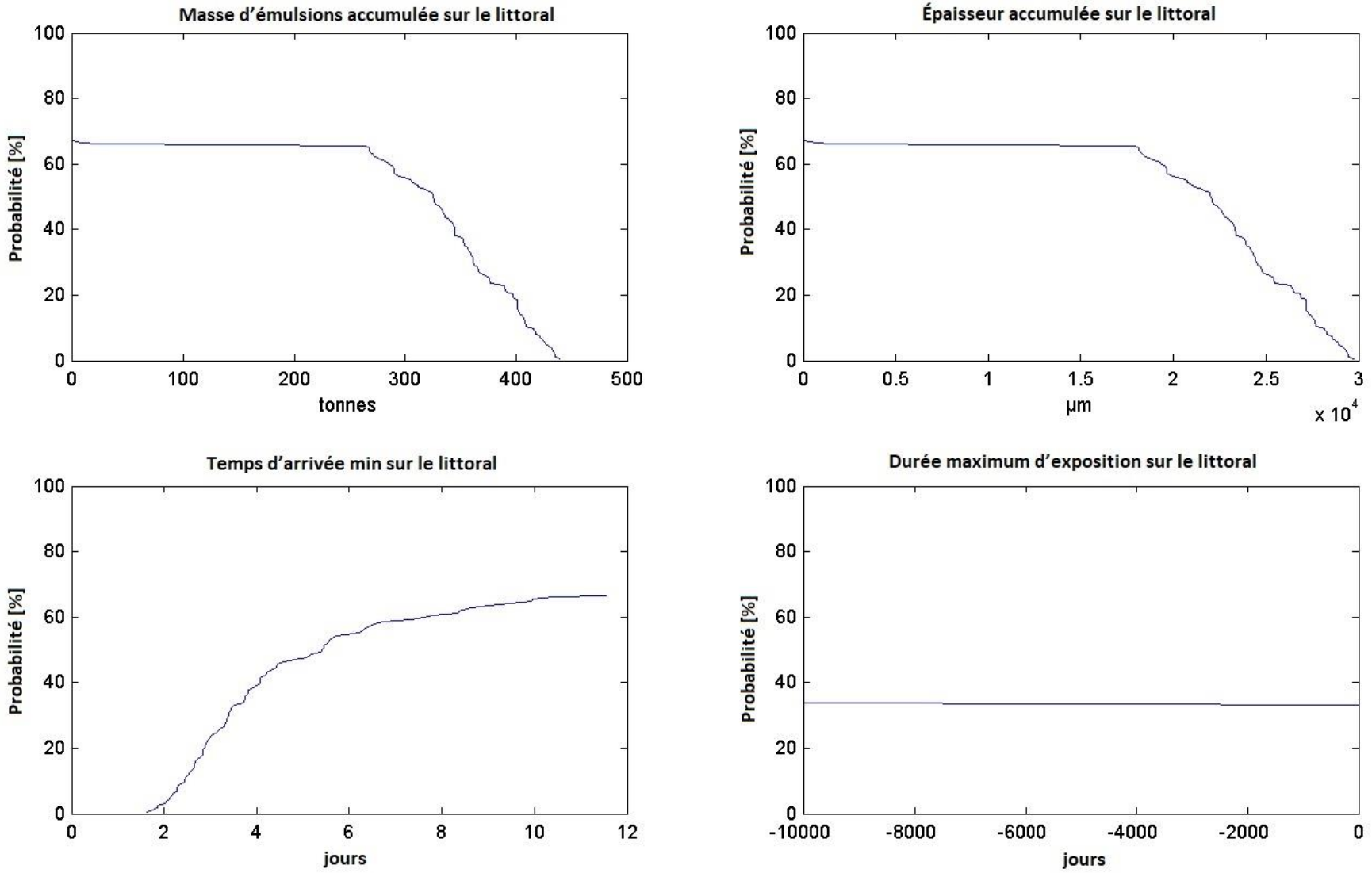


Figure 2 : Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Masse maximum d'émulsion sur le littoral (en haut à gauche), Épaisseur maximum sur le littoral (en haut à droite) et temps minimum d'arrivée minimum sur le littoral (en bas à gauche)

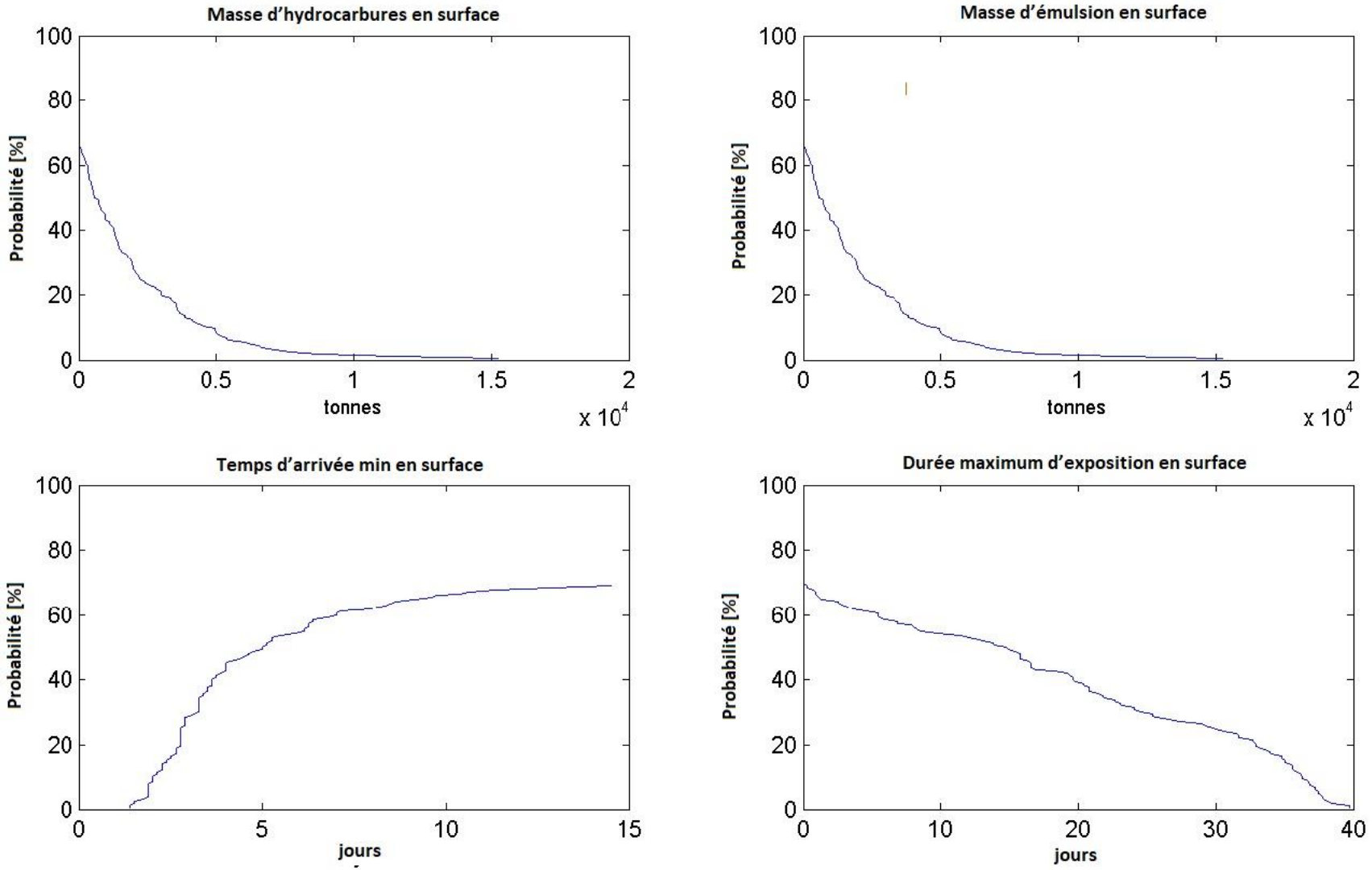


Figure 3 : Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Masse maximum d'hydrocarbures en surface (en haut à gauche), Masse maximum d'émulsions en surface (en haut à droite), Temps minimum d'arrivée en surface (en bas à gauche) et Durée maximum d'exposition en surface (en bas à droite)

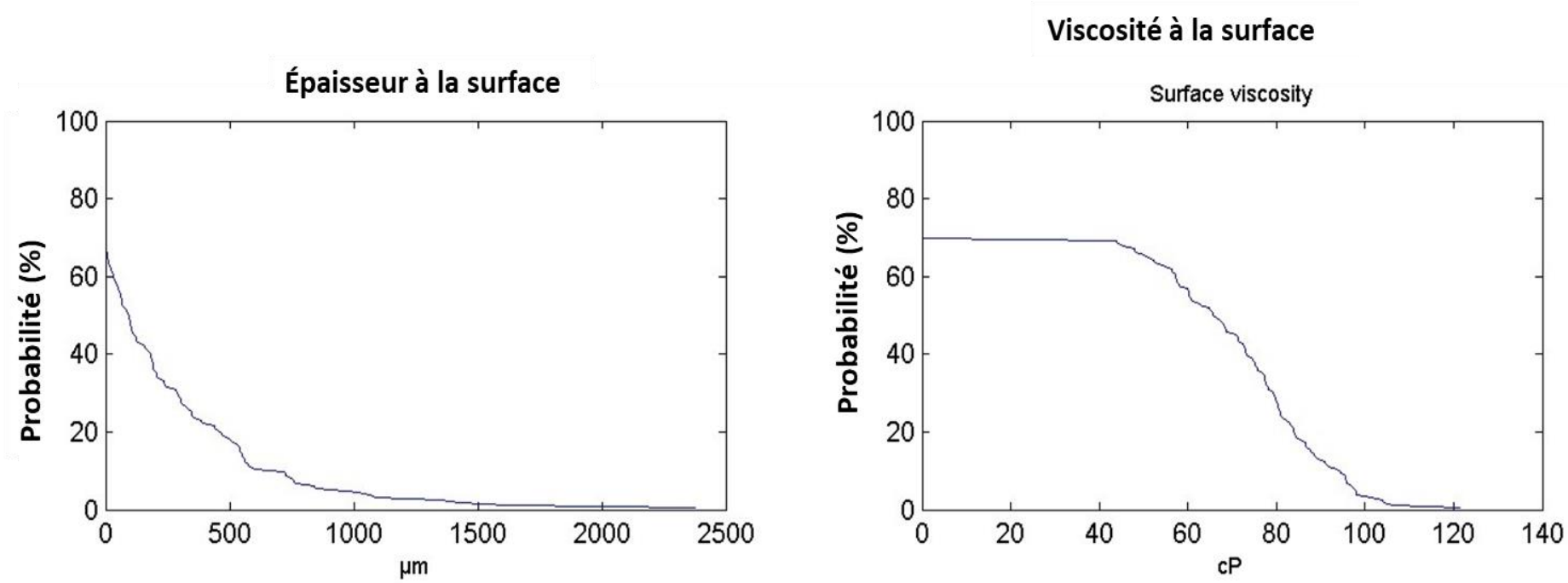


Figure 4 : Graphiques des probabilités de dépassement à l'embouchure du fleuve Sénégal pour ; Épaisseur maximum en surface (en haut à gauche), Viscosité maximum en surface (en haut à droite)

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Conditions limites à l'embouchure du fleuve

Pour calculer le risque statistique de déversement accidentel d'hydrocarbures dans le fleuve, la méthode suivante a été appliquée :

1. Les données du modèle de déversement d'hydrocarbures créées dans le cadre de la modélisation des déversements accidentels d'hydrocarbures en cas de défaillance de la tête de puits[2], de collision avec le FPSO [3] et de collision avec les navires de pose de tuyaux [4] ont été filtrées pour représenter la zone entourant l'embouchure du fleuve Sénégal. Afin d'atténuer plusieurs hypothèses de modélisation, on a estimé que toutes les données à moins de 10 km de l'embouchure du fleuve (15° 55' 32,4" N, 016° 30' 53,45" O) étaient représentatives de l'embouchure du fleuve.
2. Les statistiques ont été exportées pour chaque scénario (voir ANNEXE A) ainsi que le scénario le plus défavorable pour le fleuve Sénégal, soit une collision avec le FPSO pendant les mois d'été. Elles sont présentées en section2.

[2] Numéro de rapport OSRL : GEOM0132a R03
[3] Numéro de rapport OSRL : GEOM0132g R03
[4] Numéro de rapport OSRL : GEOM0132h R03

3.2 Concentrations d'hydrocarbures dissous et total des hydrocarbures déversés dans le fleuve Sénégal

En nous basant sur un article de Baklouti et al, 2011[5], nous avons utilisé la distribution spatiale simulée[6] de la salinité entre l'embouchure du fleuve et le barrage de Diama (voir Figure 5) comme indicateur de variation des concentrations d'hydrocarbures dans le fleuve (voir Tableau 4).

Nous avons appliqué la pondération spatiale aux conditions limites de l'embouchure du fleuve (voir la section 3.1) pour créer le tableau 3.

Tableau 4 : Pondération spatiale des concentrations dans le fleuve.

Emplacement	Code de couleur	Salinité	Pondération spatiale
Embouchure du fleuve		33 psu	1
St Louis		28 psu	0,8
Barrage de Dakar Bango		25 psu	0,76
Ile aux Bois (Sud)		21 psu	0,64
Ile aux Bois (Nord)		18 psu	0,55
Barrage de Diama		0 psu	0

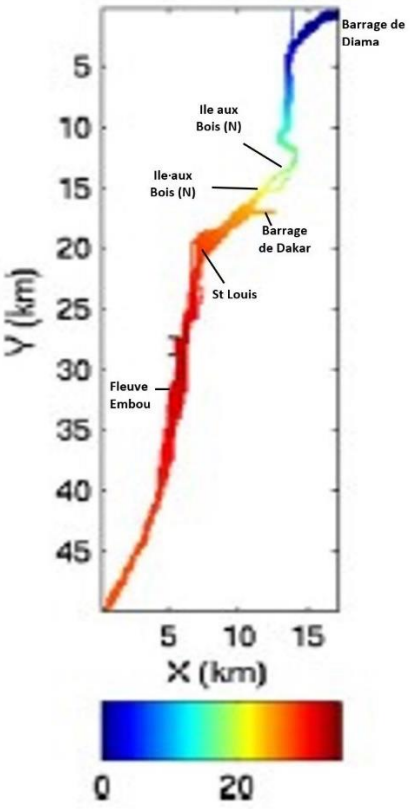


Figure 5 : Extraits du document de Baklouti et al, 2011, montrant la répartition de la salinité dans le fleuve Sénégal. À l'aide de ces données, nous avons pu extraire des valeurs de salinité à divers endroits et les utiliser comme indicateurs de dilution des hydrocarbures dans le fleuve. La couleur représente la salinité en psu

[5] Baklouti M., Chevalier C., Bouv M., Corbin D., Pagano M., Troussellier M. et Arfi R., 2011, **Une étude de la dynamique du plancton sous stress osmotique dans l'estuaire du fleuve Sénégal, Afrique de l'Ouest, à l'aide d'un modèle mécaniste 3D**, modélisation écologique, 222, 2704-2721 (A study of plankton dynamics under osmotic stress in the Senegal River Estuary, West Africa, using a 3D mechanistic model, Ecological Modelling, 222, 2704– 2721).

[6] La Figure 5 fournit un modèle de salinité, et non les mesures réelles. Cependant, ce modèle a été validé en se basant sur des relevés de terrain effectuées en mars 2006.

4 HYPOTHÈSES ET LIMITES

4.1 Scénario de déversement d'hydrocarbures

Une collision avec le FPSO au cours des mois d'été qui représente le scénario dont l'impact serait le plus défavorable (en termes de déversements d'hydrocarbures en surface et dans la colonne d'eau) dans le fleuve Sénégal, est un scénario catastrophe fortement improbable. Lors de l'utilisation de ce scénario, assurez-vous que la planification d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures et les études d'impact sur l'environnement sont exhaustives et tiennent compte des scénarios même les plus improbables.

Dans ce cas de figure, il s'agit d'une collision avec le FPSO qui entraînerait le déversement de la totalité du diesel et du produit à un taux de rejet continu de 1 000 m^3 par heure. Cela résulterait à un déversement de produits dans l'environnement de plus de 163 000 m^3 sur une période d'environ 1 semaine. Les mesures d'atténuation au niveau du FPSO entraînerait presque certainement une diminution importante des déversements si une collision avec un navire devait se produire.

4.2 Déplacement vers l'embouchure du fleuve

La modélisation des déversements accidentels d'hydrocarbures se base sur des données météorologiques (principalement les vents et les courants) permettant de prévoir à la fois le déplacement et la dégradation des hydrocarbures dans l'environnement marin. Au large des côtes, la variabilité spatiale et temporelle est généralement plus importante et plus lente que celle des environnements côtiers (par exemple le littoral). Ceci rend (habituellement) la modélisation stochastique des vents et des courants dans l'environnement au large des côtes plus fiable et plus facile à prévoir que dans les environnements côtiers. Par conséquent, notre niveau de confiance dans la prédiction du modèle concernant le mouvement et le comportement des hydrocarbures lorsqu'ils se rapprochent du littoral est plus faible qu'au large des côtes.

Pour cette étude, nous avons compensé cet état de fait en considérant qu'un impact pétrolier à 10 km de l'embouchure du fleuve est représentatif de la situation à l'embouchure. Cependant, cette méthode ne tient pas compte des inexactitudes inhérentes aux données météocéanes sous-jacentes.

4.3 Le fleuve Sénégal

Modéliser une représentation précise d'un déversement d'hydrocarbures entrant dans le fleuve Sénégal et se déplaçant « en amont » dépasse les capacités des modèles actuels de déversement d'hydrocarbures. Pour être utile dans le contexte de cette étude, le modèle devrait tenir compte des éléments suivants en plus de toutes les variables offshore :

- Les modèles de courants marins locaux, tels que l'interaction entre les courants de marée et les cours d'eau, les écoulements complexes autour des îles, le ruissellement des rivières, la gestion opérationnelle des barrages, etc.
- Les modèle des vents locaux, tels que les vents tourbillonnants autour des promontoires et des petites îles et les phénomènes de brise marine.

- Les différents mouvements d'eau douce en fonction des changements saisonniers ou de la journée.
- L'assèchement des terres en raison des changements de marée ou des conditions atmosphériques.

Ce nombre considérable de variables supplémentaires fait de la modélisation des mouvements d'hydrocarbures dans le fleuve un exercice irréaliste.

Pour fournir une évaluation semi-quantitative de la manière dont les hydrocarbures la colonne d'eau peuvent remonter vers l'amont, nous avons dû faire un certain nombre d'hypothèses sur le niveau de salinité du bassin du fleuve Sénégal. Toutes nos hypothèses sont basées sur le scénario le plus pessimiste. Par exemple, nous supposons que la totalité du sel présent dans le fleuve provient de l'embouchure de la rivière. Du sel a pu s'infiltrer dans le fleuve à partir de l'environnement local, rendant notre pondération spatiale prudente.

Tandis que nous aurions pu appliquer la même pondération spatiale aux hydrocarbures de surface, nous avons choisi de ne pas le faire. En effet, plusieurs variables supplémentaires jouent un rôle plus important dans le mouvement des hydrocarbures de surface. Plus précisément, les courants et les vents dans la région feront s'échouer les hydrocarbures sur la rive.

Bien que nous ne puissions pas appuyer quantitativement l'énoncé suivant, l'étroitesse de l'embouchure du fleuve et ses tronçons inférieurs étroits et complexes, ainsi que l'émergence de conditions météorologiques attendues, devraient contenir la majorité des hydrocarbures de surface aux tronçons inférieurs, soit au sud de Saint Louis. Les déplacements de navires fluviaux pourraient constituer le principal mode de transfert vers l'amont des hydrocarbures de surface des tronçons inférieurs.

Il convient également de souligner que ces résultats ne prennent en compte aucune intervention humaine ou réponse aux déversements d'hydrocarbures quelle qu'elle soit.

ANNEXE A.

Les tableaux suivants comparent les risques à l'embouchure du fleuve Sénégal pour chacun des scénarios. Nous avons souligné en rouge, le scénario sélectionné comme le pire cas pour représenter les valeurs maximales de déversement d'hydrocarbures, en surface et dans la colonne d'eau. Ce scénario (une collision avec un FPSO au cours de l'été), est étudié plus en détail dans la section 2.

Tableau 5 : Statistiques des risques du fleuve Sénégal - Défaillance de la tête de puits

	Conc.^{n} dissoute maximum [ppb]		Conc.^{n} maximum totale [ppb]		Masse d'émulsion de surface [Tonnes]		Masse d'émulsion sur le littoral [Tonnes]	
	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)
Probabilité	78 %	1 %	78 %	1 %	93 %	3 %	78 %	< 1 %
Valeur maximum	1,6	0,0	431	148	89,0	3,8	336	18,3
Valeur minimum	0	0,0	66,1	76,5	0,2	1,2	8,5	18,3

Tableau 6 : Statistiques sur les risques liés au fleuve Sénégal - Collision avec le FPSO

	Conc.^{n} dissoute maximum [ppb]		Conc.^{n} maximum totale [ppb]		Masse d'émulsion de surface [Tonnes]		Masse d'émulsion sur le littoral [Tonnes]	
	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)
Probabilité	67 %	5 %	67 %	5 %	69 %	6 %	67 %	4 %
Valeur maximum	1 010	556	1 764	981	15 244	4,514	439	329
Valeur minimum	0,0	2,6	66,5	81,5	0,4	1,3	9,1	143,8

Tableau 7 : Statistiques sur les risques liés au fleuve Sénégal - Collision d'un navire de pose de tuyaux

	Conc.^{n} dissoute maximum [ppb]		Conc.^{n} maximum totale [ppb]		Masse d'émulsion de surface [Tonnes]		Masse d'émulsion sur le littoral [Tonnes]	
	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)	Été (avril à septembre)	Hiver (octobre à mars)
Probabilité	87 %	24 %	87 %	24 %	90 %	28 %	76 %	16%
Valeur maximum	432	636	1,194	764	5,084	3,218	444	336
Valeur minimum	0,0	0,8	66,3	66,1	0,2	0,2	7,5	8,9

ANNEXE N-2 : RAPPORT SUR LA MODÉLISATION DES CONSÉQUENCES POUR L'ÉTUDE DE DANGERS

Ahmeyim/Guembeul Projet

Modélisation des conséquences

BP

Janvier 2018

Contient des *informations privées*

Avis

Le présent document et son contenu ont été préparés et sont destinés uniquement à l'information et à l'usage de BP dans le cadre du projet Ahmeyim/Guembeul.

Atkins Limited n'assume aucune responsabilité envers toute autre partie à l'égard de ce document et/ou de son contenu ou en relation avec celui-ci.

Ce document compte 264 pages y compris la couverture.

Historique des documents

Numéro de la tâche : 5161164			Réf. du document : 5161164-REP-SA-002			
Révision	Description de l'objet	Originaire	Vérifié(e)	Révisé(e)	Autorisé(e)	Date
Projet	Projet interne	Will Sharpe	Steve Feerick	Andy Chisholm	-	18/11/17
Rév. A1	Pour les commentaires des clients	Will Sharpe	Steve Feerick	Andy Chisholm	Lisa Doyle	22/11/17
Rév A2	Adressage du client Commentaires	Will Sharpe	Steve Feerick	Andy Chisholm	Lisa Doyle	13/12/17
Rév A3	Adressage du client Commentaires	Steve Feerick	Andy Chisholm	Lisa Doyle	Lisa Doyle	30/01/18

Conclusion avec le client

Client	BP
Projet	Projet Ahmeyim/Guembeul
Titre du document	Modélisation des conséquences du projet Ahmeyim/Guembeul
N° de la tâche	5161164
Numéro de copie	-
Document Référence	5161164-REP-SA-002

Table des matières

Chapitre Pages

Sommaire exécutif **5**

1. Introduction **7**
1.1. Historique du projet Ahmeyim/Guembeul 7
1.2. Objectif 11
1.3. Le champ d'application 11

2. Scénarios de rupture **12**

3. Base de modélisation **15**
3.1. Taille de l'inventaire et conditions de fonctionnement 15
3.2. Dimensions des ruptures 15
3.3. Conditions météorologiques 16
3.4. Feux 17
3.5. Dispersion de gaz inflammable 18
3.6. Explosions 18
3.7. Déversements cryogéniques 22

4. FPSO et scénarios de rupture sous-marine **23**
4.1. MAE F-01: Rejets d'hydrocarbures provenant de tube prolongateur de production 23
4.2. MAE F-02 : Rejet de gaz provenant des tubes prolongateurs de gaz d'exportation 26
4.3. MAE F-03: Rejet de gaz provenant des installations de réception (récupérateurs de bouchon liquide) 29
4.4. MAE F-04 : Rejet de liquide des installations de réception (récupérateurs de bouchon liquide) 34
4.5. MAE F-05: Rejet de gaz provenant du traitement du gaz 39
4.6. MAE F-06: Rejet de liquide provenant du traitement des gaz 44
4.7. MAE F-07 : Fuite de liquide du séparateur MP 49
4.8. MAE F-08 : Fuite de liquide du séparateur BP 55
4.9. MAE F-09 : Fuite de liquide de séparateur TBP 61
4.10. MAE F-10 : Fuite de gaz suite à la compression de gaz vaporisé 64
4.11. MAE F-11 : Fuite de gaz à partir du système de gaz de combustion 68
4.12. MAE F-12 : Installations de surface en cas de fuite chimique d'injection 71
4.13. MAE F-14 : Incendie de réservoir de stockage de condensat 72
4.14. Tableaux récapitulatifs des scénarios de défaillance du FPSO et infrastructures sous-marines 74

5. Scénarios de défaillance du hub à proximité des côtes **81**
5.1. MAE N-01 : Fuite sur le tube prolongateur de gaz d'importation 81
5.2. MAE N-02 : Fuite de gaz Conduite/Tuyau de gaz quai mobile vers le FLNG 85
5.3. MAE N-03 : Fuite de la conduite de gaz de combustion sur le quai mobile vers plateforme QU (quartiers et services). 88
5.4. MAE N-04 : Fuite de gaz au comptage d'entrée et traitement aux amines du FLNG 91
5.5. MAE N-05 : Fuite de gaz de l'unité de déshydratation et de régénération du FLNG 96
5.6. MAE N-06 : Fuite de gaz de la compression de gaz vaporisé / gaz d'évaporation du FLNG 101
5.7. MAE N-07 : Fuite de gaz à partir du système de gaz de combustion HP de l'équipement FLNG 106
5.8. MAE N-08 : Fuite de gaz de l'unité de fractionnement de FLNG 112
5.9. MAE N-09 : Fuites liquides d'hydrocarbure léger du système de fractionnement de FLNG 117
5.10. MAE N-10 : Fuite de GNL au niveau de l'unité de liquéfaction du FLNG 126
5.11. MAE N-11 : Fuite de GNL au niveau d'un ballon de gaz vaporisé du FLNG 134

5.12. MAE N-12 : BLEVE au niveau d'une cuve de réfrigérant du FLNG 146
5.13. MAE N-13 : Fuite de gaz provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR (mélange unique de réfrigérants) du FLNG 150
5.14. MAE N-14 : Fuite liquide / à deux phases provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR du FLNG 156
5.15. MAE N-15 : Fuite de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant du FLNG 165
5.16. MAE N-16 : Fuite de gaz (gaz de combustion) sur l'espace/zone de service de la plateforme QU . 175
5.17. MAE N-17 : Fuite de GNL des réservoirs de stockage du FLNG / méthanier 181
5.18. MAE N-18 : Fuite de GNL au cours du chargement de méthanier 184
5.19. Tableaux récapitulatifs de scénario de défaillance de NSH (hub à proximité des côtes) 194

6. Conclusions 206
6.1. Récapitulatif d'impact de type « cas crédible le plus défavorable» 206
6.2. Recommandations pour analyse ultérieure 216

7. Références 217

Annexes 219

Annexe A. Schémas simplifiés de procédé 220
A.1. FPSO 220
A.2. FLNG 223
A.3. FLNG – Liquéfaction/Fractionnement 226

Annexe B. Inventaires et listes MAE du projet Ahmeyim/Guembeul 228

Sommaire exécutif

BP développe actuellement des options pour les installations de récupération du gaz des champs offshore d'Ahmeyim et de Guembeul au large de la Mauritanie et du Sénégal en Afrique de l'Ouest. Les installations de la phase 1 comprendront une FPSO qui traite, conditionne et exporte le gaz vers un navire flottant de gaz naturel liquéfié. Le navire de GNL flottant conditionne, liquéfie et décharge le gaz sur un méthanier pour l'exportation. Le navire de GNL flottant fait partie d'un « complexe près des côtes » (Near Shore Hub, NSH). Le complexe comprend un brise-lames pour protéger les opérations de traitement et de chargement du transporteur de GNL, ainsi qu'une plateforme de services publics, la plateforme (QU) et le « quai mobile » qui est une passerelle, un débarcadère pour navires et une installation d'accostage entre la plateforme QU et le navire de GNL flottant et le méthanier. Le gaz du navire FPSO arrive au navire de GNL flottant via une plateforme avec tubes prolongateurs, qui fournit des installations de raclage et d'isolement d'urgence.

BP est tenu de présenter une « étude d'impact environnementale et sociale » pour quantifier les effets dangereux de tous les événements identifiés dans l'analyse préliminaire des risques comme des conséquences de catégorie 4 ou 5. Pour appuyer l'EIES, BP a demandé à Atkins Limited (Atkins) d'entreprendre la modélisation des conséquences des incendies, des explosions et des déversements cryogéniques résultant d'accidents majeurs potentiels (MAE, Major Accident Events) associés à des fuites d'hydrocarbures sur la FPSO et le complexe près des côtes (complexe près des côtes), c'est-à-dire incluant le navire de GNL flottant.

La modélisation des conséquences a été réalisée pour une rupture typique (50 mm) et pour un scénario réaliste le plus défavorable de rupture pour chacun des d'accidents majeurs (MAE, Major Accident Events) liés aux hydrocarbures. Les résultats des calculs de modélisation sont présentés dans ce rapport en termes d'étendues des dangers pour le rayonnement thermique, la dose thermique, la surpression d'explosion, les concentrations de gaz inflammables et l'étendue des déversements cryogéniques. Les résultats sont résumés ci-dessous :

Jet enflammé

Les jets de gaz enflammés ont été modélisés pour un défaut typique (50 mm) associé aux inventaires de gaz des tubes prolongateurs et des installations de surface du FPSO et du NSH. Les plus importants jets de gaz enflammés sur la FPSO proviennent d'une rupture du tube prolongateur de production (MAE F-01) alors que pour le NSH, la plus grande menace, provient d'une rupture de tube prolongateur d'importation de gaz (MAE N-01). Le rayonnement thermique de 10 kW/m^2 est le seuil pour les « brûlures au troisième degré et les effets létaux très significatifs » tel que défini par le guide d'étude des risques de la République du Sénégal [6], tandis que 3 kW/m^2 est défini comme le seuil de « blessure grave ». Pour la FPSO, les distances des tubes prolongateurs de production jusqu'à 10 kW/m^2 et 3 kW/m^2 sont respectivement de 87 m et 117 m et pour le tube prolongateur d'importation de gaz sur le NSH, les distances aux mêmes niveaux d'effet sont de 71 m et 93 m.

Les jets de gaz enflammés ont également été modélisés pour les inventaires de liquides et les inventaires biphasés du FPSO et du navire de GNL flottant. Les jets enflammés de liquide pulvérisé ont été pris en compte s'il y a une forte probabilité de formation de gaz inflammables provenant de l'évaporation du rejet ou de formation de liquide par pulvérisation. Les jets enflammés biphasiques avec liquide pulvérisé les plus importants sont dus à une fuite de 50 mm du côté du liquide des récupérateurs de bouchons liquides sur la FPSO (MAE F-04) ou du côté liquide de l'unité de fractionnement sur le navire de GNL flottant (MAE N-09). Les distances d'impact à 10 kW/m^2 et 3 kW/m^2 pour MAE F-04 sont respectivement de 167 m et 226 m; pour MAE N-09, les distances aux mêmes niveaux d'effet sont de 139 m et 182 m.

Feux de nappe

Les feux de nappe ont été modélisés pour des fuites typiques et des fuites réalistes les plus défavorables d'inventaires de liquides non vaporisés. Pour la FPSO, les effets de feux de nappe les plus importants sont dus à un rejet d'hydrocarbure liquide associé au séparateur MP (MAE F-07) avec des distances sous le vent à 10 kW/m^2 et 3 kW/m^2 calculées respectivement à 41 m et 117 m. Pour le NSH, le plus grand feu de nappe provient d'un déversement non contrôlé sur la surface de la mer à la suite de la rupture d'une citerne de stockage / de chargement du navire de GNL flottant ou du GNL (MAE N-17) avec des distances sous le vent

de 10 kW/m^2 et 3 kW/m^2 calculées à 350 m et 566 m.

Boules de feu

Les boules de feu ont été modélisées pour une rupture catastrophique (le pire cas crédible) des inventaires de gaz des installations de surface et de liquides vaporisés et pour des ruptures de passage intégral des tubes prolongateurs. Une dose thermique de 2600 TDU est le seuil pour les brûlures au troisième degré et les effets létaux très significatifs, tandis que 600 TDU est le seuil pour les blessures graves [6]. La plus grande boule de feu sur la FPSO est due à une rupture du tube prolongateur de production (MAE F-01) avec des distances à 2600 TDU et 600 TDU de 167 m et 434 m. Pour le NSH, la plus grande boule de feu provient d'une rupture du tube prolongateur d'importation de gaz (MAE N-01). Les distances à 2600 TDU et 600 TDU sont respectivement de 143 m et 382 m.

Dispersion de gaz inflammable

La dispersion de gaz inflammables a été modélisée pour des fuites représentatives et crédibles les plus défavorables de liquides sous pression associés aux unités de réfrigération et de liquéfaction sur le navire de GNL flottant et pour une rupture crédible la plus défavorable du navire de GNL flottant ou du méthanier. Le plus grand nuage de gaz inflammable est un déversement incontrôlé provenant d'une rupture catastrophique de la citerne de chargement du navire de GNL flottant ou du méthanier (MAE N-17). La distance maximale sous le vent par rapport à la Limite inférieure d'inflammabilité (LII) est de 1076 m.

Explosions de nuages de vapeur

Les explosions de nuages de vapeur (Vapour Cloud Explosions ou VCE) ont été modélisées pour des fuites représentatives et crédibles les plus défavorables de vapeurs inflammables dans des modules congestionnés de la FPSO et du navire de GNL flottant. Le seuil pour les « effets létaux très significatifs » dus à la surpression d'explosion est de 0,35 bar, tandis que le « seuil des effets irréversibles » est de 0,02 bar [6]. Les explosions les plus importantes sur la FPSO proviennent de vapeurs instantanées associées à une fuite de liquide du séparateur BP (MAE F-08) avec des étendues de danger allant jusqu' à 0,35 bar et 0,02 bar de 92 m et 1154 m. Pour le navire de GNL flottant, les explosions les plus importantes sont dues à une fuite de gaz de l'unité de liquéfaction (MAE N-09) ou à une fuite depuis les circuits réfrigérants (MAE N-13 et N-14) des trains du méthanier. Les étendues de danger jusqu' à 0,35 bar et 0,02 bar sont 106 m et 1045 m.

BLEVES

L'immersion dans les flammes des cuves de stockage et des conteneurs pour la fabrication du mélange réfrigérant sur le navire de GNL flottant peut entraîner la formation d'un BLEVE. Les plus grandes distances d'impact sont associées à une boule de feu faisant suite à un BLEVE du réservoir de stockage du réfrigérant au propane. Les distances à 2600 TDU et 600 TDU pour cet événement sont respectivement de 49 m et 243 m.

Déversement cryogénique

L'impact des nappes cryogéniques a été déterminé pour les fuites de liquides à basse température sur le navire de GNL flottant susceptibles de fragiliser l'acier et de présenter une menace pour le personnel se trouvant à proximité immédiate du déversement. Les déversements les plus importants sur le navire de GNL flottant sont dus à des ruptures catastrophiques du ballon de gaz vaporisé du GNL (MAE N-11) et du réservoir de stockage de réfrigérant d'éthylène (MAE N-15). La fuite s'étale pour former une nappe de 56 m de diamètre, soit environ la moitié de la surface du pont du navire de GNL flottant. On estime que la nappe ne pourra pas s'étendre davantage en raison des aménagements des hiloires et d'autres restrictions, ou du déversement qui s'écoule par-dessus bord. Le déversement le plus important sur la mer provient d'un déversement incontrôlé causé par une rupture catastrophique d'une citerne de chargement du navire de GNL flottant ou du méthanier (MAE N-17). La nappe s'étend sur un diamètre d'environ 126 m.

1. Introduction

1.1. Historique du projet Ahmeyim/Guembeul

BP développe actuellement des options pour des installations de récupération du gaz des champs d'Ahmeyim/Guembeul au large de la Mauritanie et du Sénégal en Afrique de l'Ouest.

L'emplacement du champ est indiqué à la Figure 1-1.

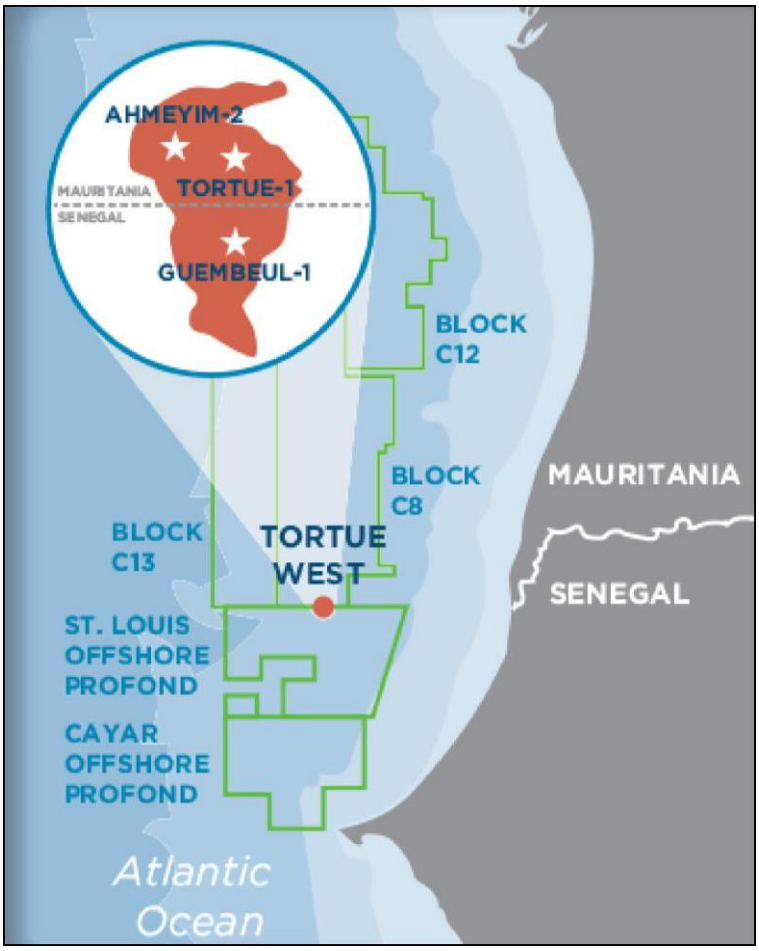


Figure 1-1 Emplacement du champ

AHMEYIM-2	AHMEYIM-2
TORTUE-1	TORTUE-1
GUEMBEUL-1	GUEMBEUL-1
MAURITANIA	MAURITANIE
SENEGAL	SÉNÉGAL
BLOCK C12	BLOC C12
BLOCK C8	BLOC C8
TORTUE WEST	TORTUE OUEST
BLOCK C13	BLOC C13
ST. LOUIS OFFSHORE PROFOND	ST LOUIS, OFFSHORE PROFOND
CAYAR OFFSHORE PROFOND	CAYAR, OFFSHORE PROFOND
Atlantic Ocean	Océan Atlantique
MAURITANIA	MAURITANIE
SENEGAL	SÉNÉGAL

Les installations de la Phase 1 comprendront un FPSO situé à environ 50 km au large des côtes, qui traitera jusqu' à 470 MMscfd en séparant le condensat du flux de gaz provenant de neuf puits sous-marins situés sur deux centres de forage situés à environ 80 km. La production de condensats sera d'environ 10 000 barils par jour et sera exportée par camion-citerne. Le gaz conditionné est exporté via un gazoduc de 40 km vers un navire de gaz naturel liquéfié flottant qui conditionne, liquéfie et décharge le gaz sur un méthanier pour exportation. Le navire de GNL flottant est soutenu par un « complexe près des côtes », situé à la frontière maritime entre la Mauritanie et le Sénégal. Le complexe comprend un brise-lames destiné à protéger les opérations de traitement et de chargement du méthanier, une plateforme d'habitation et de services publics (plateforme QU) et le « quai mobile » qui est une passerelle, un débarcadère pour bateaux et une installation d'accostage entre la plateforme QU et le navire de GNL flottant et le méthanier. Le gaz provenant de la FPSO arrive au navire de GNL flottant via une plateforme avec tubes prolongateurs qui assure le raclage, l'isolation et les futurs points de branchement potentiels.

La Figure 1-2 montre la disposition prévue du complexe près des côtes et la Figure 1-3 montre la disposition prévue de la FPSO. La FPSO est situé à environ 40 km à l'ouest du Hub.

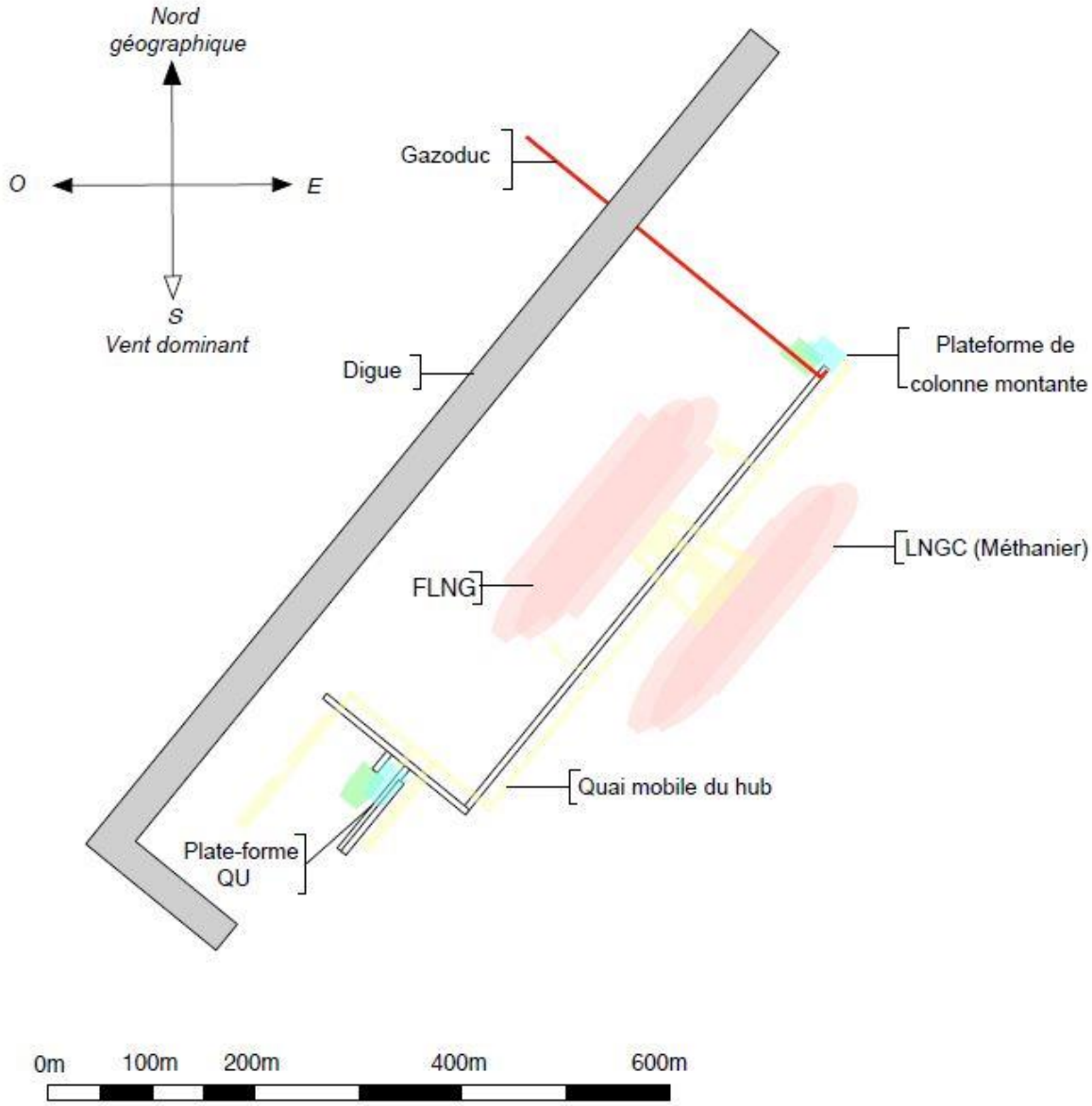


Figure 1-2 Disposition du complexe près des côtes.

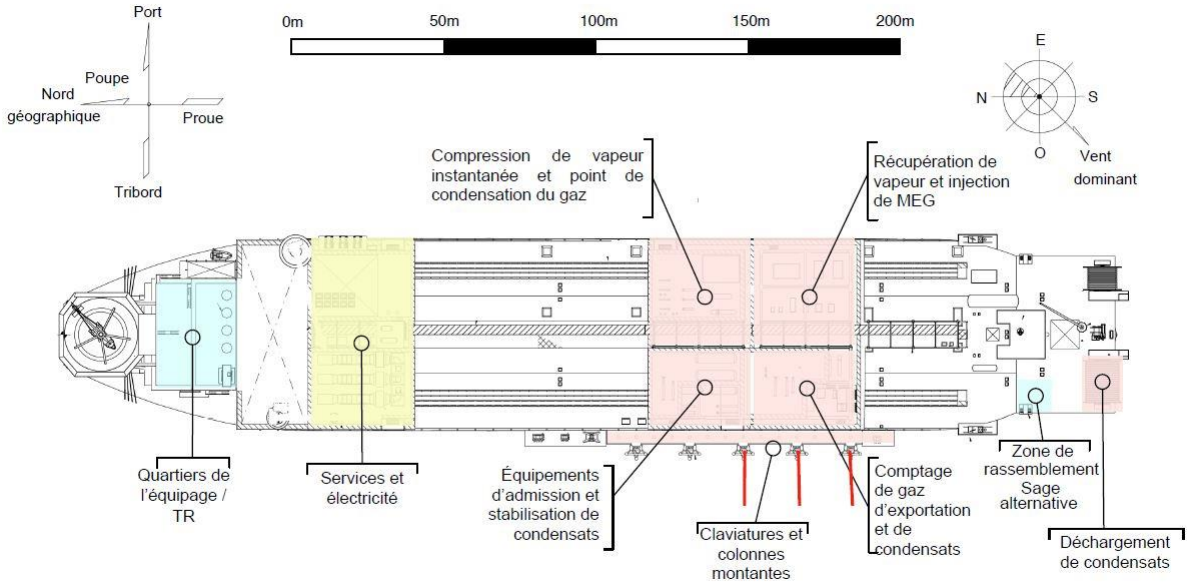


Figure 1-3 Disposition de la FPSO

1.2. Objectif

L'objectif de cette étude est de déterminer les distances d'effets dangereux pour les incendies, explosions et scénarios de déversements cryogéniques associés aux accidents majeurs survenus sur la FPSO et le complexe près des côtes du projet Ahmeyim/Guembeul. Les résultats de l'étude doivent être utilisés pour étayer la soumission de l'étude des risques de l' EIES.

1.3. Le champ d'application

La modélisation des effets dangereux est fondée sur les événements liés aux accidents majeurs (MAE) identifiés dans le cadre de l'étude des risques de l' EIES, qui ont été évalués qualitativement dans le cadre de l'analyse préliminaire des dangers (APD) et classés dans les catégories de conséquences 4 (critiques) et 5 (catastrophiques) :

- Conséquences critiques - 1 à 3 décès ou effets significatifs sur l'environnement ;
- Conséquences catastrophiques - Plusieurs décès (plus de 3) ou dommages considérables à l'environnement.

Pour faciliter l'identification du PHA et soutenir l'identification des MAEs (événements liés aux accidents majeurs), un ensemble de diagrammes de processus simplifiés a été élaboré. Les organigrammes des processus constituent la base des accidents majeurs reportés du PHA pour la modélisation détaillée des conséquences. Les organigrammes de processus simplifiés sont inclus à l'annexe A.

2. Scénarios de rupture

La modélisation des feux, des explosions et des effets des déversements cryogéniques a été complétée pour un total de 32 des EAM identifiés dans l'EIES - 19 sont pour le complexe près des côtes et 13 pour la FPSO. Une liste de tous les MAEs pour lesquels une modélisation des effets nocifs a été effectuée figure dans le Tableau 2-1, avec la catégorie de conséquences (S4 ou S5, telle que décrite à la section 1.3), la phase, c'est-à-dire la phase de l'hydrocarbure dans les conditions du processus, et les scénarios de danger modélisés. La sélection des scénarios modélisés pour chaque MAE est décrite dans la section 3.

Tableau 2-1 MAEs modélisés

MAE ID	Accident majeur	Emplacement	Phase	Scénarios de danger modélisés
N-01	Rejet de gaz provenant du tube prolongateur d'importation de gaz (S5)	NSH	Gaz	Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (Rupture)
N-02	Rejet de gaz provenant de la conduite / du tuyau flexible d'alimentation en gaz, allant du quai mobile au FLNG (S4)	NSH	Gaz	Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire complet)
N-03	Rejet de gaz provenant de la conduite d'alimentation en gaz, allant du quai mobile à la plateforme QU (S4)	NSH	Gaz	Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire complet)
N-04	Rejet de gaz provenant du comptage à la réception et du traitement aux amines du FLNG (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
N-05	Rejet de gaz provenant du système de déshydratation et de régénération du FLNG (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
N-06	Rejet de gaz provenant de la compression de gaz d'évaporation /vaporisé (CGV) du FLNG (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
N-07	Rejet de gaz de combustion provenant du système HP de gaz de combustion du FLNG (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
N-08	Rejet de gaz provenant du système de fractionnement du FLNG (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
N-09	Rejets d'hydrocarbure liquide léger provenant du fractionnement du FLNG (S4)	NSH	Liquides	LII (50 mm et inventaire complet), explosion, Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire complet)
N-10	Rejet de GNL provenant du processus de liquéfaction du navire de GNL flottant (S4)	NSH	Liquides	Nappe cryogénique (50 mm et inventaire complet), LII (50 mm et inventaire complet), explosion, Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire complet)
N-11	Rejet de GNL provenant du ballon de gaz vaporisé du FLNG (S4)	NSH	Liquides	Nappe cryogénique (50 mm et inventaire complet), LII (50 mm et inventaire complet), explosion, Jet de gaz enflammé (50 mm), feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
N-12	BLEVE d'une capacité sur le FLNG contenant du réfrigérant (S4)	NSH	Liquides	Boule de feu (Propane et éthylène - Inventaire complet)
N-13	Rejet de gaz provenant de la boucle fermée de SMR du FLNG (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
N-14	Rejet liquide/biphasique provenant de la boucle fermée de SMR du FLNG (S5)	NSH	Liquides	Nappe cryogénique (50 mm et inventaire complet), LII (50 mm et inventaire complet), explosion, Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire complet)
N-15	Rejet de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant du FLNG (S5)	NSH	Liquides	Nappe cryogénique (50 mm et inventaire complet), LII (50 mm et inventaire complet), explosion, Jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire complet)
N-16	Rejet de gaz (de combustion) dans la zone de services de la plateforme QU (S4)	NSH	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement

MAE ID	Accident majeur	Emplacement	Phase	Scénarios de danger modélisés
				complet
N-17	Rejet de GNL provenant des réservoirs de stockage du FLNG/méthanier (S5)	NSH	Liquides	Nappe cryogénique (750 mm), LFL (750 mm), Feu de nappe (750 mm)
N-18	Rejet de GNL pendant le chargement du méthanier (S4)	NSH	Liquides	Nappe cryogénique (50 mm et inventaire complet), LFL (50 mm et inventaire complet), jet de gaz enflammé (50 mm), feu de nappe (50 mm et inventaire complet)

MAE ID	Accident majeur	Emplace-ment	Phase	Scénarios de danger modélisés
F-01	Rejets d'hydrocarbures provenant du tube prolongateur de production	FPSO	Colonne biphasée	Incendie de jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (Rupture)
F-02	Rejet de gaz provenant des tubes prolongateurs de gaz d'exportation	FPSO	Gaz	Incendie de jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (Rupture)
F-03	Rejet de gaz des installations de réception (Récupérateurs de bouchon liquide)	FPSO	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
F-04	(Récupérateurs de bouchon liquide)	FPSO	Liquides	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
F-05	Rejet de gaz provenant du traitement des gaz	FPSO	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
F-06	Rejet de gaz liquide provenant du traitement des gaz	FPSO	Liquides	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
F-07	Rejet de liquide du séparateur MP	FPSO	Liquides	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
F-08	Rejet de liquide du séparateur BP	FPSO	Liquides	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
F-09	Rejet de liquide du séparateur TBP	FPSO	Liquides	Feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
F-10	Rejet de gaz provenant de la compression du gaz vaporisé	FPSO	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
F-11	Rejet de gaz de combustion provenant du système de gaz de combustion	FPSO	Gaz	Explosion, jet de gaz enflammé (50 mm), boule de feu (inventaire de traitement complet
F-12	Rejet en surface provenant d'une injection de produits chimiques	FPSO	Liquides	Feu de nappe (50 mm et inventaire complet)
F-14	Incendie du réservoir de stockage des condensats	FPSO	Liquides	Feu de nappe (citerne de chargement unique)

3. Base de modélisation

La modélisation des effets dangereux des feux et des explosions associées aux MAE identifiés dans la section 2 a été réalisée à l'aide du progiciel PHAST de DNV. Mis à part ce qui est indiqué dans les hypothèses ci-dessous, la modélisation PHAST est alignée sur l'approche convenue de BP ou utilise des paramètres PHAST par défaut.

3.1. Taille de l'inventaire et conditions de fonctionnement

La modélisation du feu, de la dispersion des gaz et de l'explosion est effectuée pour chacun des MAE à l'aide de données d'entrée de pression, température, composition, etc. du système et d'une estimation de la masse qui pourrait être libérée ou impliquée dans un feu ou une explosion. La masse impliquée pour chacune des installations de surface et des MAE de la citerne de chargement a été estimée approximativement en utilisant la masse isolée dans chaque section des MAE, tandis que pour le pipeline et le bras de chargement, on tient également compte de la masse libérée avant l'isolement.

Dans le cas des MAE situés sur le complexe près des côtes, la masse de la section isolée, plus les conditions de fonctionnement (pression, température, composition, etc.), sont principalement tirées de l'étude sur le risque d'accident majeur (Major Accident Risk, MAR) de BP, à l'exception des cas suivants (pour ces cas, les données d'inventaire ne sont pas disponibles dans l'étude MAR et, par conséquent, les données sont fondées sur l'expérience d'Atkins).

- Volume et conditions de fonctionnement du fractionneur et du conditionneur de reflux associé, du ballon de reflux et du rebouilleur de fractionnement (MAE N-08 et N-09)
- Volume et conditions d'exploitation du flux de GNL dans l'échangeur cryogénique principal (MAE N-10)
- Volume et conditions de fonctionnement côté gaz du circuit de réfrigérant mélangé simple (SMR) (MAE N-13)
- Volume et conditions d'exploitation pour le déchargement de GNL (MAE N-18)

Pour les MAE sur la FPSO, la masse de la section isolée est calculée en tenant compte des volumes contenus dans les principaux réservoirs et de la tuyauterie associée. Les dimensions du navire sont tirées de la Liste de l'équipement majeur (LEM). La pression de fonctionnement, la température et la composition des MAE sur la FPSO sont tirées de la «Bilan de matière et d'énergie de la Phase 1A» [Réf. 1], le flux le plus représentatif ayant été choisi pour les calculs de modélisation des conséquences.

3.2. Dimensions des ruptures

Deux dimensions de fuite sont modélisées - une brèche typique de 50 mm et une rupture crédible la plus défavorable. Les ruptures ont été modélisées comme suit :

Inventaires de gaz et deux phases du procédé

Les inventaires de gaz et deux phases du process sont modélisés comme une fuite de 50 mm et d'une rupture instantanée avec fuite du stock complet des MAE.

Inventaires des liquides et liquides de procédé sous-refroidis

Les inventaires des liquides et des liquides de procédé sous-refroidis sont modélisés sous forme d'une brèche de 50 mm et du déversement de la plus grande quantité depuis les citernes de liquide sur une période de 60 secondes - modélisés dans PHAST sous forme de déversement.

Conduites et tubes prolongateurs

La conduite et les tubes prolongateurs sont modélisés comme une rupture de 50 mm et une rupture intégrale en fonction du diamètre interne de la conduite.

Réservoirs de stockage de cargaison

Les approches suivantes pour la rupture d'un réservoir de stockage de cargaison sont envisagées :

- ACDS 1991 [Réf. 2]: Pour les transporteurs de gaz, une citerne entière déversée en 300 secondes.

- Pitblado et al 2004 [Ref 3] : Trou de 750 mm (trou crédible maximal à la suite d'événements opérationnels accidentels), déversement d'une citerne de chargement. Note : une taille de trou maximale de 1500 mm est citée, mais elle est indiquée pour les impacts intentionnels, par exemple l'activité terroriste, et n'est pas considérée comme pertinente pour cette étude.

- SANDIA 2004 4: 0,5 à 1 m^2 taille effective de la brèche, fuite d'un reservoir de stockage de cargaison. Ceci renvoie au document de Pitblado et al [Ref 3]: comme source de la zone de la brèche.

- TNO : Déversement de180 m^3 sur plus de 1800 secondes (voir Tableau 3.20 dans [Ref. 5]).

Le document Pitblado [Ref 3]: est considéré comme le plus approprié pour cette étude basée sur le type d'impacts possibles et, par conséquent, les ruptures de réservoirs de stockage de cargaison sont modélisées avec une brèche de 750 mm avec tout le contenu d'un réservoir déversée.

Bras de chargement

Les bras de chargement sont modélisés pour une fuite de 50 mm et de la rupture d'un seul bras de chargement avec une minute d'écoulement.

3.3. Conditions météorologiques

Classe de vitesse et de stabilité du vent

La modélisation des feux et de la dispersion des gaz est réalisée pour deux vitesses de vent typiques, une vitesse moyenne du vent et une faible vitesse du vent.

La stabilité atmosphérique est influencée par les différences de température entre le sol ou la mer et l'air, lorsque le sol se réchauffe sous l'effet du soleil pendant la journée, cela conduit à des conditions instables (classes Pasquill de stabilité A, B, C). Inversement, pendant les nuits claires, le sol peut se refroidir suffisamment (du fait du retour des rayonnements dans l'espace) pour créer des conditions stables (classe de stabilité Pasquill F). Lorsque le sol et l'air sont à la même température, les conditions sont neutres. De plus, lorsque le vent est supérieur à 2 m/s, cela introduit une turbulence supplémentaire, ce qui signifie que même les conditions de type F peuvent être considérées comme neutres. Les températures à la surface de la mer ne changent pas de la même manière qu'au sol, et par conséquent les conditions au-dessus de la mer peuvent toujours être considérées comme neutres. Sur cette base, la classe de stabilité Pasquill D (neutre) est généralement supposée dans tous les cas de jour ou de nuit, quelle que soit la vitesse du vent.

Les deux conditions typiques sont donc les suivantes :

- D2 : cette catégorie est choisie pour représenter les conditions de faible vitesse du vent : vitesse du vent de 2 m/s avec classe de stabilité neutre.

- D5 : cette catégorie est choisie pour représenter les conditions moyennes de vitesse moyenne du vent d'environ 5 m/s avec une classe de stabilité neutre.

Température de la mer

Les températures moyennes des eaux profondes sont considérées comme les plus appropriées. Elles varient de 15,9ºC en février à 25,3ºC en septembre. Une température de mer de 17ºC est choisie comme typique de la modélisation PHAST.

Température de l'air

Le minimum moyen est de 16,4°C en décembre et le maximum moyen est de 33,7°C en octobre. Une température de l'air de 20 ºC est utilisée comme valeur typique.

3.4. Feux

3.4.1. Jet enflammé

Les jets de gaz enflammés sont modélisés pour les fuites de gaz, de liquide vaporisé et de liquide pulvérisé associés à une brèche de 50 mm avec un potentiel de fuite de liquide pouvant s'évaporer rapidement ou former une pulvérisation selon les règles suivantes :

- Le condensat et d'autres composants plus légers sont supposés se vaporiser une fois libérés ou générer une pulvérisation à des pressions supérieures à 4 bars.

Les jets de gaz enflammés sont orientés horizontalement pour donner la plus grande marge de danger (remarque : ceci diffère de l'approche typique de BP qui consiste à modéliser ces feux à 45 degrés par rapport à l'horizontale).

L'impact des jets de gaz enflammés dus aux rayonnements thermiques est basé sur les niveaux de danger définis dans le Guide d'étude des risques du Sénégal [Réf. 6]. Ceux-ci sont indiqués dans Tableau 3-1 ci-dessous.

Tableau 3-1 Niveaux de danger lié au rayonnement thermique

Critères	Impact
3 kW/m^2	Seuil de blessure importante (boursouflures dans les 30 sec. pour les personnes non protégées)
5 kW/m^2	Seuil des premiers effets létaux, seuil de destruction des vitres par effet thermique
10 kW/m^2	Seuil d'effets létaux très significatifs, brûlures au troisième degré, effet domino, risque d'infection par le feu pour matériaux combustibles
20 kW/m^2	Destruction ou rupture d'éléments structuraux, tenue du béton pendant quelques heures

3.4.2. Feux de nappe

Les feux de nappe sont modélisés pour tous les scénarios de liquides non vaporisés et pour les fuites de liquides susceptibles de former une pulvérisation. Ceux-ci sont également pris en compte puisqu'une nappe peut se former si la pulvérisation est dirigée verticalement vers le bas.

Dans le cas de fuites continues (rupture de 50 mm et rupture complète), on utilise le modèle d'incendie « précoce » de la nappe dans PHAST, c'est-à-dire que l'étendue de la nappe est déterminée par l'équilibre entre le débit de déversement dans la nappe et le taux de combustion du feu.

Pour les fuites sur la FPSO ou le navire de GNL flottant, l'étendue maximale d'une nappe est initialement limitée à une superficie de 50 m x 50 m. - cette disposition est considérée comme typique des aménagements des hiloires limitant l'étalement extensif d'un déversement sur les installations de surface. Toutefois, l'hiloire ne contiendra pas entièrement les liquides hydrocarbonés provenant de ruptures catastrophiques ou de ruptures intégrales associées aux inventaires les plus importants. Pour les fuites qui se répandent au-delà d'une nappe de 50 m x 50 m, on s'attend à ce que les hydrocarbures se déversent par-dessus bord. La principale préoccupation pour ces fuites provient des feux de nappe au niveau des installations de surface et l'impact du déversement par-dessus bord n'est donc pas inclus dans l'analyse. Pour les fuites en mer (rupture des bras de chargement, tubes prolongateurs, etc.), aucune limite n'est incluse. Les nappes sont considérées se propager au maximum sans restriction.

L'impact des feux de nappe dus au rayonnement thermique est basé sur les niveaux de danger définis dans le Guide d'étude des risques du Sénégal. Ceux-ci sont indiqués au Tableau 3-1 ci-dessus.

3.4.3. Boules de feu

Les boules de feu sont modélisées pour toutes les ruptures plausibles dans les cas les plus défavorables associées à des inventaires de gaz et des inventaires de liquides de procédé où la plupart des matières se transforment en vapeur en cas de rupture catastrophique. Dans le cas de fuites depuis des pipelines et des tubes prolongateurs, la masse inflammable impliquée dans la boule de feu est estimée comme étant la masse déversée dans les 45 premières secondes suivant une rupture intégrale.

L'impact des boules de feu dû à la dose thermique est basé sur les niveaux de danger définis dans le Guide d'étude des risques du Sénégal et montrés dans le Tableau 3-2 ci-dessous, avec la dose thermique prise à une élévation de 0 m.

Tableau 3-2 Niveaux de dose thermique dangereux

Critères	Impact
600 $kW^{4/3}$ s	Seuil de blessure importante (boursouflures dans les 30 sec.pour les personnes non protégées)
1000 $kW^{4/3}$ s	Seuil des premiers effets létaux
2600 $kW^{4/3}$ s	Seuil d'effets létaux très significatifs, brûlures au troisième degré

3.5. Dispersion de gaz inflammable

Les feux de type Flash sont modélisés pour des ruptures entraînant une dispersion de gaz inflammable sensiblement au-delà des limites du FPSO ou du NSH. Les cas sont limités aux fuites liquides sous pression associées aux unités de réfrigération et de liquéfaction du navire de GNL flottant et à une rupture crédible dans le cas le plus défavorable d'un réservoir de stockage de cargaison sur le méthanier ou le navire de GNL flottant. La modélisation de la dispersion des gaz inflammables est réalisée à l'aide du modèle de dispersion unifiée (UDM) dans PHAST.

Dans les calculs PHAST pour les feux de type Flash, les fuites sont orientées vers le bas pour freiner la dynamique. Ceci est considéré comme représentatif de l'impact sur les équipements et les structures adjacentes et donne généralement la plus grande empreinte de dangers (remarque : cette approche diffère de l'approche typique de BP qui suppose une orientation horizontale pour des fuites de 50 mm).

La modélisation de la dispersion est réalisée en utilisant les longueurs de rugosité comme suit :

- Pour les fuites sur le FPSO et le navire de GNL flottant, on utilise une longueur de rugosité de 0,05 m, ce qui est conforme à l'approche habituelle de BP.
- Pour les fuites au-dessus de la mer, c'est-à-dire à partir de réservoir de stockage de cargaison depuis le méthanier ou le navire de GNL flottant, on utilise une longueur de rugosité inférieure de 0,2 mm (applicable pour les eaux libres sur la base des directives de PHAST).

Il n'y a pas de critères pour la dispersion des gaz inflammables dans le Guide d'étude des risques au Sénégal. Par conséquent, l'enveloppe/la distance LFL (Limite inférieure d'inflammabilité) pour les feux de de type Flash est appliquée comme indiqué au Tableau 3-3 ci-dessous. Les distances d'effet sont mesurées à des hauteurs comprises entre 0 m et 5 m, ce qui est considéré comme représentatif de la gamme d'élévations du personnel sur la FPSO ou le navire de GNL flottant.

Tableau 3-3 Niveaux de risque de dispersion des gaz inflammables

Critères	Impact
100% LFL	Étendue du principal nuage de gaz inflammable

3.6. Explosions

3.6.1. Explosions de nuages de vapeur

Les VCE (Explosions de nuages de vapeur ou Vapour Cloud Explosions en anglais) sont modélisés pour des scénarios de rupture où la vapeur inflammable atteint des zones congestionnées sur le NSH et la FPSO. L'allumage d'une fuite dans ces zones peut générer des surpressions suffisantes pour avoir un impact sur le personnel, l'équipement ou les structures. Il convient de noter que l'éthylène (N-15) peut également exploser en raison de sa réactivité élevée. Un tel VCE impliquerait toutes les vapeurs à l'intérieur d'un nuage

inflammable, c'est-à-dire que l'explosion ne se limiterait pas à l'accumulation de gaz dans une région congestionnée. Les surpressions dues à la détonation peuvent être significativement plus élevées que pour la déflagration, bien que la durée des impulsions soit généralement plus courte. La modélisation des VCE sur le navire de GNL flottant a utilisé une approche cohérente comme pour l'étude MAR de BP qui n'a tenu compte que de l'impact de la déflagration de l'éthylène. Il est recommandé que l'évaluation de la détonation de l'éthylène soit considérée dans la prochaine étape du design.

Modélisation des VCE pour la FPSO et le NSH

Les volumes congestionnés pour le navire de GNL flottant proviennent de l'étude MAR qui prend en compte les VCE dus à des vapeurs inflammables libérées dans les structures de flottation attachées aux côtés bâbord et tribord de la coque du navire de GNL flottant. Les dimensions des structures de flottation sont de 10 m x 203 m avec une hauteur estimée à 10 m, ce qui donne un volume encombré de 20 300 m^3 de chaque côté du navire. En outre, les explosions sont prises en compte pour les fuites sur la plateforme QU dont le volume estimé est de 500 m^3.

Les volumes congestionnés pour la FPSO sont basés sur un examen de la surface du pont de la FPSO, les VCE étant considérés pour l'accumulation de gaz inflammables dans quatre modules vers l'avant. Ces modules sont représentés à la Figure 1-3 avec une surface au sol estimée à 60 m x 70 m et une hauteur de module présumée de 5 m, ce qui donne un volume de 21000 m^3. Les quatre modules avant de la FPSO sont:

- Installations d'admission et de stabilisation du condensat
- Comptage du condensat et du gaz d'exportation
- Compression du gaz vaporisé et ajustage du point de rosée
- Récupération de vapeur et injection de MEG

Les régions congestionnées considérées pour chaque MAE sont indiquées dans le Tableau 3-4.

Pour les explosions à partir de 50 mm et les ruptures plausibles dans le cas le plus défavorable, le volume de vapeur inflammable est plafonné en fonction de la masse d'inventaire relâchée associée au MAE ou du volume de la zone congestionnée, selon la plus petite de ces deux valeurs. Les surpressions sont donc la taille maximale possible avec un seul jeu de résultats pour chaque MAE.

Les effets d'explosion sont calculés à l'aide de la méthode multiénergie (MEM) de TNO dans PHAST, qui est considérée comme conservatrice. La courbe de résistance 7 est utilisée pour toutes les fuites sur le navire de GNL flottant à l'exception de l'éthylène qui est modélisée en utilisant la courbe de résistance 10 pour refléter le fait qu'il s'agit d'un matériau plus réactif (bien que, comme indiqué ci-dessus, le scénario considéré soit une explosion dans les régions congestionnées du navire de GNL flottant, et non une détonation). La congestion sur la FPSO devrait être faible en raison de la taille du pont disponible. Par conséquent, la courbe de résistance 6 est utilisée pour toutes les fuites de la FPSO. Tous les fuites, à la fois représentatives et crédibles dans le cas le plus défavorable, sont supposées avoir le potentiel de remplir complètement le module source de chaque rejet.

Tableau 3-4 Régions congestionnées pour la modélisation du VCE

MAE ID	Zone congestionnée	Volume Congestionné (m^3)	Remarques
N-01	-	-	Potentiel pour VCE réduit - Rejet à la plateforme avec tubes prolongateurs / quai mobile considéré comme se trouvant dans une zone non congestionnée
N-02	-	-	Selon N-01
N-03	-	-	Selon N-01
N-04	Flotteur tribord	20,300	Ruptures typiques (50 mm) et crédibles dans cas le plus défavorable considérées comme des fuites dans le volume total du flotteur du côté tribord
N-05	Flotteur tribord	20,300	Selon N-04
N-06	Flotteur tribord	10,150	Ruptures typiques (50 mm) et crédibles dans le cas le plus défavorable considéré(s) comme des fuites dans 50 % du volume du flotteur à tribord (selon l'étude MAR de BP)
N-07	Flotteur tribord	10,150	Selon N-06
N-08	Flotteur bâbord	20,300	Ruptures typiques (50 mm) et crédibles dans le cas le plus défavorable considérées comme des fuites dans le volume total du flotteur à bâbord (selon l'étude MAR de BP)
N-09	Flotteur bâbord	20,300	Selon N-08
N-10	Flotteur bâbord	20,300	Selon N-08

MAE ID	Zone congestionnée	Volume Congestionné (m^3)	Remarques
N-11	Flotteur bâbord	20,300	Selon N-08
N-12	-	-	Pas de données - Pas d'explosion à prendre en considération pour cette MAE
N-13	Flotteur bâbord	20,300	Selon N-08
N-14	Flotteur bâbord	20,300	Selon N-08
N-15	Flotteur bâbord	12,180	Ruptures typiques (50 mm) et crédibles dans le cas le plus défavorable considéré(s) comme des fuites dans 60 % du volume du flotteur bâbord (selon l'étude MAR de BP)
N-16	Plateforme QU	500	Ruptures typiques (50 mm) et crédibles dans le cas le plus défavorable considéré(s) comme des fuites dans le volume congestionné sur la plateforme QU
N-17	-	-	Selon N-01
N-18	-	-	Déversement à la surface de la mer - Région non congestionnée – VCE réduit
F-01	-	-	Suppose que le balcon du tube prolongateur soit positionné de façon à ce que les gaz inflammables provenant de la fuite du tube prolongateur n'atteignent pas les installations de surface (c.-à-d. restent hors-bord de la FPSO). Potentiel de VCE réduit.
F-02	-	-	Selon F-01
F-03	Modules avant du FPSO	21,000	La rupture typique (50 mm) et crédible dans le cas le plus défavorable considérée comme fuite dans le volume congestionné de quatre modules avant de la FPSO
F-04	Modules avant du FPSO	21,000	Selon F-03
F-05	Modules avant du FPSO	21,000	Selon F-03
F-06	Modules avant du FPSO	21,000	Selon F-03
F-07	Modules avant du FPSO	21,000	Selon F-03
F-08	Modules avant de FPSO	21,000	Selon F-03
F-09	-	-	VCE réduit - Rejet de condensat de petites fractions légères
F-10	Modules avant du FPSO	-	Selon F-03
F-11	Modules avant du FPSO	21,000	Selon F-03
F-12	-	-	Pas de données - Pas d'explosion à prendre en considération pour cette MAE
F-14	-	-	Pas de données - Pas d'explosion à prendre en considération pour cette MAE

Les étendues de dangers VCE sont basées sur les niveaux d'effet de surpression définis dans le Guide d'étude des risques du Sénégal et montrés dans le Tableau 3-5 ci-dessous.

Tableau 3-5 Niveaux de danger de surpression

Critères	Impact
0,02 bar	Seuil d'effets irréversibles correspondant à la zone ayant des effets indirects sur l'homme, seuil de destruction des fenêtres supérieur à 10 %
0,05 bar	Seuil d'effets irréversibles correspondant à la zone présentant des risques significatifs pour l'homme, seuil de dommages légers aux structures, destruction de 75 % des fenêtres.
0,14 bar	Seuil des effets létaux initiaux, seuil de l'effet domino, effondrement partiel des murs et des toits des maisons
0,35 bar	Seuil d'effets létaux très significatifs, seuil de dommages très graves aux structures, destruction des bâtiments, rupture de conduites

3.6.2. BLEVES

Les BLEVEs sont modélisés pour les ruptures catastrophiques associées aux réservoirs de stockage de réfrigérants sur le navire de GNL flottant. Le principal danger préoccupant découlant d'un BLEVE est une boule de feu après la rupture du réservoir et le rejet des matières inflammables.

Les BLEVE sont supposés se produire à une pression d'éclatement de 20 bars et les effets du rayonnement sont modélisés après avoir supposé que tout le contenu du réservoir est inclus dans la boule de feu. L'impact des boules de feu causé par la dose thermique est basé sur les seuils de danger indiqués dans le tableau 3-2.

3.7. Déversements cryogéniques

On tient compte de l'impact cryogénique pour les fuites liquides susceptibles de fragiliser l'acier ou de présenter un danger pour le personnel se trouvant à proximité immédiate d'un déversement. La fragilisation de l'acier se produit à -40ºC et, par conséquent, les fuites sont considérées comme un danger cryogénique si la température du liquide après la fuite est significativement inférieure à -40ºC - par exemple, -50ºC ou inférieure.

Les déversements cryogéniques sont modélisés pour les scénarios de rupture cryogénique de liquide non vaporisés en tenant compte de l'étendue d'une nappe de liquide non allumée. L'étendue maximale d'une nappe sur le navire de GNL flottant est limitée à une superficie de 50 m x 50 m pour refléter les aménagements des hiloires, etc. On s'attend à ce que le liquide cryogénique se répande au-delà d'une zone de 50 m x 50 m. La principale préoccupation pour ces fuites est l'impact sur les installations de surface, de sorte que le liquide cryogénique déversé par-dessus bord n'est pas inclus dans l'analyse.

Toutefois, l'étendue d'une nappe cryogénique à la surface de la mer est prise en compte pour une rupture de réservoir de cargaison (N-17) et une rupture du bras de chargement (N-18) - le déversement de ces fuites n'est pas restreint.

4. FPSO et scénarios de rupture sous-marine

La présente section donne un aperçu de chacun des MAE sous-marin de la FPSO pour lesquels une modélisation de l'incendie et des explosions a été réalisée et présente les distances d'effet des dangers pour ces scénarios.

4.1. MAE F-01 : Rejets d'hydrocarbures provenant de tube prolongateur de production

4.1.1. Description de l'événement

Ce MAE est lié à une perte de confinement d'un tube prolongateur de production de 16 pouces sur la FPSO qui commence aux puits de production sous-marins et s'étend jusqu'aux ESDVs (Emergency Shut Down Valves, valves de fermeture d'urgence) des tubes prolongateurs sur le balcon des tubes prolongateurs à bâbord du navire. L'inventaire du tube prolongateur pour le F-01 est basé sur la provision d'un SSIV au PLEM, bien que cette hypothèse n'ait pas d'impact significatif sur la taille des incendies présentés dans les sections ci-dessous, mais aurait une incidence sur la durée des fuites.

La modélisation des incendies pour cette MAE a été réalisée à l'aide de données d'entrée basées sur l'inventaire des risques majeurs de la FPSO (Annexe B. 1.2) et sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4-1 MAE F-01 Paramètres du flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Balcon du tube prolongateur
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	97
Température (°C)	3
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	48 523
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	39,3
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 minutes

4.1.2. Résultats de l'incendie

L'allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) entraînera un jet de gaz enflammé pour MAE F-01. Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés sur la Figure 4-1 et au Tableau 4-2 respectivement.

Tableau 4-2 MAE F-01 Résultats de l'étendue de l'incendie par jet de gaz pour une rupture de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	117	171
	5	101	133
	10	85	94
	20	72	65
5/D	3.	115	171
	5	101	134
	10	87	94
	20	76	65

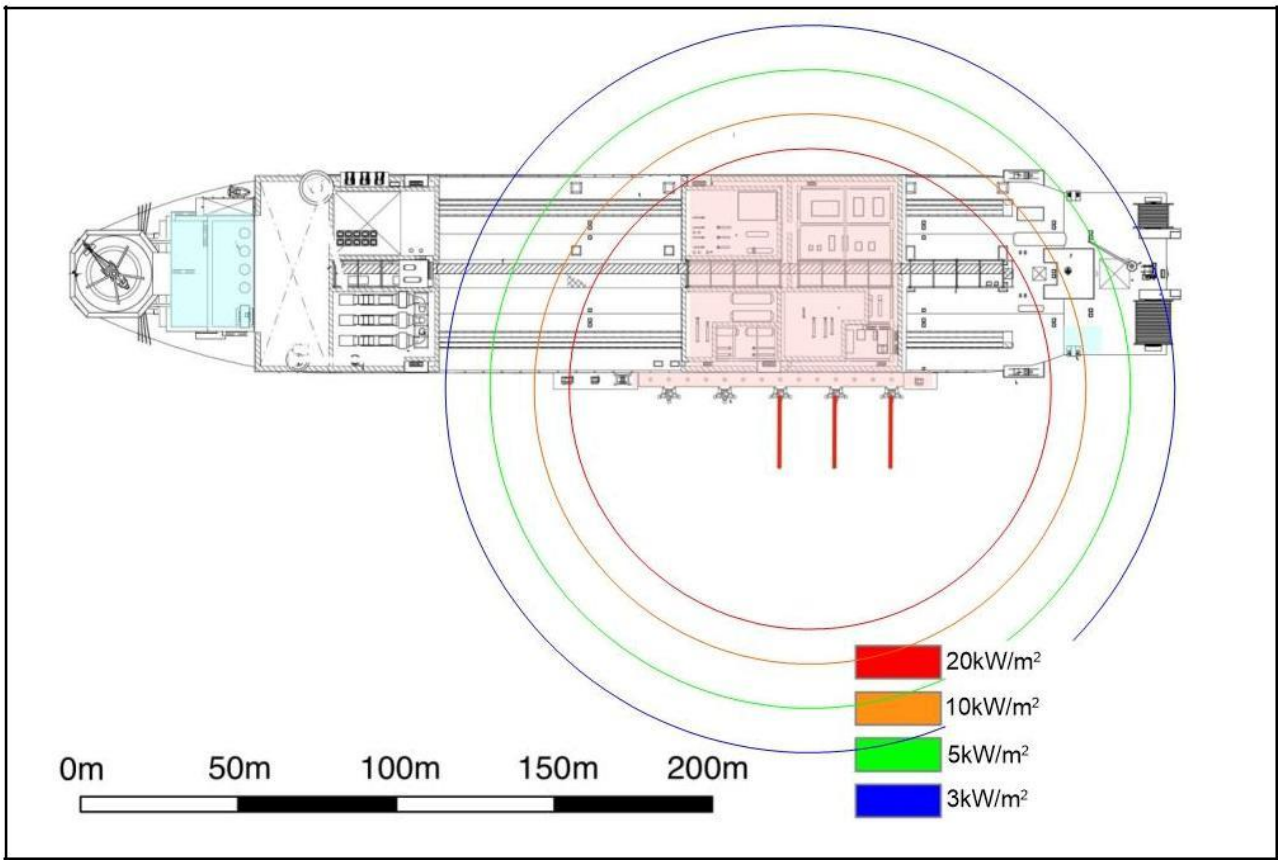


Figure 4-1 MAE F-01 Étendue des radiations de jet de gaz enflammé à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m).

L'allumage immédiat à la suite d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour MAE F-01. La masse impliquée dans la boule de feu est supposée être la masse relâchée dans les 30 premières secondes suivant la rupture du tube prolongateur. Le tracé des contours et les zones dangereuses dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont indiqués à la **Figure 4-2** et au Tableau 4-3 **respectivement.**

Tableau 4-3 MAE F-01 Résultats liés à la boule de feu en cas de rupture catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
131	600	434
	1000	337
	2600	167

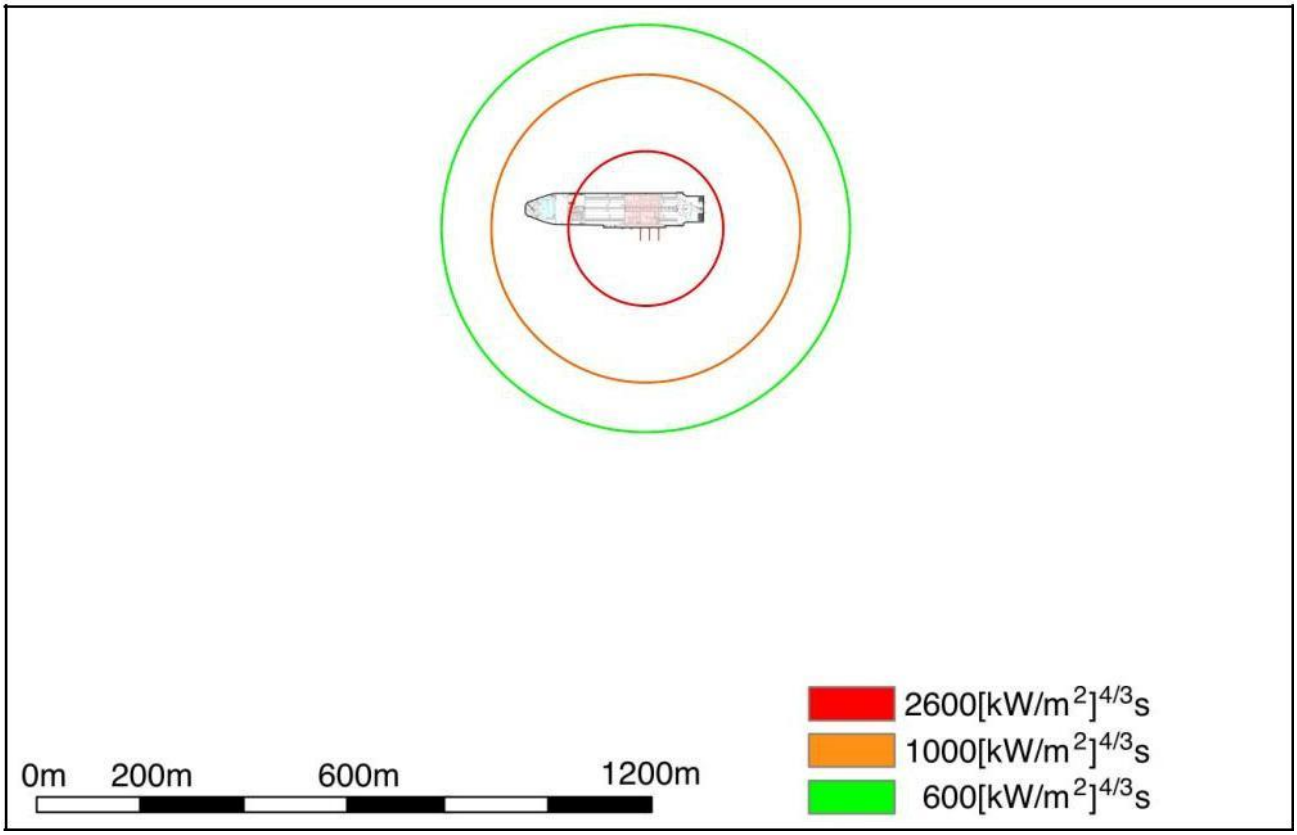


Figure 4-2 MAE F-01 Contour de la boule de feu pour une rupture catastrophique (échelle en m)

4.2. MAE F-02 : Rejet de gaz provenant des tubes prolongateurs de gaz d'exportation

4.2.1. Description de l'événement

Ce MAE est dû à une perte de confinement du tube prolongateur d'exportation de gaz qui commence à la ESDV du tube prolongateur d'exportation de gaz sur le balcon des tubes prolongateurs de la FPSO et transfère le gaz brut de la FPSO vers le hub (complexe) près des côtes, à une distance d'environ 40 km. L'inventaire du tube prolongateur pour F-02 est basé sur la provision d'un SSIV au PLEM, bien que cette hypothèse n'ait pas d'impact significatif sur la taille des incendies présentés dans les sections ci-dessous, mais aurait une incidence sur la durée des fuites.

Les conditions du flux pour ce MAE ont été obtenues à partir de l'Inventaire des risques majeurs de la FPSO (Annexe B. 1.2) et sont présentées ci-dessous.

Tableau 4-4 MAE F-02 Paramètres du flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Balcon du tube prolongateur
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	79
Température (°C)	15
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	30 600
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	25,8
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min

4.2.2. Résultats de l'incendie

L'allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) entraînera un jet de gaz enflammé pour MAE F-02. Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-3 et au Tableau 4-5 respectivement.

Tableau 4-5 MAE F-02 50 mm - Résultats de l'étendue de jet de gaz enflammé pour une rupture de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	96	140
	5	84	109
	10	71	77
	20	61	52
5/D	3	95	141
	5	84	109
	10	73	77
	20	64	52

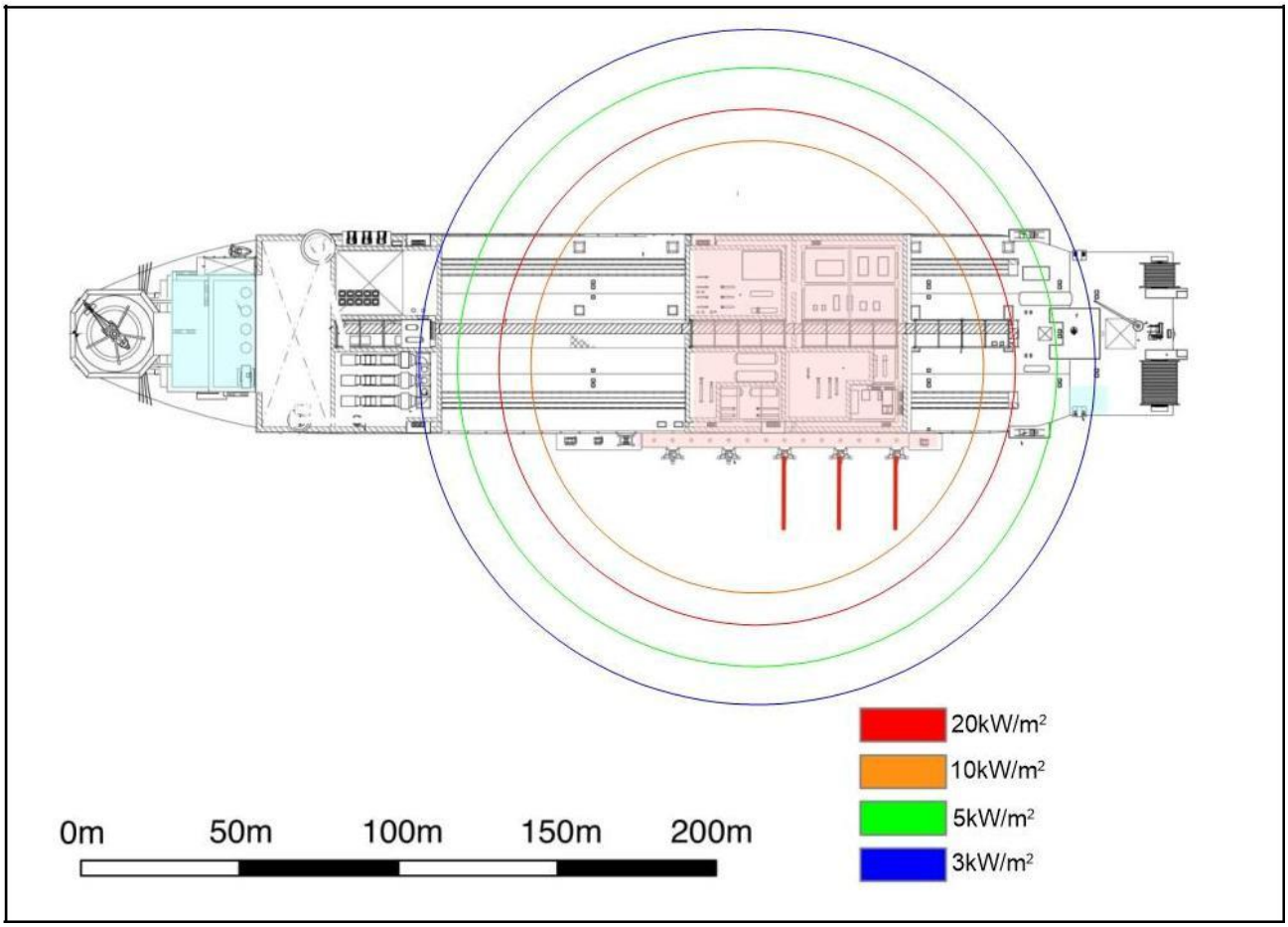


Figure 4-3 MAE F-02 Étendue des radiations pour un jet de gaz enflammé à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m).

L'allumage immédiat à la suite d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour MAE F-02. La masse impliquée dans la boule de feu est supposée être la masse relâchée dans les 30 premières secondes suivant la rupture du tube prolongateur. Le tracé des contours et les étendues de danger dues à la dose thermique provenant de la boule de feu associée sont illustrés à la Figure 4-4 et au Tableau 4-6 respectivement.

Tableau 4-6 MAE F-02 Résultats de la boule de feu en cas de rupture catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
119	600	398
	1000	301
	2600	151

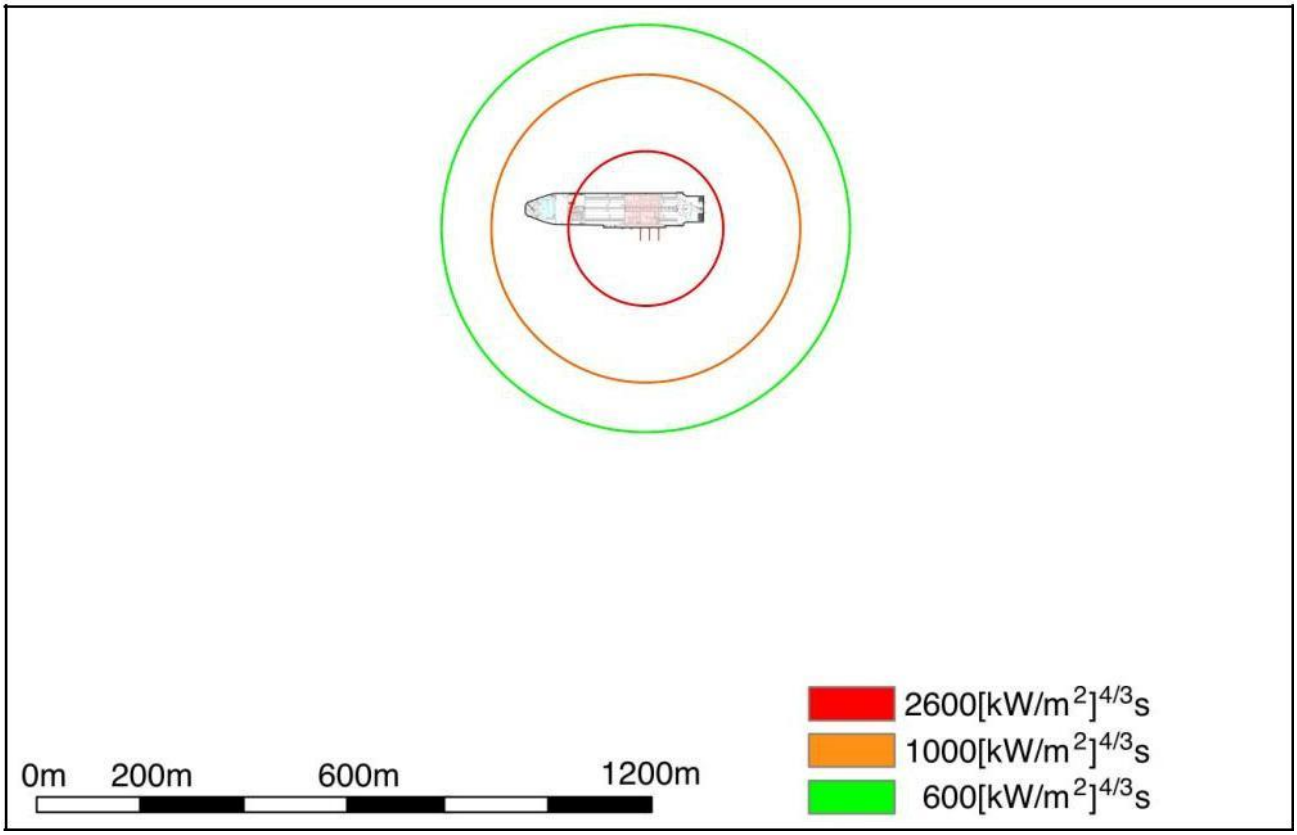


Figure 4-4 MAE F-02 Contour de la boule de feu pour une rupture catastrophique (échelle en m)

4.3. MAE F-03 : Rejet de gaz provenant des installations de réception (récupérateurs de bouchon liquide)

4.3.1. Description de l'événement

Ce MAE est lié à une perte de confinement du côté gaz du récupérateur de bouchon liquide et de la tuyauterie associée qui est située dans les installations de réception de la FPSO (module P3). La section débute à la ESDV du tube prolongateur de production et se termine aux ESDV en aval des récupérateurs de bouchon liquide. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Lanceur de racleur
- Récupérateur de bouchon liquide (x2) (vapeur)

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été réalisée à l'aide des données d'entrée décrites dans le tableau ci-dessous.

Table 4-7 MAE F-03 Paramètres du flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Installations de réception
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	93
Température (°C)	1,4
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	13 319
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	32,5
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	5-15 min
Volume congestionné (m^3)	21,000

4.3.2. Résultats de l'incendie

L'allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) entraînera un jet de gaz enflammé pour MAE F-03. Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-5 et au Tableau 4-8 respectivement.

Tableau 4-8 MAE F-03 Résultats de l'étendue du jet de gaz enflammé pour une rupture de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	107	157
	5	94	123
	10	79	87
	20	67	59
5/D	3	106	158
	5	94	123
	10	81	87
	20	71	59

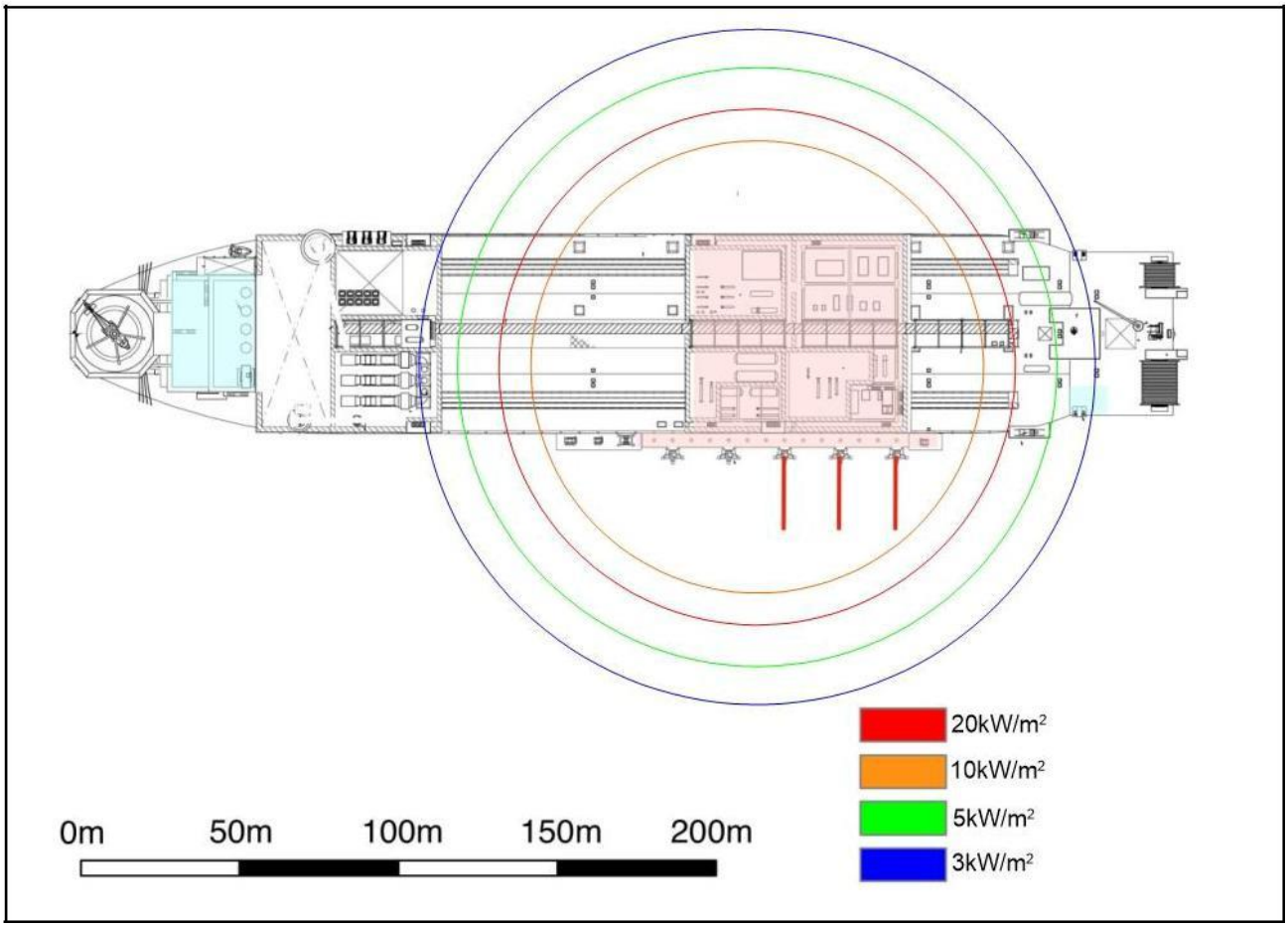


Figure 4-5 MAE F-03 Étendue des radiations pour le jet de gaz enflammé à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m).

L'allumage immédiat à la suite d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour MAE F-03. Le tracé des contours et les étendues de danger dues à la dose thermique provenant de la boule de feu associée sont illustrés à la Figure 4-6 et au Tableau 4-9 respectivement.

Tableau 4-9 MAE F-03 Résultats de la boule de feu en cas de rupture catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
71	600	198
	1000	147
	2600	42

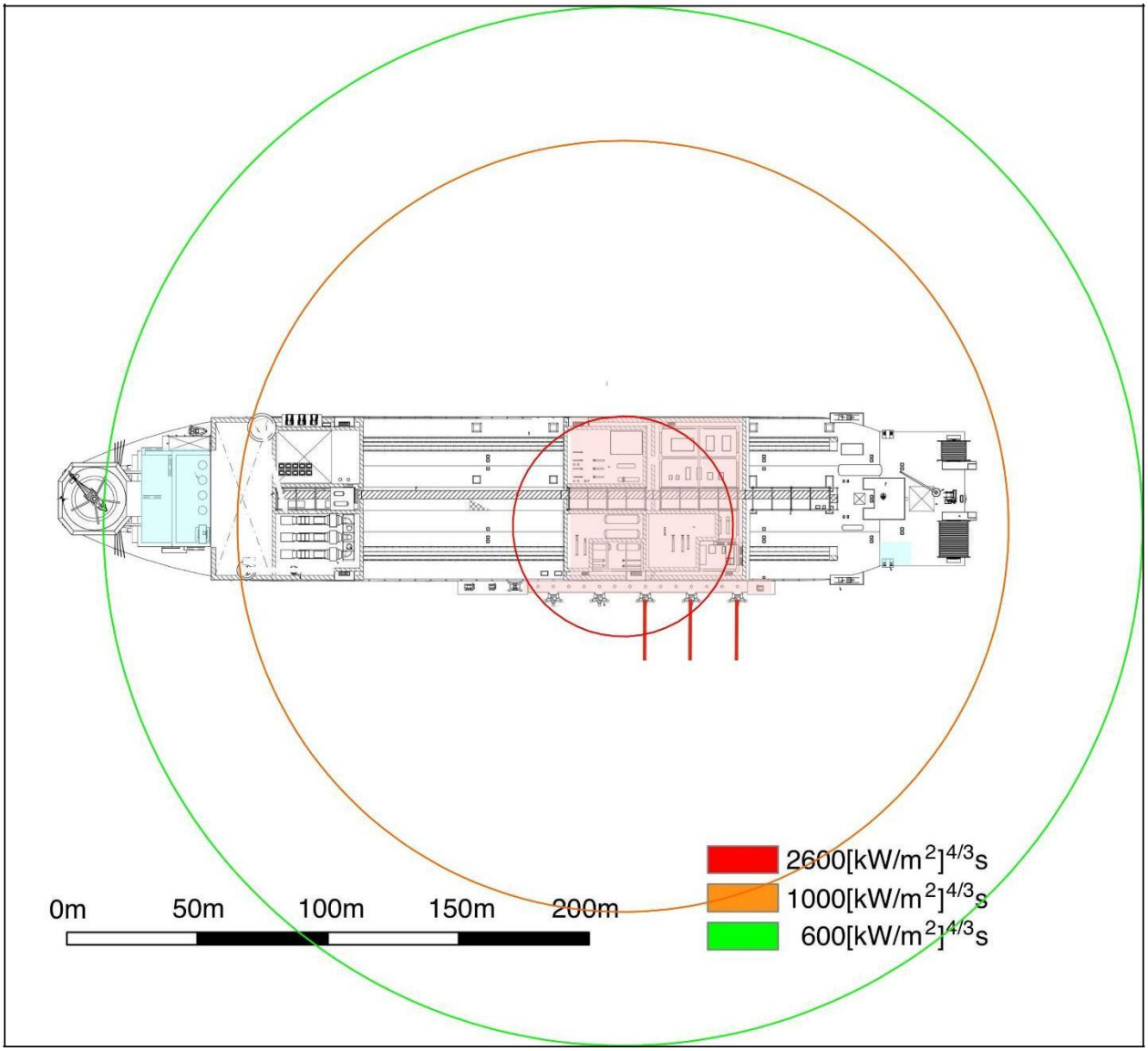


Figure 4-6 MAE F-03 Contour de la boule de feu pour une rupture catastrophique (échelle en m)

4.3.3. Résultats de l'explosion

L'allumage retardé des gaz inflammables dispersés dans une zone congestionnée (modules de compression des gaz vaporisés, des installations d'entrée, de comptage des condensats et des gaz d'exportation et de récupération des vapeurs) à la suite d'une perte de confinement pour MAE F-03 entraînera une explosion des nuages de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE dans la plupart des modules avant de la FPSO. Un gaz inflammable provenant d'une rupture typique (50 mm) et d'une rupture catastrophique (cas crédibles les plus défavorables) est capable de remplir complètement ces modules. Le tracé des contours et les surpressions associées au remplissage à 100 % de ce volume sont illustrés à la Figure 4-7 et au Tableau 4-10 respectivement.

Tableau 4-10 MAE F-03 Résultats de l'explosion

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1019
0,05	445
0,14	182
0,35	81

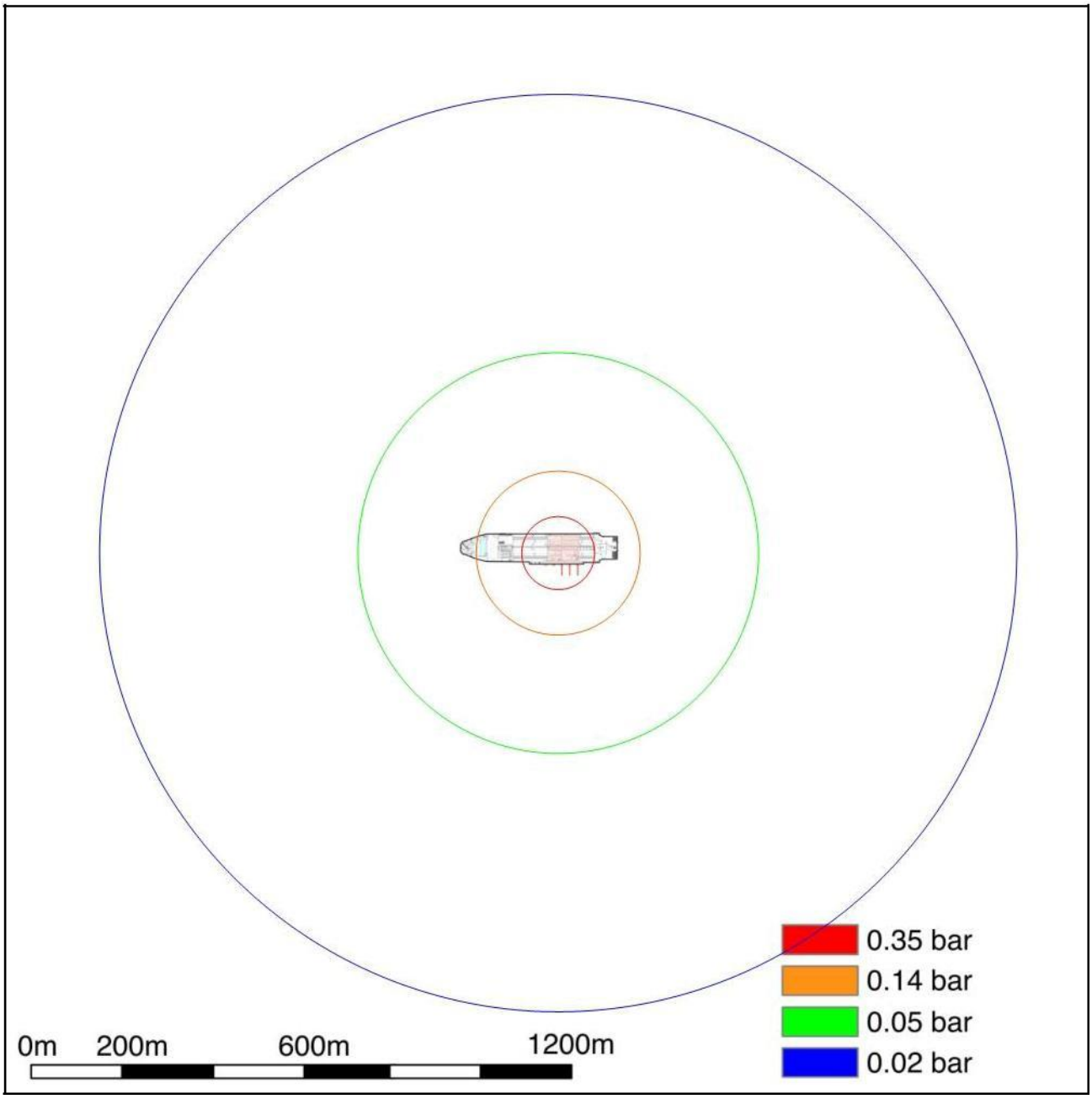


Figure 4-7 MAE F-03 Contours de l'explosion (échelle en m)

4.4. MAE F-04 : Rejet de liquide des installations de réception (récupérateurs de bouchon liquide)

4.4.1. Description de l'événement

Ce MAE est lié à une perte de confinement du côté liquide des récupérateurs de bouchon liquide et de la tuyauterie associée qui se trouve dans les installations de réception de la FPSO (module P3). La section comprend les deux récupérateurs de bouchon liquide et se termine aux ESDV situés en aval des récupérateurs de bouchon liquide.

La modélisation des incendies et des explosions pour cet MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée décrites dans le tableau ci-dessous et des conditions de flux tirées de l'Inventaire des risques majeurs de la FPSO (Annexe B. 1.2).

Tableau 4-11 MAE F-04 Paramètres du flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Installations de réception
Matériel supposé	Condensat : (fraction molaire) Eau : 0,23 Propane 0,34 i-Pentane : 0,02 Benzène : 0,01 Toluène : 0,01 Xylène : 0,01 C6 : 0,02 C7 : 0,04 C8 : 0,05 C9 : 0,02 C20 : 0,14
Pression (bar)	93
Température (°C)	1,4
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	36 807
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	152,9
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min
Volume congestionné (m^3)	21,000

4.4.2. Résultats de l'incendie

Un allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) peut entraîner un jet enflammé de liquide pulvérisé pour MAE F-04 si le rejet est dirigé horizontalement dans un espace ouvert (p. ex., hors-bord de la FPSO). Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-8 et au Tableau 4-13 respectivement.

Tableau 4-12 MAE F-04 50 mm - Résultats de l'étendue de jet enflammé pour rupture de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	226	366
	5	197	283
	10	167	201
	20	145	148
5/D	3	195	317
	5	168	246
	10	140	173
	20	120	126

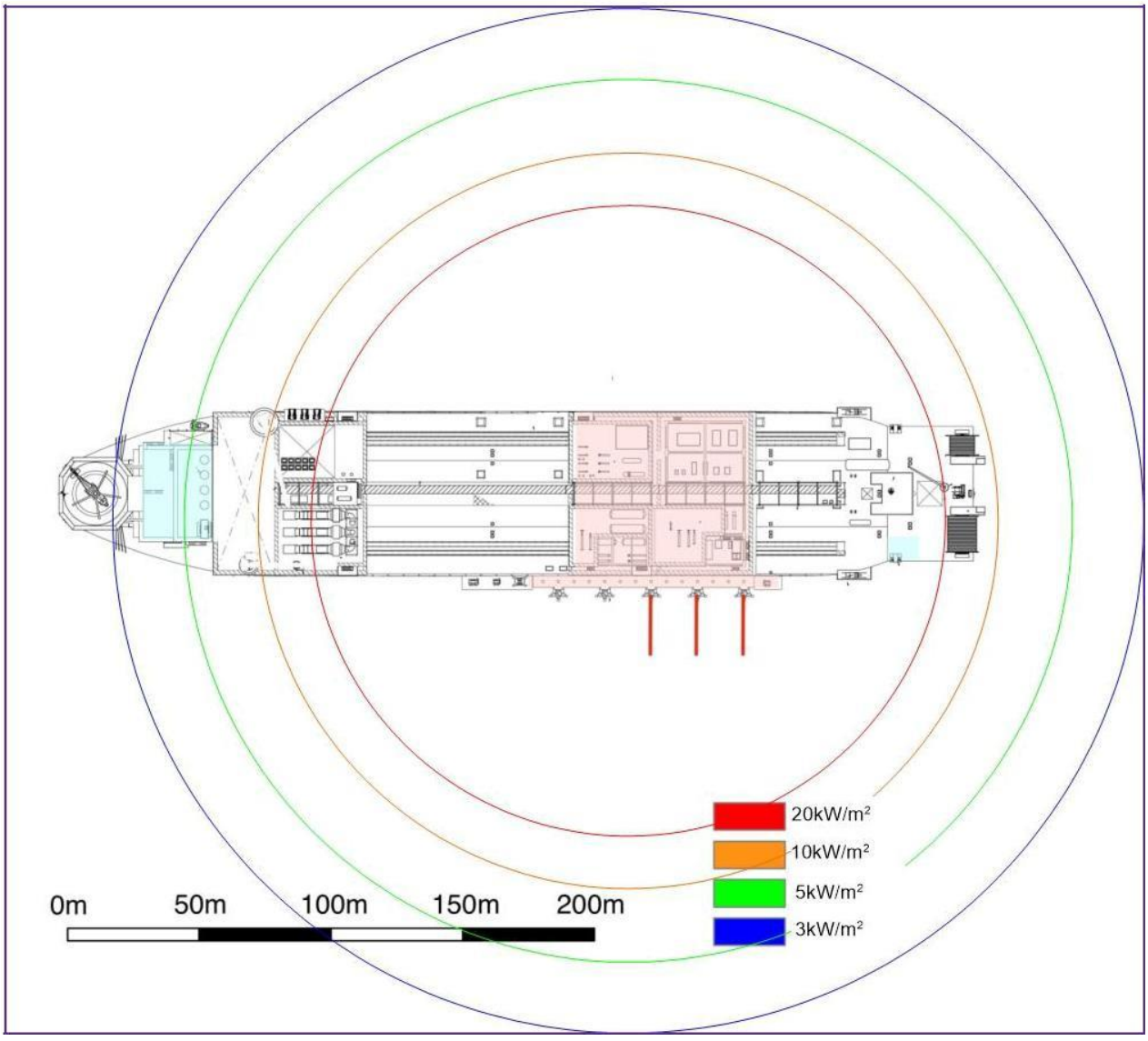


Figure 4-8 MAE F-04 Étendue des radiations pour le jet de gaz enflammé à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m).

Un allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) pourrait également entraîner un feu de nappe liquide pour MAE-04 si le rejet est dirigé vers le bas et que la dynamique est retirée. Les étendues de danger et le tracé des contours dus à l'impact du rayonnement thermique pour un feu de nappe sont indiqués au tableau 4-13 et à la Figure 4-9, respectivement.

Tableau 4-13 MAE F-04 50 mm - Résultats du feu de nappe

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	74	114
	5	54	80
	10	30	52
	20	23	46
5/D	3	86	121
	5	67	88
	10	33	57
	20	24	46

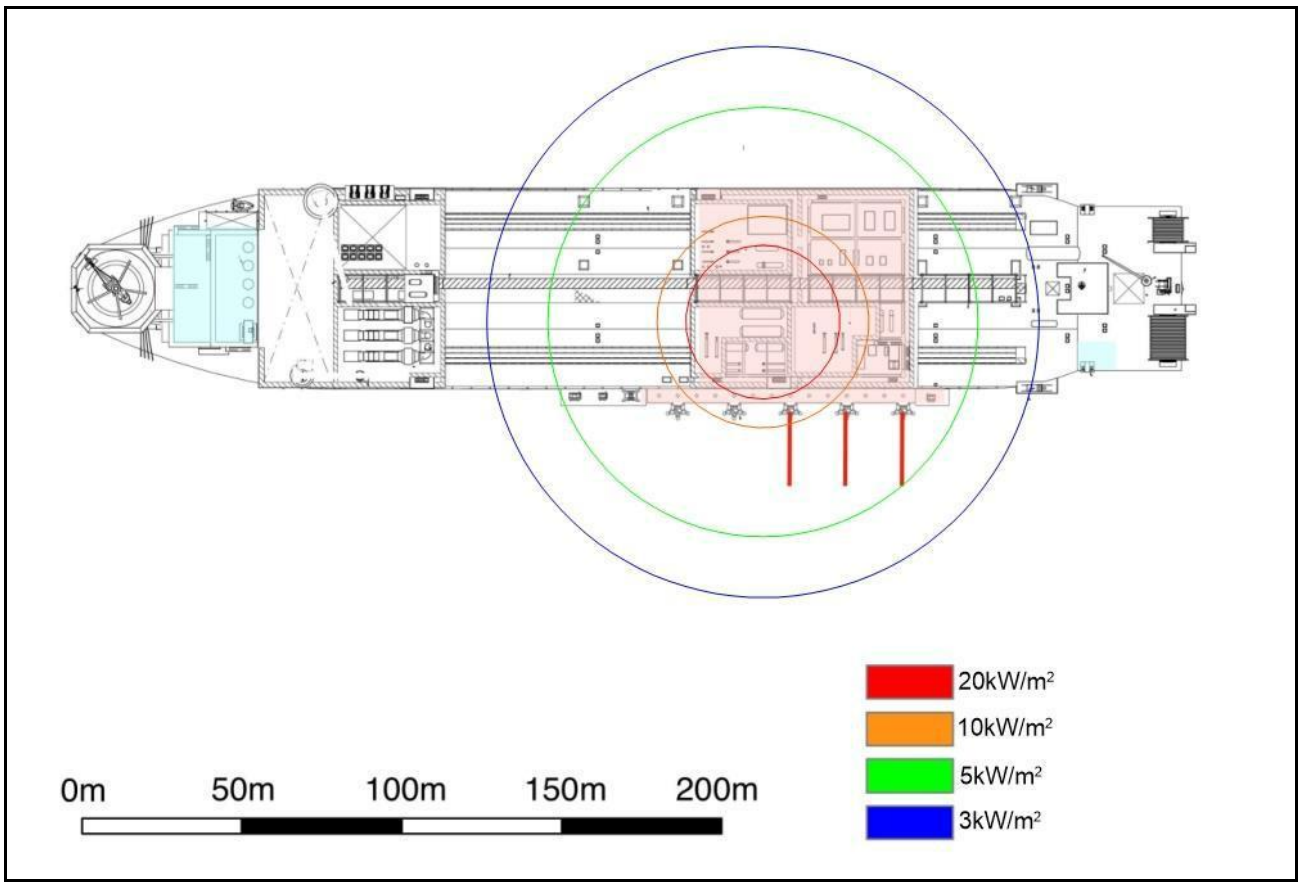


Figure 4-9 MAE F-04 Contours de rayonnement pour un feu de nappe à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m).

L'allumage immédiat à la suite d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un feu de nappe liquide pour MAE F-04. Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-10 et au Tableau 4-14 ci-dessous.

Tableau 4-14 MAE F-04 Résultats du feu de nappe en cas de rupture catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	90	140
	5	65	99
	10	37	66
	20	30	58
5/D	3	105	149
	5	81	109
	10	41	71
	20	30	59

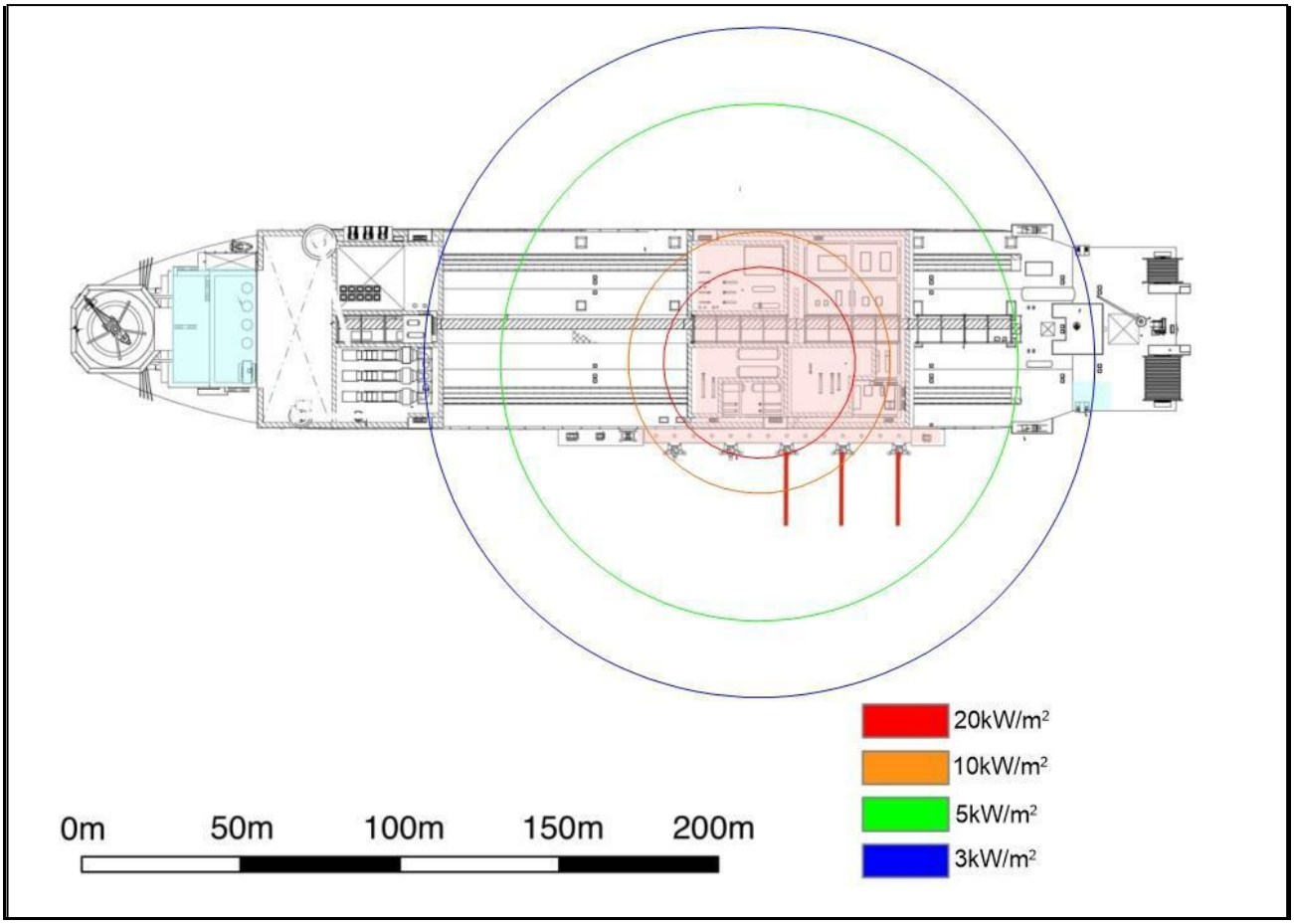


Figure 4-10 MAE F-04 Contours de rayonnement en cas de feu de nappe à la suite d'une rupture catastrophique (échelle en m)

4.4.3. Résultats de l'explosion

L'allumage de vapeurs inflammables dispersées dans une zone congestionnée (modules de compression des gaz vaporisés, des installations d'entrée, des compteurs des gaz de condensat et d'exportation et les modules de récupération des vapeurs) après la perte du confinement pour MAE F-04 entraînera une explosion des nuages de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE à l'intérieur de ces modules sur la FPSO. La masse inflammable résultant de l'explosion d'une rupture typique (50 mm) et d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) est limitée par l'inventaire dans la section. Le tracé de contour et les surpressions associées à une explosion dues à la vapeur dégagée dans ces modules sont illustrées à la Figure 4-11 et au Tableau 4-15 respectivement.

Tableau 4-15 MAE F-04 Résultats de l'explosion

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1078
0,05	471
0,14	192
0,35	86

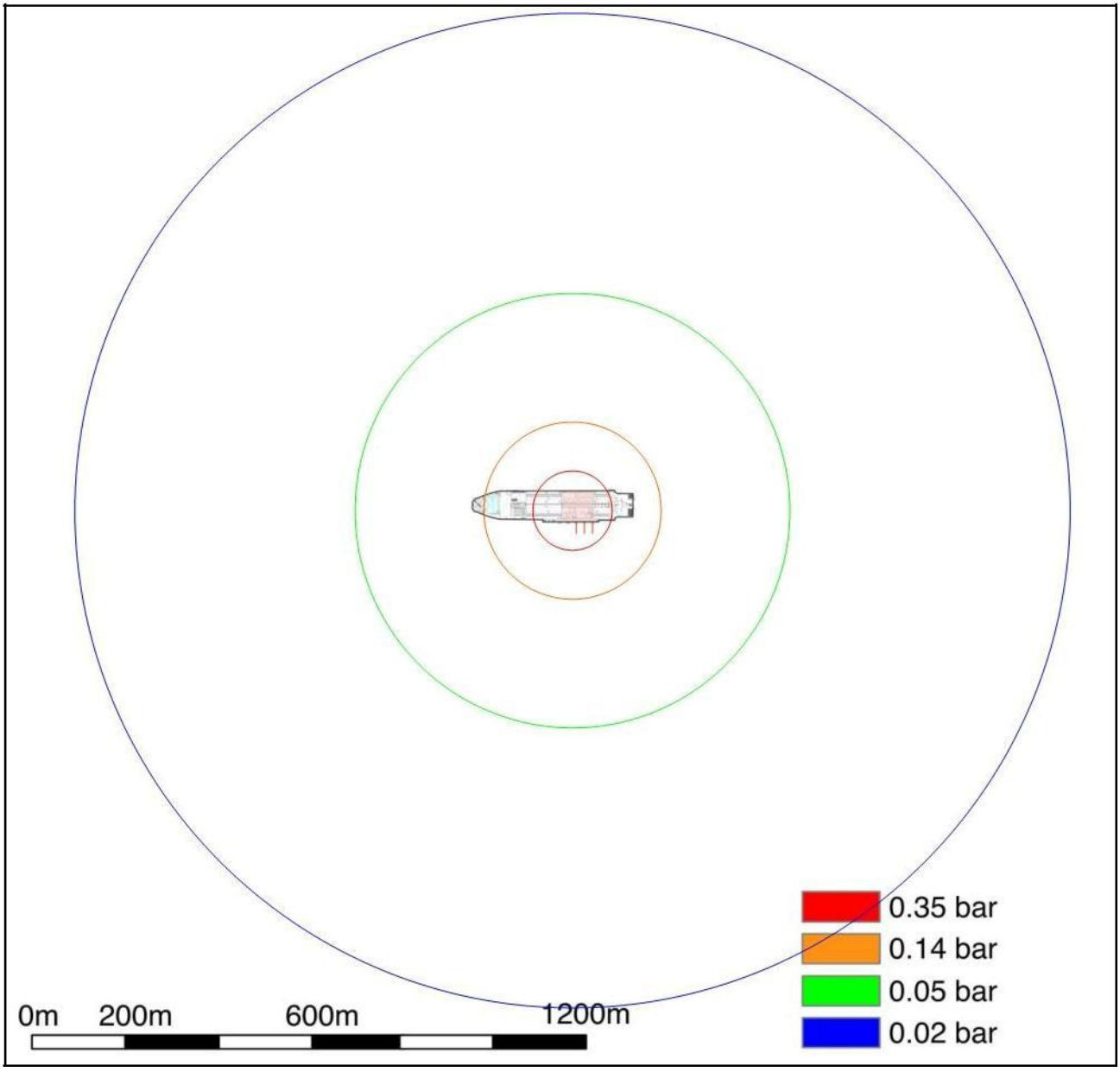


Figure 4-11 MAE F-04 Contours d'explosion (échelle en m)

4.5. MAE F-05 : Rejet de gaz provenant du traitement du gaz

4.5.1. Description de l'événement

Ce MAE vise une perte de confinement de l'unité de traitement et de comptage du gaz, en aval des récupérateurs de bouchon liquide et en amont de la ESDV du tube prolongateur d'exportation de gaz (en supposant qu'il n'y ait pas de compression des exportations de gaz). La section comprend les principaux équipements suivants :

- Épurateur de détendeur
- Détendeur à turbine
- Épurateur basse température
- Comptage de gaz

La modélisation des incendies et des explosions pour cet MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée décrites dans le tableau ci-dessous et des conditions de flux tirées de l'Inventaire des risques majeurs de la FPSO (Annexe B. 1.2).

Tableau 4-16 MAE F-05 Paramètres du flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Traitement et comptage du gaz
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	91
Température (°C)	15
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	3063
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	30,1
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min
Volume congestionné (m^3)	21 000

4.5.2. Résultats de l'incendie

L'allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) entraînera un jet de gaz enflammé pour MAE F-05. Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-12 et au Tableau 4-17 respectivement.

Tableau 4-17 MAE F-05 Résultats de l'étendue du jet de gaz enflammé pour rupture de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	104	152
	5	90	118
	10	76	83
	20	65	57
5/D	3	102	152
	5	91	118
	10	78	83
	20	69	57

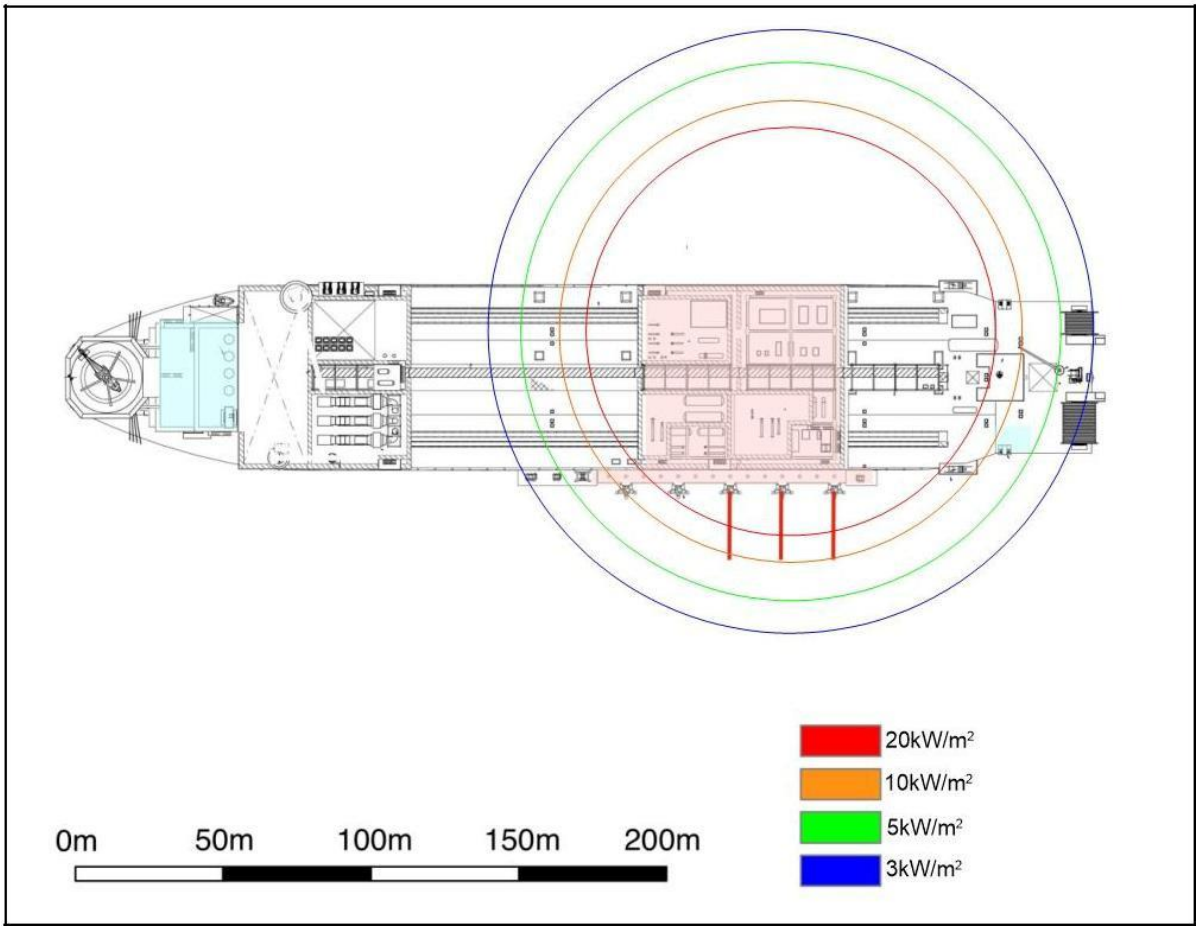
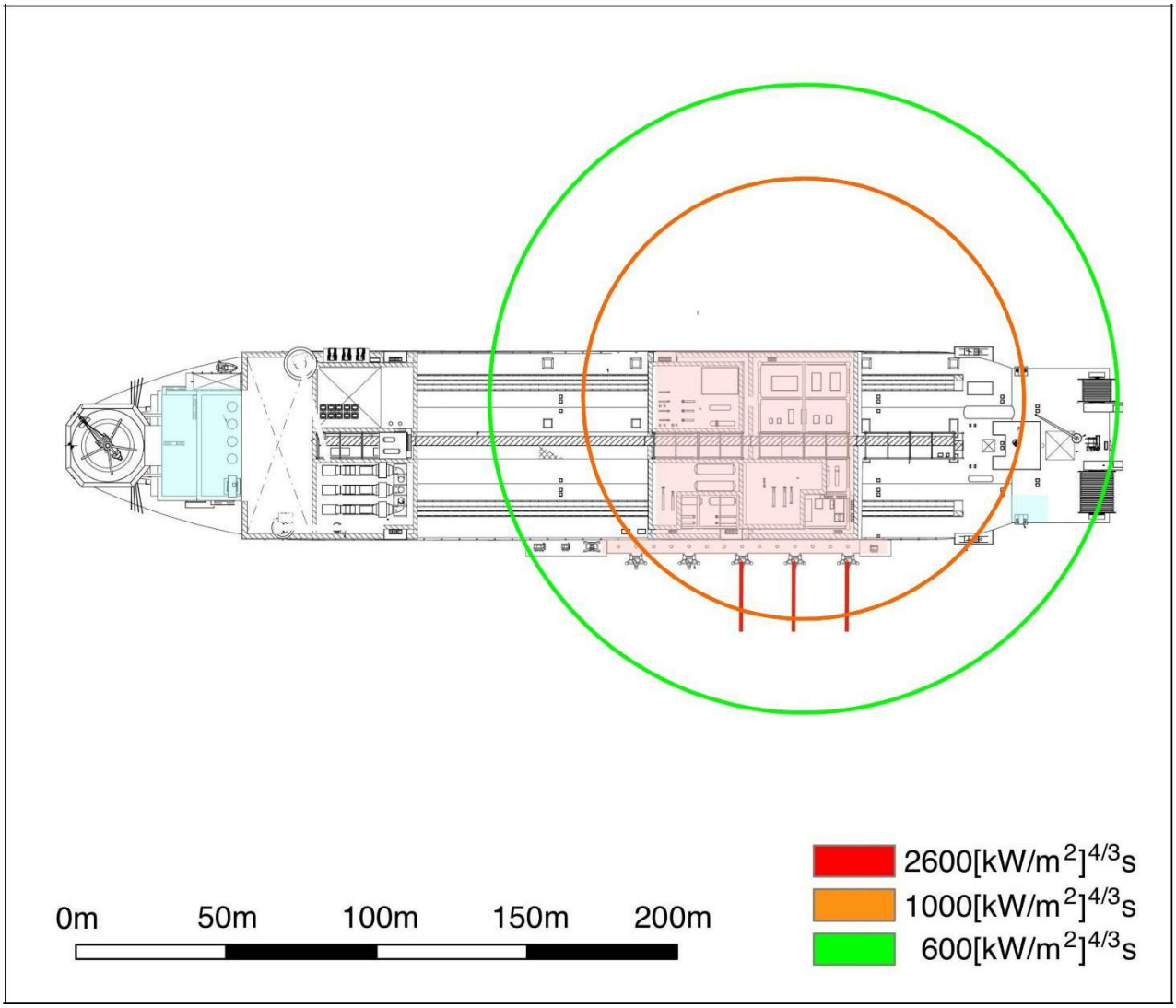


Figure 4-12 MAE F-05 Étendue du rayonnement pour un jet de gaz enflammé à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m)

L'allumage immédiat à la suite d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour MAE F-05. Les étendues de danger des tracés de contour dues à la dose thermique de la boule de feu sont illustrées à la Figure 4-13 et le Tableau 4-18 montre les étendues de danger.

Tableau 4-18 MAE F-05 Résultats de la boule de feu en cas de rupture catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
44	600	104
	1000	73
	2600	Non atteint



REMARQUE : Le niveau de dose thermique plus élevé n'a pas été atteint.

Figure 4-13 MAE F-05 Contour de la boule de feu pour une rupture catastrophique (échelle en m)

4.5.3. Résultats de l'explosion

L'allumage de gaz inflammable dispersé dans une zone congestionnée (les modules de compression de gaz vaporisé, des installations d'entrée, des compteurs de condensat et de gaz d'exportation et les modules de récupération des vapeurs) après la perte du confinement pour MAE F-05 entraînera une explosion des nuages de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE à l'intérieur de ces modules sur la FPSO. Un gaz inflammable provenant d'une rupture typique (50 mm) et d'une rupture catastrophique (cas crédibles les plus défavorables) est capable de remplir complètement ces modules. Le tracé de contour et les surpressions résultant de cette explosion sont illustrés à la Figure 4-14 et au Tableau 4-19 respectivement.

Tableau 4-19 MAE F-05 Résultats de l'explosion

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1019
0,05	445
0,14	182
0,35	81

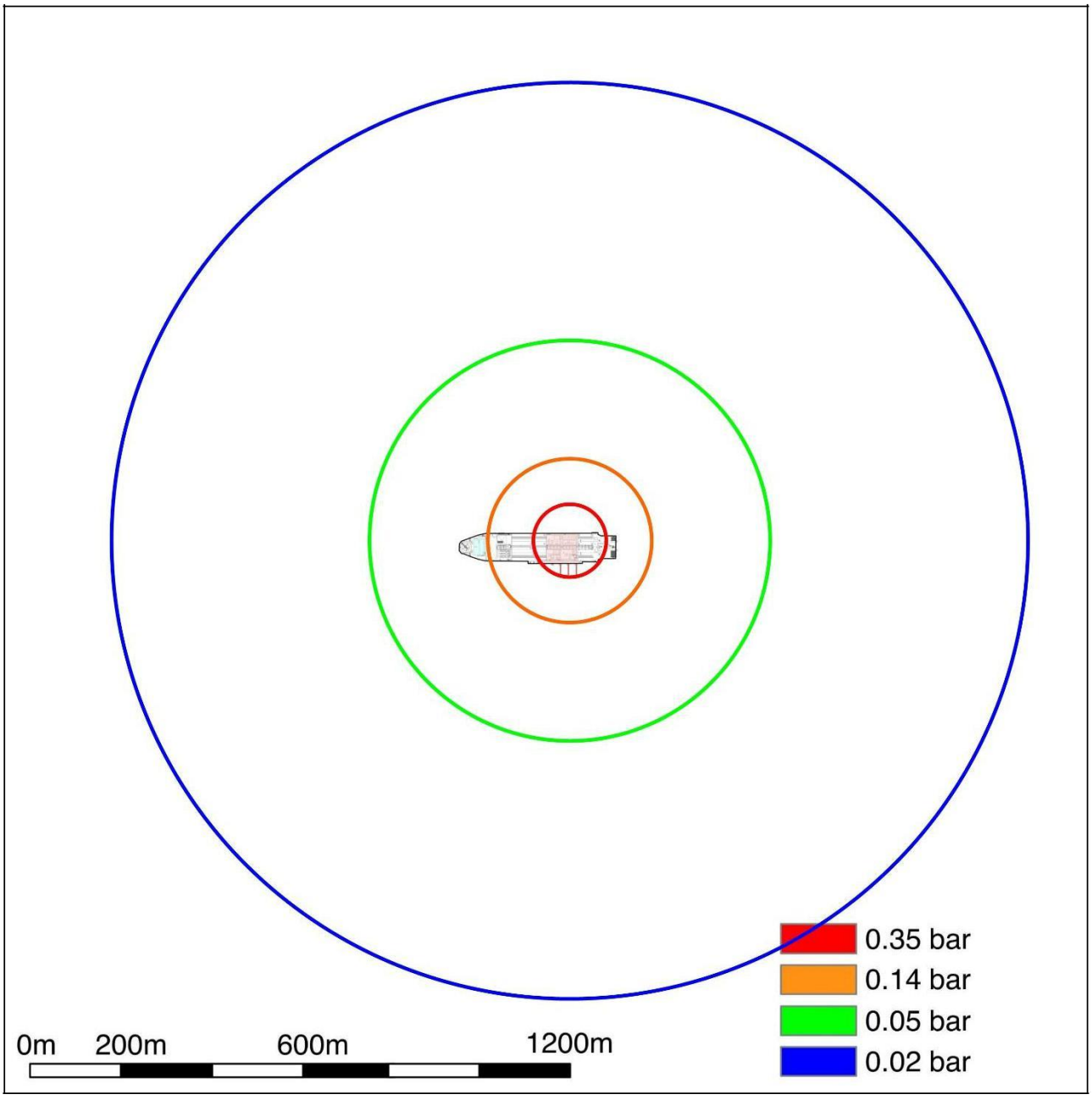


Figure 4-14 MAE F-05 Contours d'explosion (échelle en m)

4.6. MAE F-06 : Rejet de liquide provenant du traitement des gaz

4.6.1. Description de l'événement

Ce MAE est lié à une perte de confinement du côté liquide de l'unité de traitement des gaz, c'est-à-dire du côté liquide de l'épurateur de détendeur.

La modélisation des incendies et des explosions pour cet MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée décrites dans le tableau ci-dessous et des conditions de flux tirées de l'Inventaire des risques majeurs de la FPSO (Annexe B. 1.2).

Tableau 4-20 MAE F-06 Paramètres du flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Traitement des gaz (liquide)
Unité de traitement	Traitement des gaz
Matériel supposé	Condensat : (fraction molaire) Eau : 0,23 Propane 0,34 i-Pentane : 0,02 Benzène : 0,01 Toluène : 0,01 Xylène : 0,01 C6 : 0,02 C7 : 0,04 C8 : 0,05 C9 : 0,02 C20 : 0,14
Pression (bar)	91
Température (°C)	-3,5
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	1384
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	138,9
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	<1 min
Volume congestionné (m^3)	21,000

4.6.2. Résultats de l'incendie

Un allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) peut entraîner un jet enflammé de liquide pulvérisé pour MAE F-06 si le rejet est dirigé horizontalement dans un espace ouvert (p. ex. hors-bord de la FPSO). Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-15 et au Tableau 4-22 respectivement. Un feu par pulvérisation serait un événement de courte durée car le temps nécessaire pour libérer l'inventaire de liquide dans l'épurateur de détendeur est limité (<10 secondes). Cependant, le feu par pulvérisation serait suivi d'un incendie à jet de gaz en raison du suivi de l'inventaire de gaz du laveur de l'épurateur de détendeur et de la tuyauterie et de l'équipement de raccordement (voir MAE F-05).

Tableau 4-21 MAE F-06 Résultats de l'étendue de l'incendie par jet de gaz pour une rupture de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière maximal étendue (m)	Vent de travers maximal étendue (m)
2/D	3	211	337
	5	180	263
	10	146	184
	20	117	124
5/D	3	179	341
	5	161	267
	10	143	189
	20	130	130

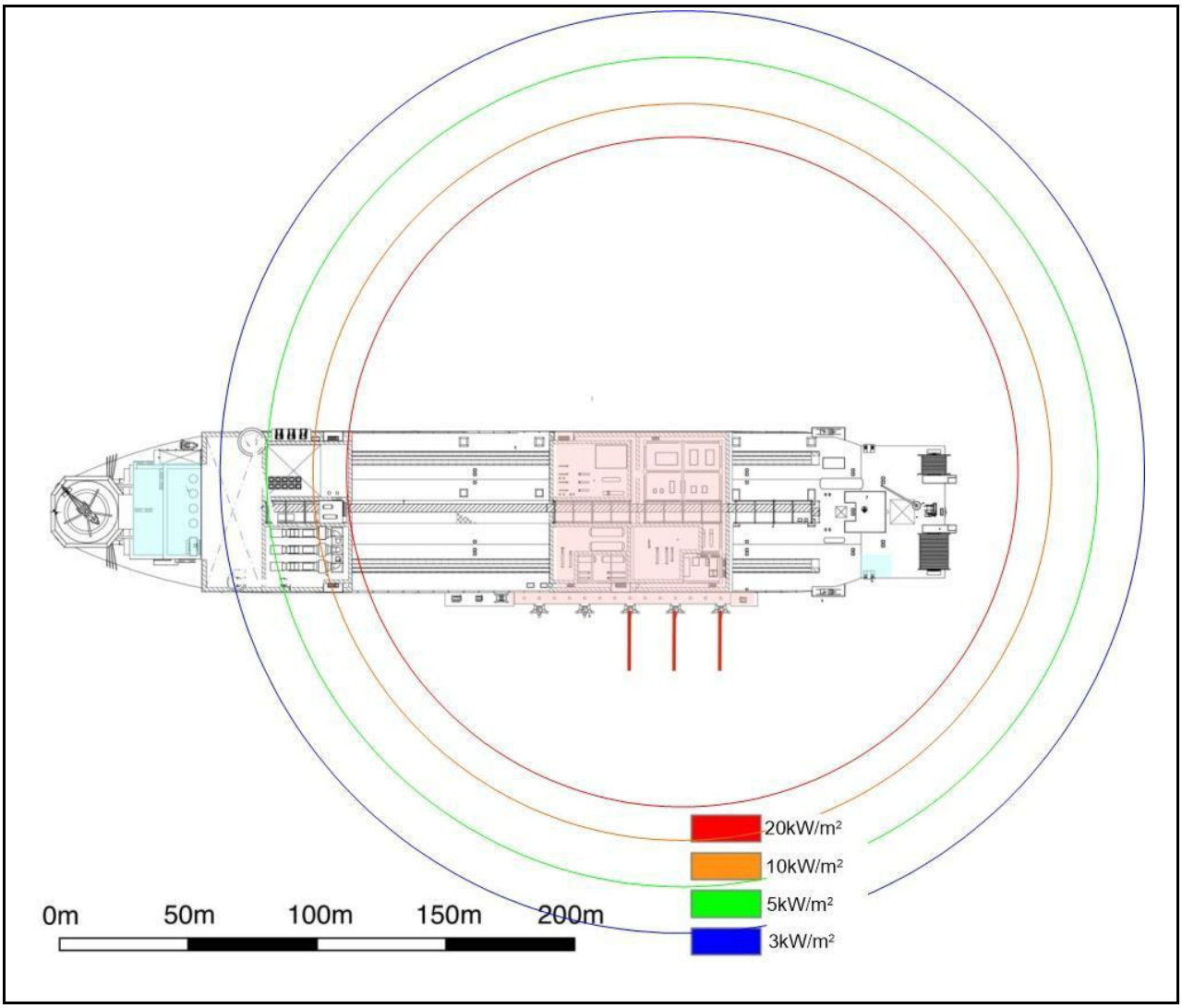


Figure 4-15 MAE F-06 Étendue du rayonnement pour un jet de gaz enflammé pour une rupture de 50 mm (échelle en m)

Un allumage immédiat à la suite d'une perte de confinement causée par une rupture typique (50 mm) pourrait également entraîner un feu de nappe liquide pour MAE F-06 si le rejet est dirigé vers le bas et que la dynamique est retirée. Les tracés de contour et les étendues de danger dues à l'impact du rayonnement thermique sont illustrés à la Figure 4-16 et au Tableau 4-22 respectivement.

Tableau 4-22 MAE F-06 50 mm - Résultats du feu de nappe

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière maximal étendue (m)	Vent de travers maximal étendue (m)
2/D	3.	39	60
	5	31	43
	10	19	27
	20	10	18
5/D	3.	42	61
	5	35	46
	10	24	29
	20	12	19

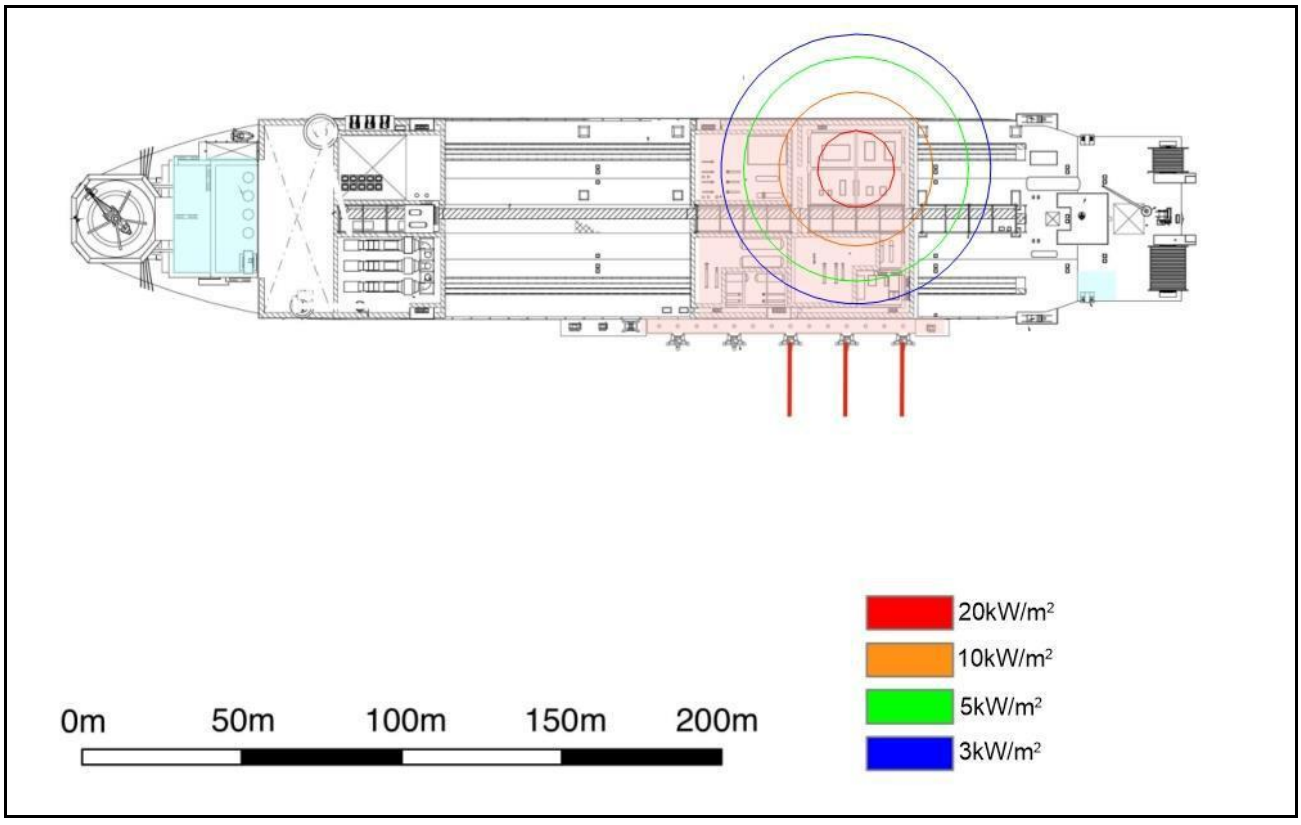


Figure 4-16 MAE F-06 Contours de rayonnement pour un feu de nappe à partir d'une rupture de 50 mm (échelle en m)

L'allumage immédiat à la suite d'une rupture catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un feu de nappe liquide pour MAE F-06. L'inventaire de liquide pour ce cas est limité à 1 384 kg, ce qui est le volume côté liquide de l'épurateur de détendeur. Un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) est modélisé comme une fuite de l'inventaire de liquide en 60 secondes (conformément à la section 3.2), néanmoins en raison de la petite taille de l'inventaire en question, le taux de fuite est inférieur au défaut représentatif (50 mm). Les risques d'incendie de nappe pour un défaut catastrophique devraient donc être illustrés par la Figure 4-16 et le Tableau 4-22.

4.6.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (compression de gaz vaporisé, équipements d'entrée, comptage de gaz d'exportation et de condensat et modules de récupération de vapeur), suite à la perte de confinement de MAE F-06 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE à l'intérieur de ces modules sur la FPSO. La masse inflammable impliquée dans l'explosion d'un défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) se limite au stock inflammable total compris dans la section. La courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion sont illustrées à la Figure 4-17 et au Tableau 4-23.

Tableau 4-23 Résultats d'explosion MAE F-06

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	973
0,05	425
0,14	174
0,35	77

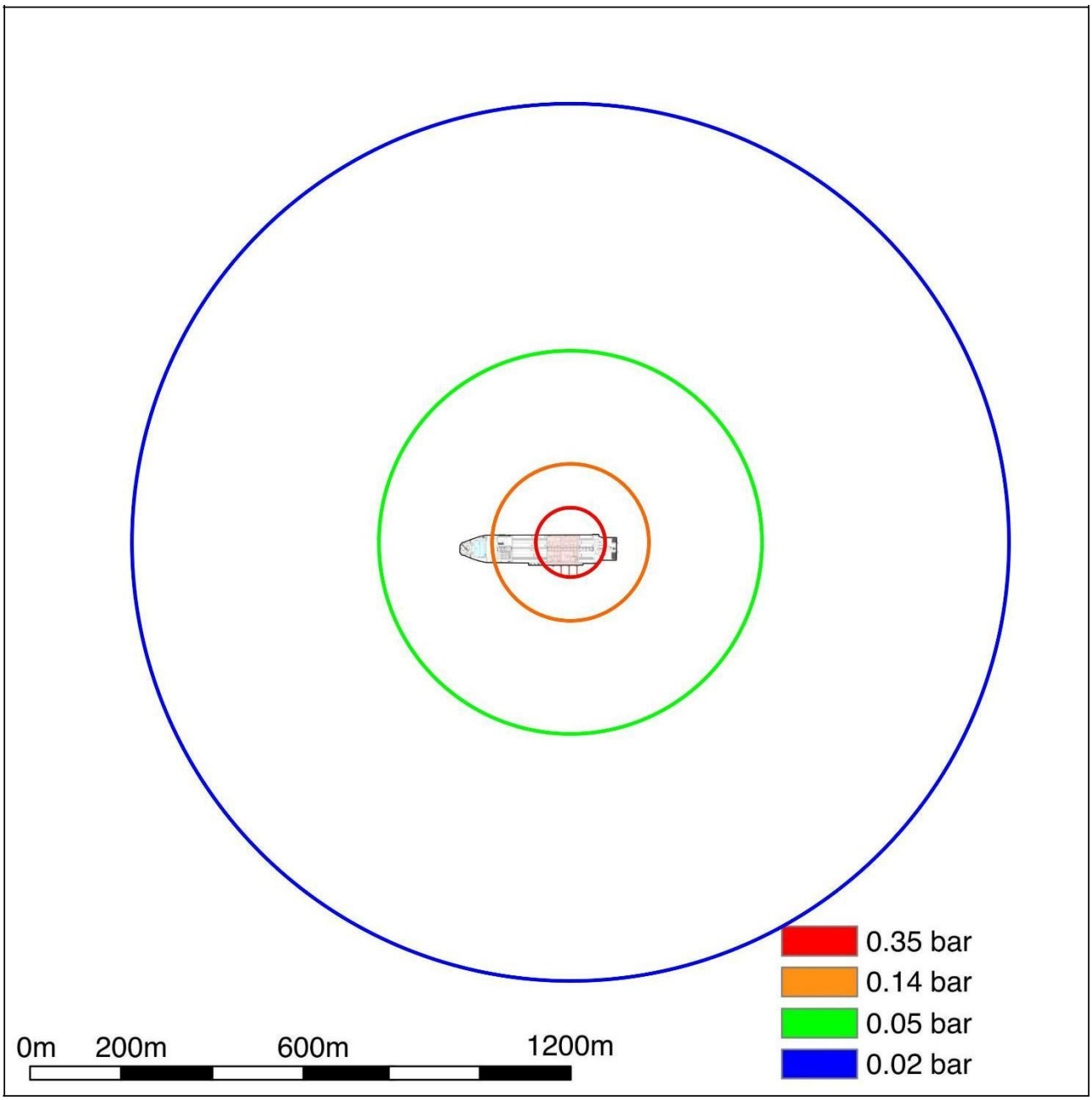


Figure 4-17 MAE F-06 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

4.7. MAE F-07 : Fuite de liquide du séparateur MP

4.7.1. Description de l'événement

Ce MAE (évènement d'accident majeur) concerne la perte de confinement du séparateur MP côté liquide, qui se trouve en aval de l'épurateur de détendeur et des deux récupérateurs de bouchon liquide. La modélisation des incendies et des explosions de ce MAE a été effectuée à l'aide des données incluses dans le tableau ci-dessous et des conditions de flux du stock à danger majeur de FPSO (Annexe B.1.2).

Tableau 4-24 MAE F-07 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Séparation de condensat
Matériel supposé	Condensat : (fraction molaire) Eau : 0,07 Propane 0,26 i-Pentane : 0,04 Benzène : 0,03 Toluène : 0,02 Xylène : 0,02 C6 : 0,04 C7 : 0,07 C8 : 0,10 C9 : 0,04 C20 : 0,27
Pression (bar)	40
Température (°C)	45
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	23 906
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	100,1
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	5-15 min
Volume congestionné (m^3)	21,000

4.7.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) peut entraîner un incendie jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE F-07, si la fuite est dirigée horizontalement dans un espace ouvert et dégagé, par exemple hors-bord d'une FPSO. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-18 et au Tableau 4-25.

Tableau 4-25 MAE F-07 Résultats de portée de jet enflammé de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	165	269
	5	143	208
	10	120	147
	20	104	107
5/D	3	143	235
	5	123	182
	10	102	128
	20	87	92

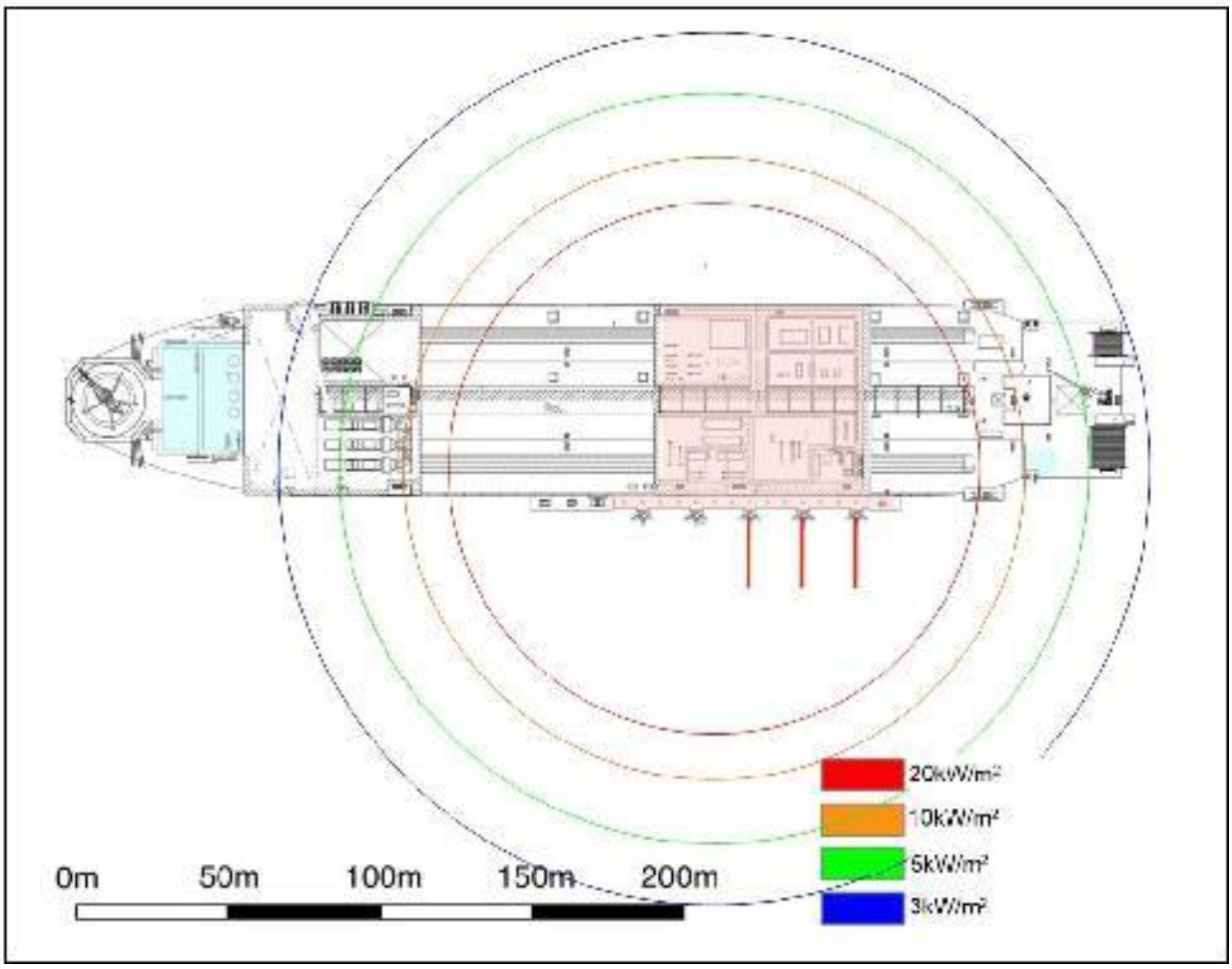


Figure 4-18 MAE F-07 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) peut entraîner un incendie de nappe liquide pour le MAE F-07, si la fuite est dirigée vers le bas et l'élan du fluide est supprimé. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-19 et dans le Tableau 4-26.

Tableau 4-26 MAE F-07 Résultats d'incendie de nappe liquide de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	58	84
	5	42	58
	10	22	36
	20	14	27
5/D	3	69	89
	5	54	63
	10	26	39
	20	15	29

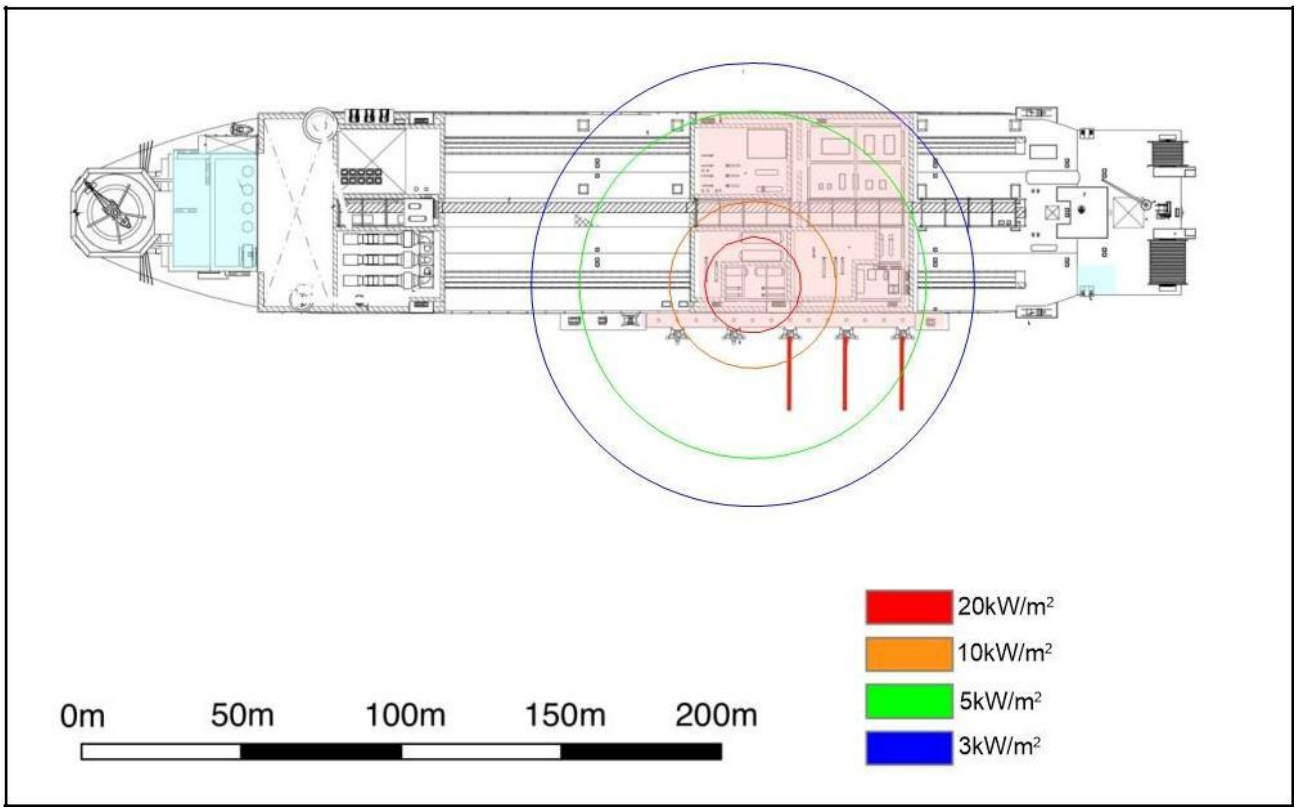


Figure 4-19 MAE F-07 Courbes de rayonnement d'incendie de nappe suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un incendie de nappe liquide pour le MAE F-07. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-20 et dans le Tableau 4-27.

Tableau 4-27 MAE F-07 Résultats d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	97	145
	5	66	100
	10	37	63
	20	30	58
5/D	3	117	156
	5	84	110
	10	41	71
	20	30	59

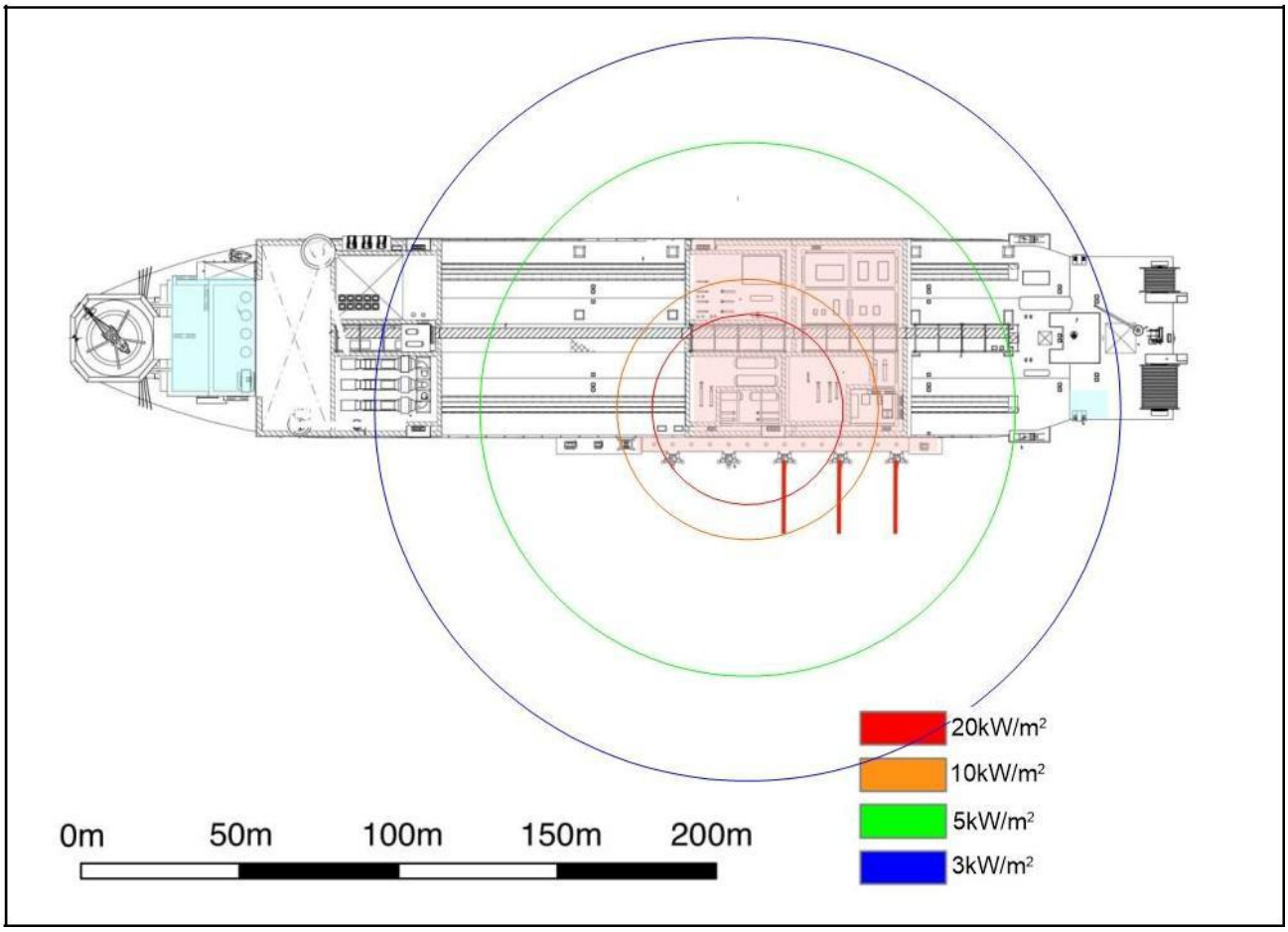


Figure 4-20 MAE F-07 Courbes de rayonnement d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique (échelle en mètres)

4.7.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (compression de gaz vaporisé, équipements d'entrée, comptage de gaz d'exportation et de condensat et modules de récupération de vapeur), suite à la perte de confinement de MAE F-07 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE à l'intérieur de ces modules sur la FPSO. La masse inflammable impliquée dans l'explosion d'un défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) se limite au stock inflammable total compris dans la section. La courbe de niveau et les surpressions sont illustrées à la Figure 4-25 et dans le Tableau 4-33.

Tableau 4-28 Résultats d'explosion MAE F-07

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	1123
0,05	491
0,14	200
0,35	89

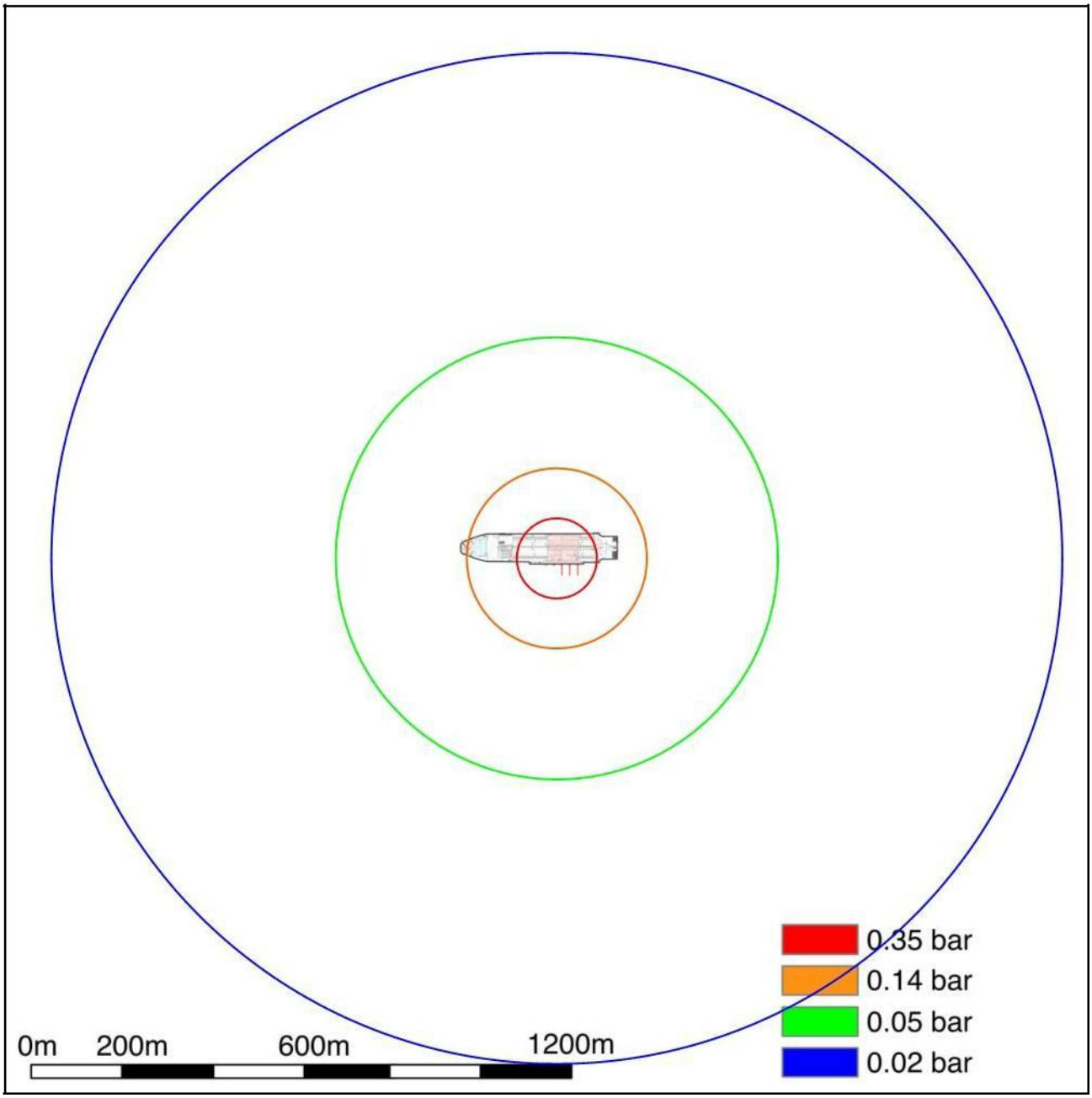


Figure 4-21 MAE F-07 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

4.8. MAE F-08 : Fuite de liquide du séparateur BP

4.8.1. Description de l'événement

Ce MAE (évènement d'accident majeur) concerne la perte de confinement du séparateur BP côté liquide, qui se trouve en aval du séparateur MP. La modélisation des incendies et des dispersions de gaz inflammable de ce MAE a été effectuée à l'aide des données incluses dans le tableau ci-dessous et des conditions de flux d'inventaire de produits dangereux (Major Hazard Inventory) de la FPSO (Annexe B.1.2).

Tableau 4-29 MAE F-08 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Séparation de condensat
Matériel supposé	Condensat : (fraction molaire) Eau : 0,04 Propane 0,19 i-Pentane : 0,05 Benzène : 0,04 Toluène : 0,02 Xylène : 0,03 C6 : 0,05 C7 : 0,09 C8 : 0,11 C9 : 0,04 C20 : 0,32
Pression (bar)	12
Température (°C)	45
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	14 417
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	53,5
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	5-15 min
Volume congestionné (m^3)	-

4.8.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) peut entraîner un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE F-08, si la fuite est dirigée horizontalement dans un espace ouvert et dégagé. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-22 et au Tableau 4-30.

Tableau 4-30 MAE F-08 Résultats de portée du jet enflammé pour un défaut de de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	138	227
	5	119	175
	10	99	123
	20	84	89
5/D	3	119	196
	5	101	152
	10	83	106
	20	70	76

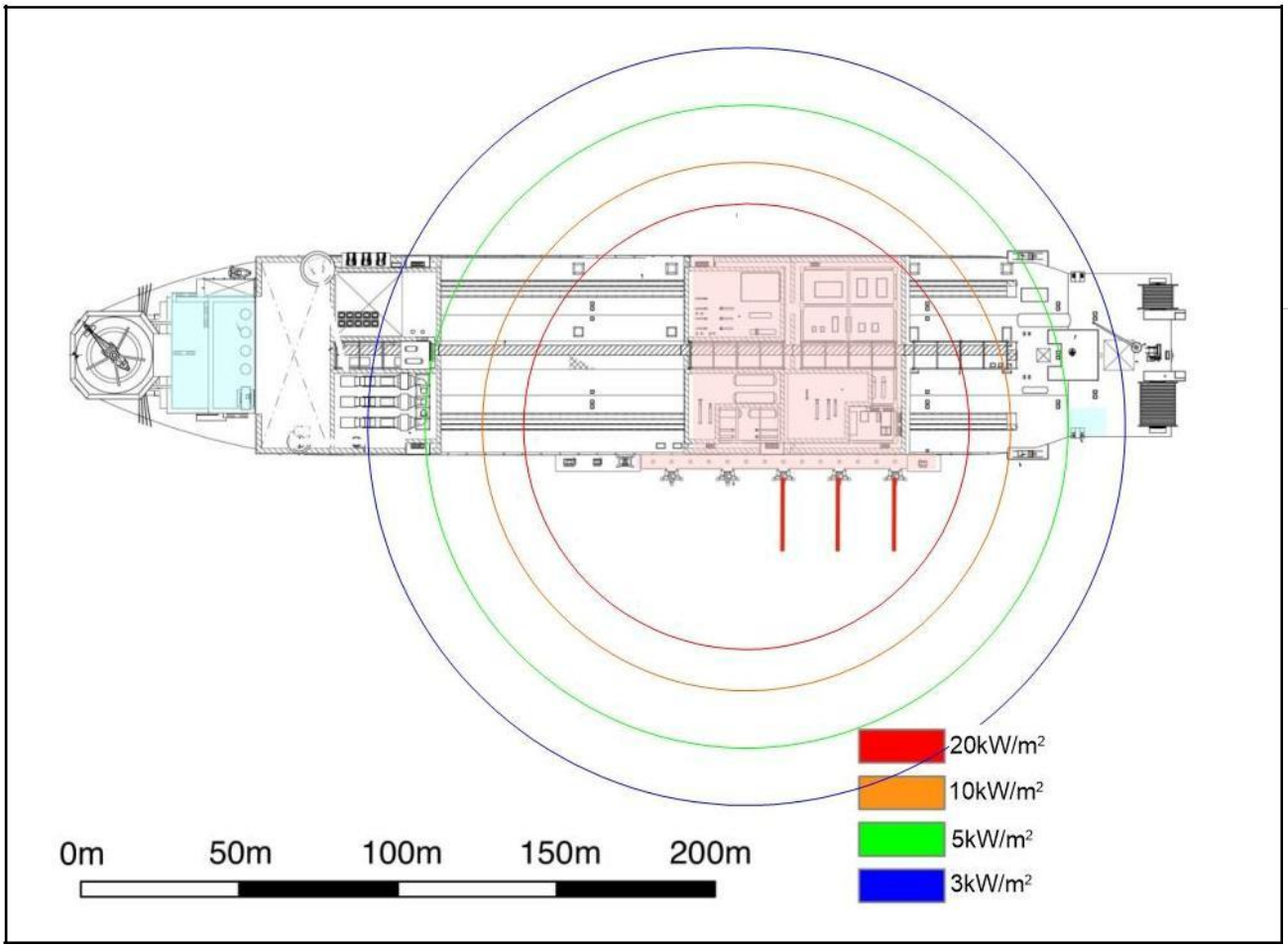


Figure 4-22 MAE F-08 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) peut entraîner un incendie de nappe liquide pour le MAE F-08 si la fuite est dirigée vers le bas et l'élan supprimé. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-23 et dans le Tableau 4-31.

Tableau 4-31 MAE F-08 Résultats d'incendie de nappe liquide pour un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	54	77
	5	40	53
	10	22	32
	20	12	22
5/D	3	61	80
	5	50	58
	10	27	35
	20	13	23

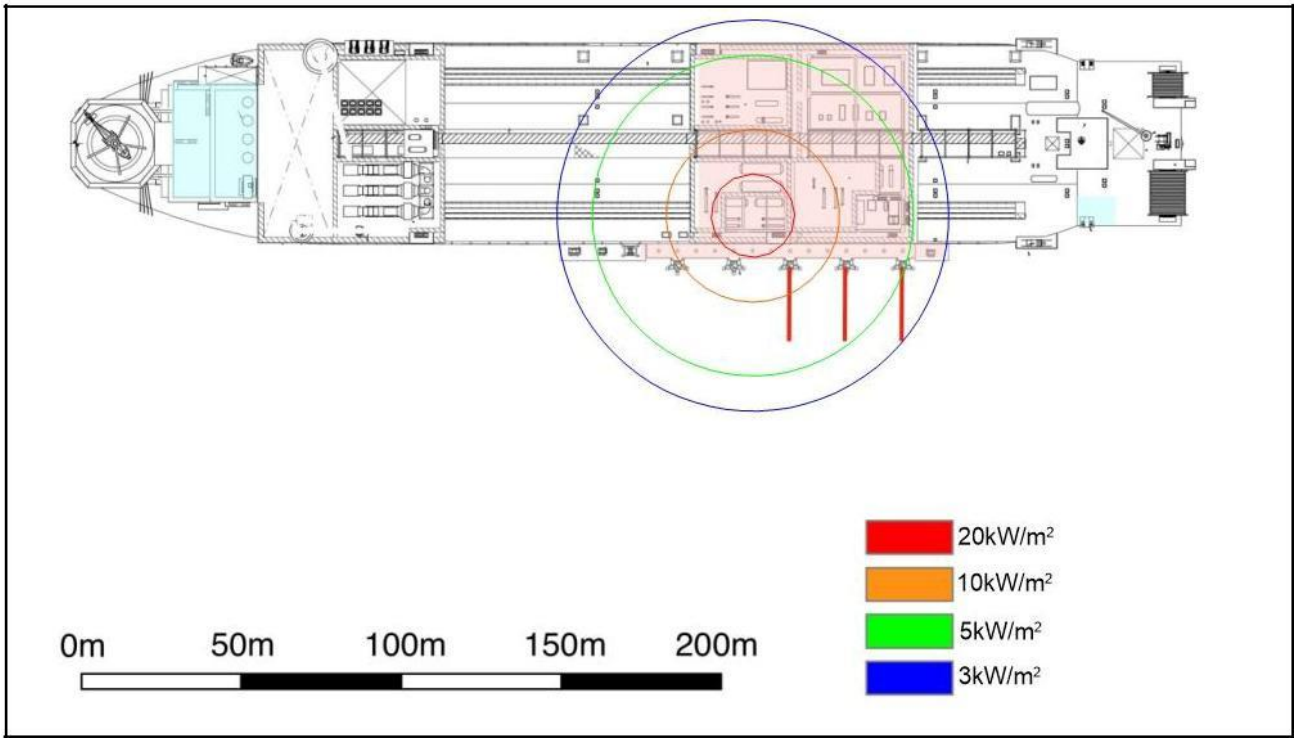


Figure 4-23 MAE F-08 Courbes de niveau de rayonnement d'incendie de nappe suite à défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un incendie de nappe liquide pour le MAE F-08. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-24 et au Tableau 4-32.

Tableau 4-32 MAE F-08 Résultats d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	89	131
	5	60	90
	10	33	59
	20	26	52
5/D	3	110	142
	5	76	99
	10	37	63
	20	27	52

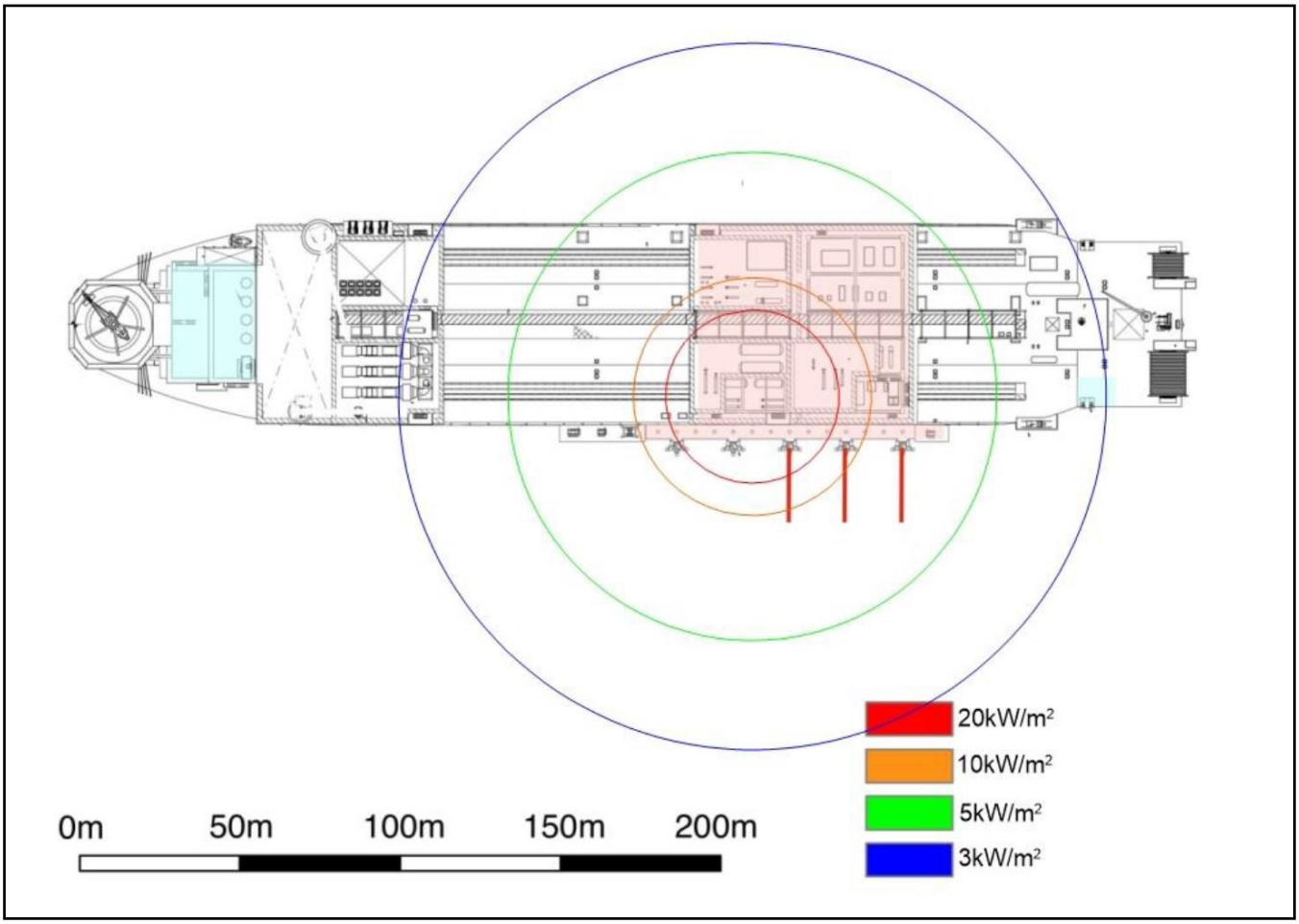


Figure 4-24 MAE F-08 Courbes de rayonnement d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique (échelle en mètres)

4.8.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (compression de gaz vaporisé, équipements d'entrée, comptage de gaz d'exportation et de condensat, et modules de récupération de vapeur), suite à la perte de confinement de MAE F-08 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE à l'intérieur de ces modules sur la FPSO. La masse inflammable impliquée dans l'explosion d'un défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) se limite au stock inflammable total compris dans la section. La courbe de niveau et les surpressions sont illustrées à la Figure 4-25 et dans le Tableau 4-33.

Tableau 4-33 Résultats d'explosion MAE F-08

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	1154
0,05	504
0,14	206
0,35	92

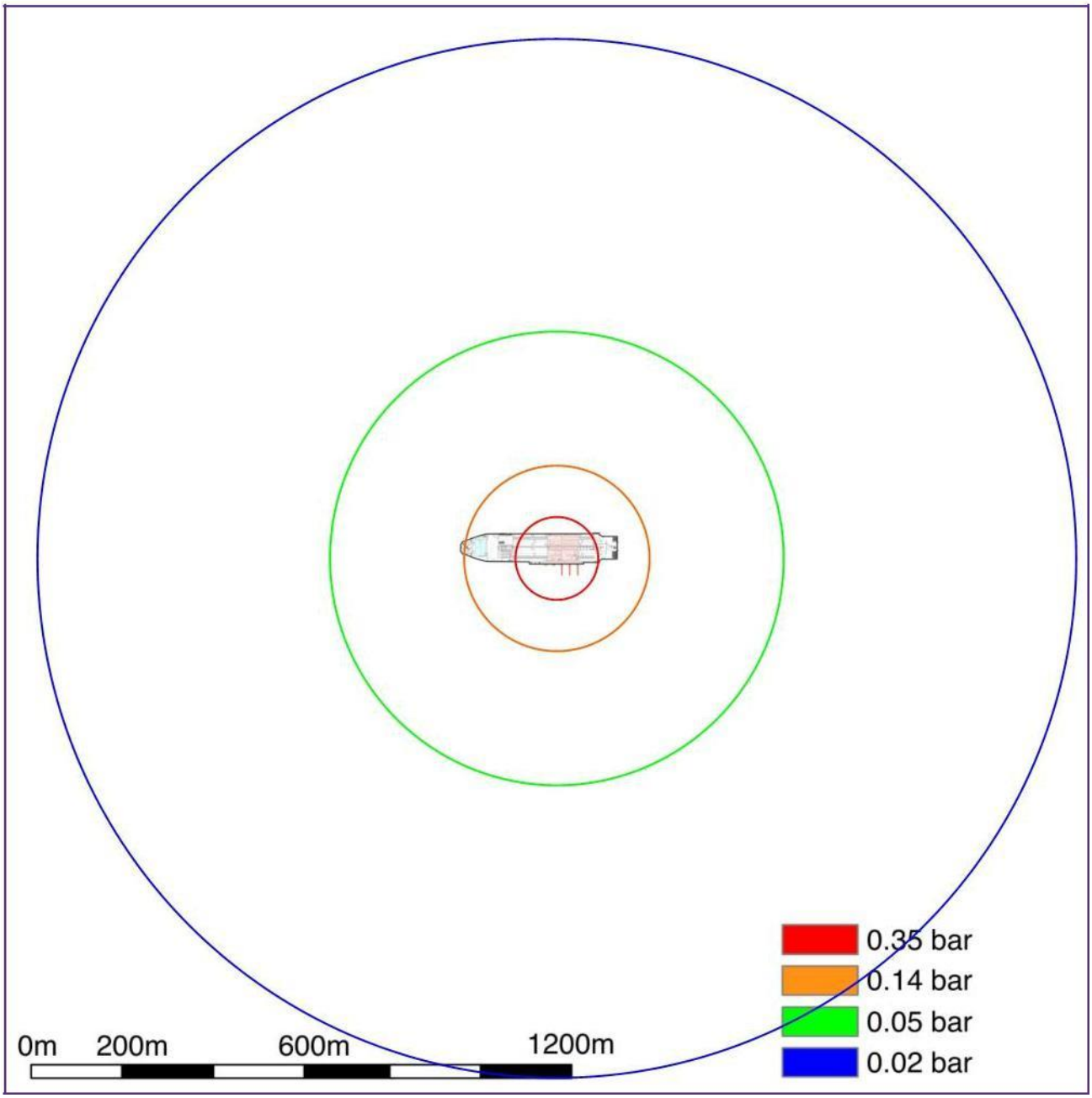


Figure 4-25 MAE F-08 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

4.9. MAE F-09 : Fuite de liquide de séparateur TBP

4.9.1. Description de l'événement

Ce MAE se situe sur la FPSO en aval du séparateur TBP, menant au stockage de condensat, stockage et régénération de MEG (monoéthylèneglycol).

Les conditions de flux pour ce MAE ont été obtenues à partir de l'inventaire de produits dangereux de la FPSO, (Annexe B.1.2), et sont illustrées ci-dessous.

Tableau 4-34 MAE F-09 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Séparation de condensat - TBP (Liquide)
Unité de traitement	Séparation de condensat
Matériel supposé	Condensat : (fraction molaire) Eau : 0,02 Propane 0,06 i-Pentane : 0,05 Benzène : 0,04 Toluène : 0,02 Xylène : 0,03 C6 : 0,05 C7 : 0,11 C8 : 0,14 C9 : 0,05 C20 : 0,40
Pression (bar)	1,6
Température (°C)	65
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	20 267
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	12,5
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min
Volume congestionné (m^3)	-

4.9.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera un incendie de nappe liquide pour le MAE F-09. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-26 et au Tableau 4-35.

Tableau 4-35 MAE F-09 Résultats de portée d'incendie de nappe 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	42	64
	5	34	47
	10	22	29
	20	12	18
5/D	3	46	65
	5	38	49
	10	29	31
	20	15	19

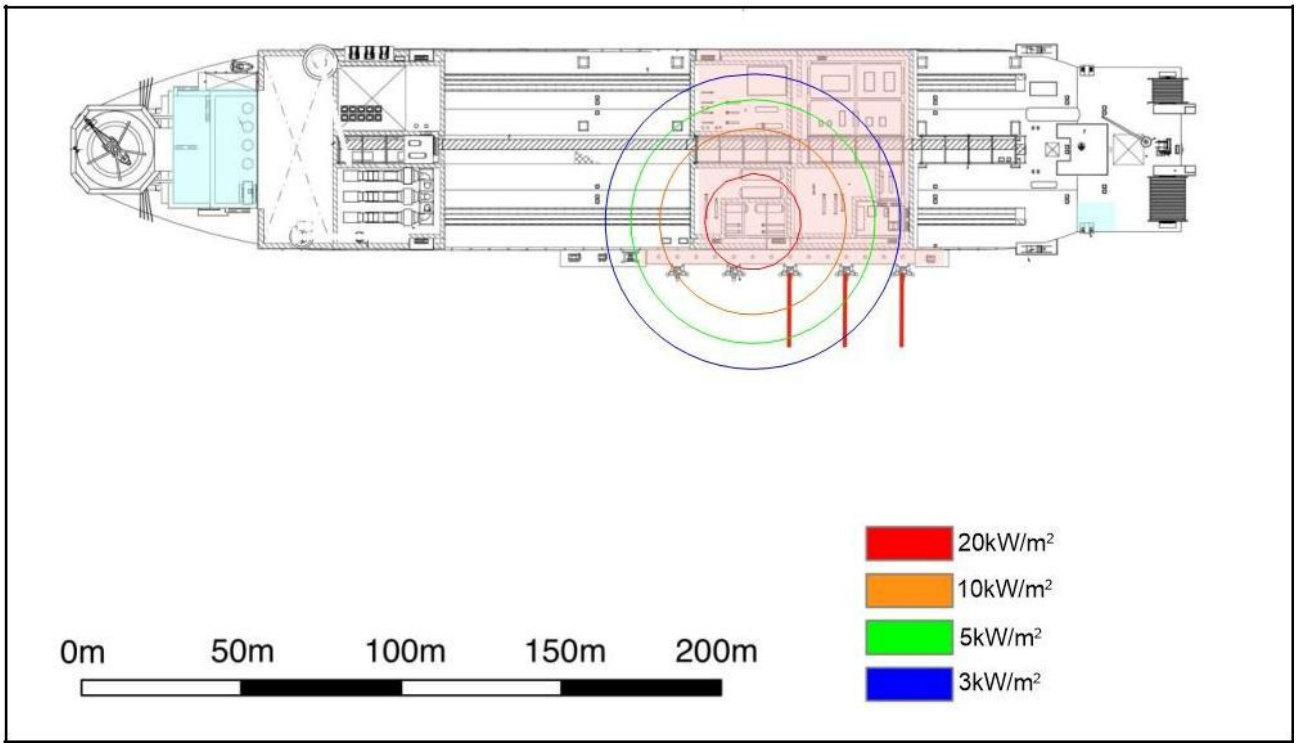


Figure 4-26 MAE F-09 Portée de rayonnement d'incendie de nappe suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un incendie de nappe liquide pour le MAE F-09. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-27 et au Tableau 4-36.

Tableau 4-36 MAE F-09 Résultats d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	93	139
	5	64	96
	10	35	63
	20	28	56
5/D	3	112	149
	5	81	106
	10	39	68
	20	29	56

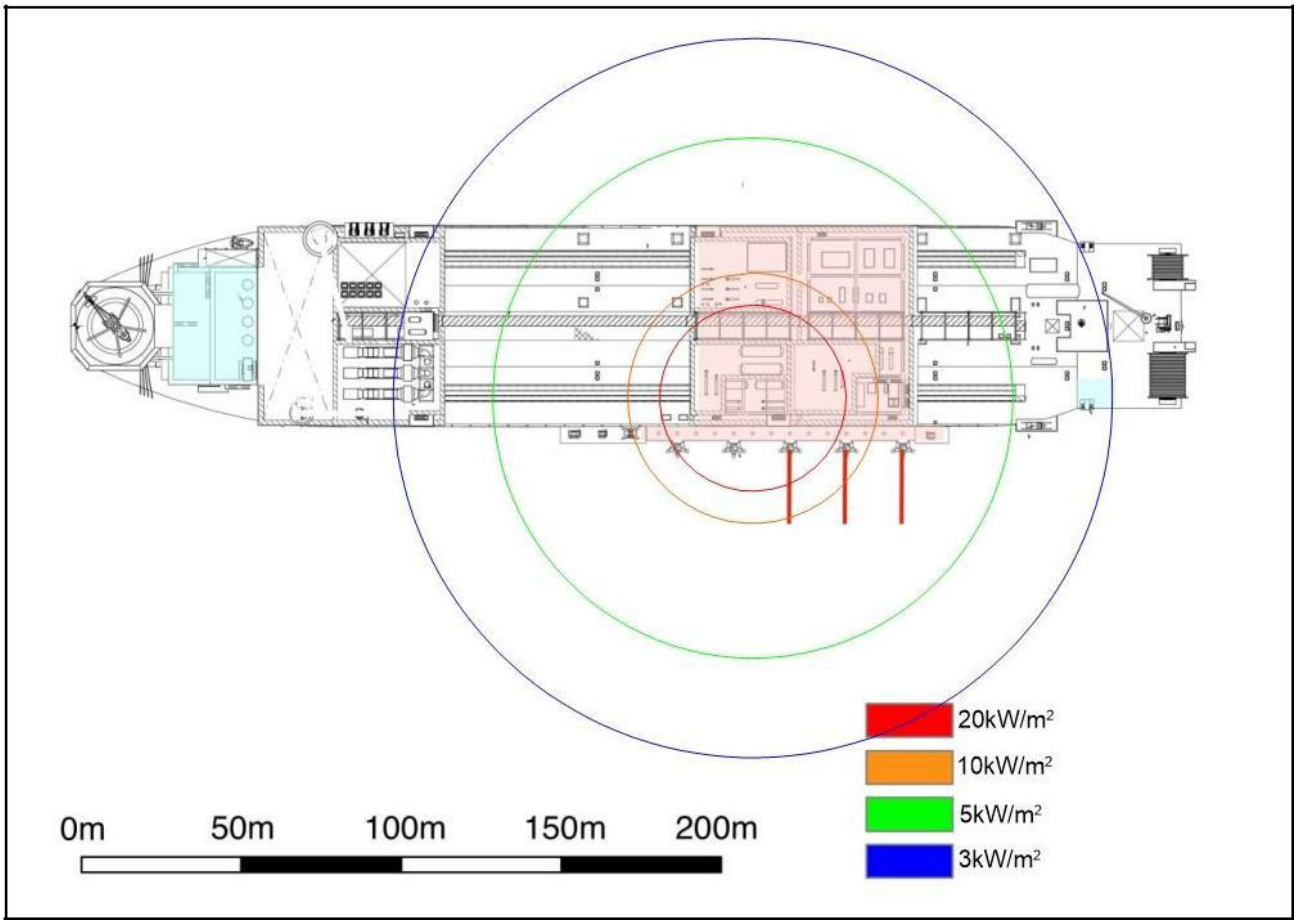


Figure 4-27 MAE F-09 Courbes de rayonnement d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique (échelle en mètres)

4.10. MAE F-10 : Fuite de gaz suite à la compression de gaz vaporisé

4.10.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne la fuite de gaz inflammable due à la perte de confinement dans le train de compression de gaz vaporisé, en aval du détendeur à turbine et prélevant de la vapeur des séparateurs MP, BP et TBP. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Séparateur MP (atmosphère intérieure)
- Séparateur BP (atmosphère intérieure)
- Séparateur TBP (atmosphère intérieure)
- Ballon de refoulement de compression MP de gaz de combustion
- Compresseur MP de gaz de combustion
- Épurateur d'aspiration de compression MP de gaz de combustion
- Compresseur BP de gaz de combustion
- Épurateur d'aspiration de compression BP de gaz de combustion
- Compresseur TBP de gaz de combustion
- Épurateur d'aspiration de compression TBP de gaz de combustion

Les conditions de flux et de données pour ce MAE ont été obtenues à partir de l'inventaire à danger majeur de FPSO, (Annexe B.1.2), et sont illustrées ci-dessous.

Tableau 4-37 MAE F-10 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Compression de gaz vaporisé
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	39
Température (°C)	46
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	154
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	11,3
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	<1 min
Volume congestionné (m^3)	21,000

4.10.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera un jet enflammé de gaz pour le MAE F-10. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-28 et dans le Tableau 4-38.

Tableau 4-38 MAE F-10 Résultats de portée de jet enflammé de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	64	92
	5	57	71
	10	49	50
	20	42	34
5/D	3	64	92
	5	57	71
	10	50	50
	20	45	33

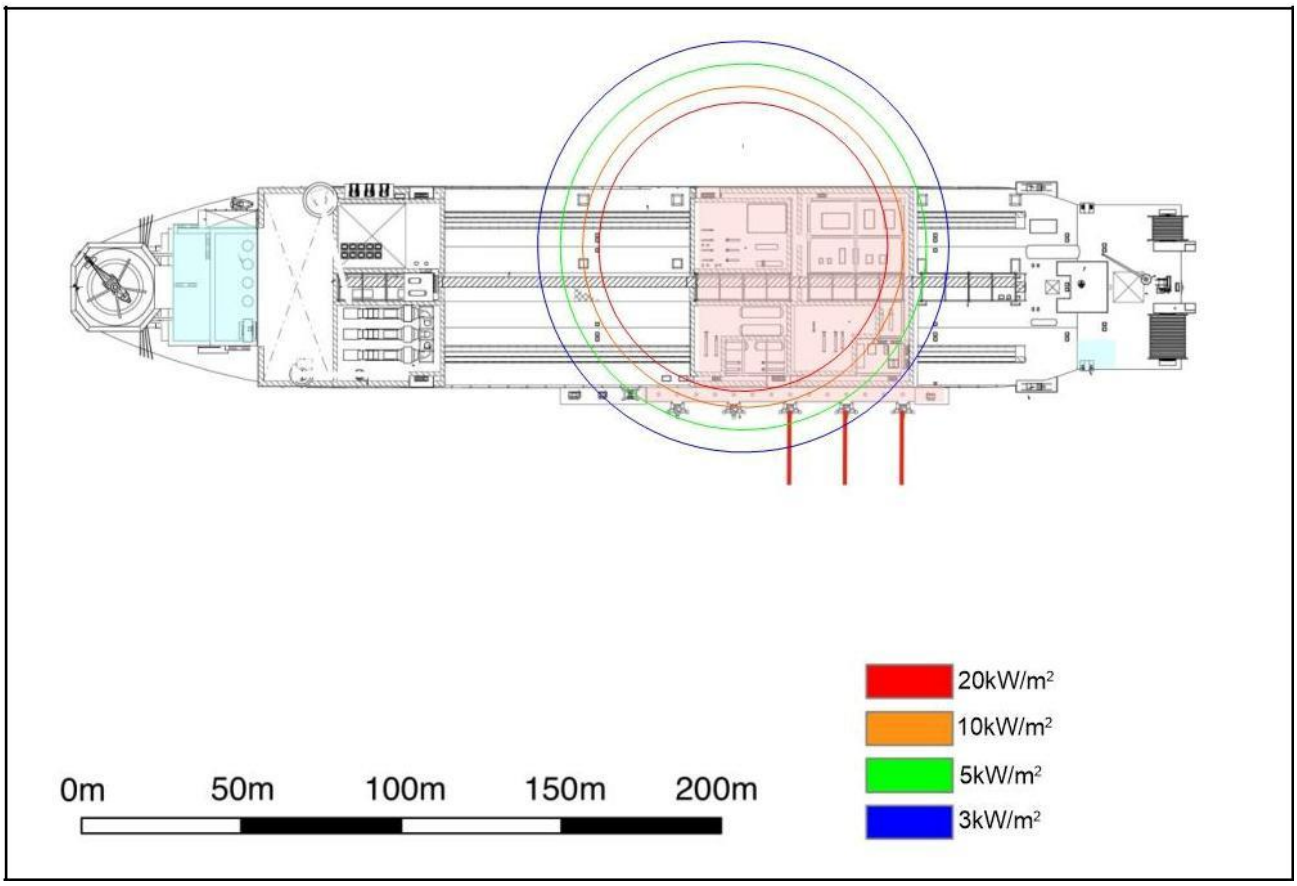
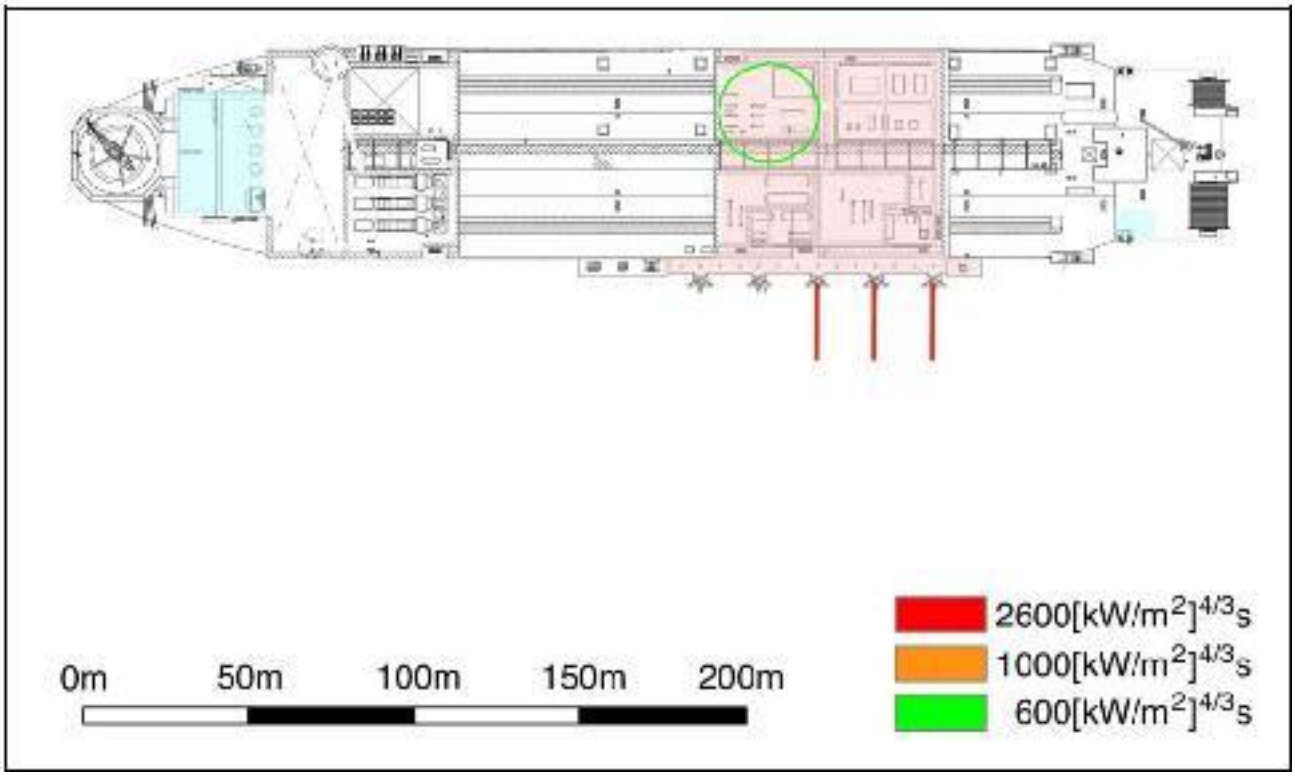


Figure 4-28 MAE F-10 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE F-10. La courbe de niveau et les plages de risque dues à une dose thermique provenant d'une boule de feu sont illustrées à la Figure 4-29 et dans le Tableau 4-39.

Tableau 4-39 MAE F-10 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
17	600	15
	1000	Non atteint
	2600	Non atteint



REMARQUE : Les niveaux de dose thermique supérieurs n'ont pas été atteints.

Figure 4-29 MAE F-10 Courbes de rayonnement de boule de feu pour le défaut catastrophique (échelle en mètres)

4.10.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (compression de gaz vaporisé, équipements d'entrée, compteur de gaz d'exportation et de condensat, et modules de récupération de vapeur), suite à la perte de confinement de MAE F-10 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE (explosion de nuage de vapeur) dans les modules avant de la FPSO. La masse inflammable impliquée dans l'explosion d'un défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas le plus défavorable) se limite au stock inflammable total compris dans la section. La courbe de niveau et les surpressions sont illustrées à la Figure 4-30 et dans le Tableau 4-40.

Tableau 4-40 Résultats d'explosion MAE F-10

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	496
0,05	217
0,14	88
0,35	39

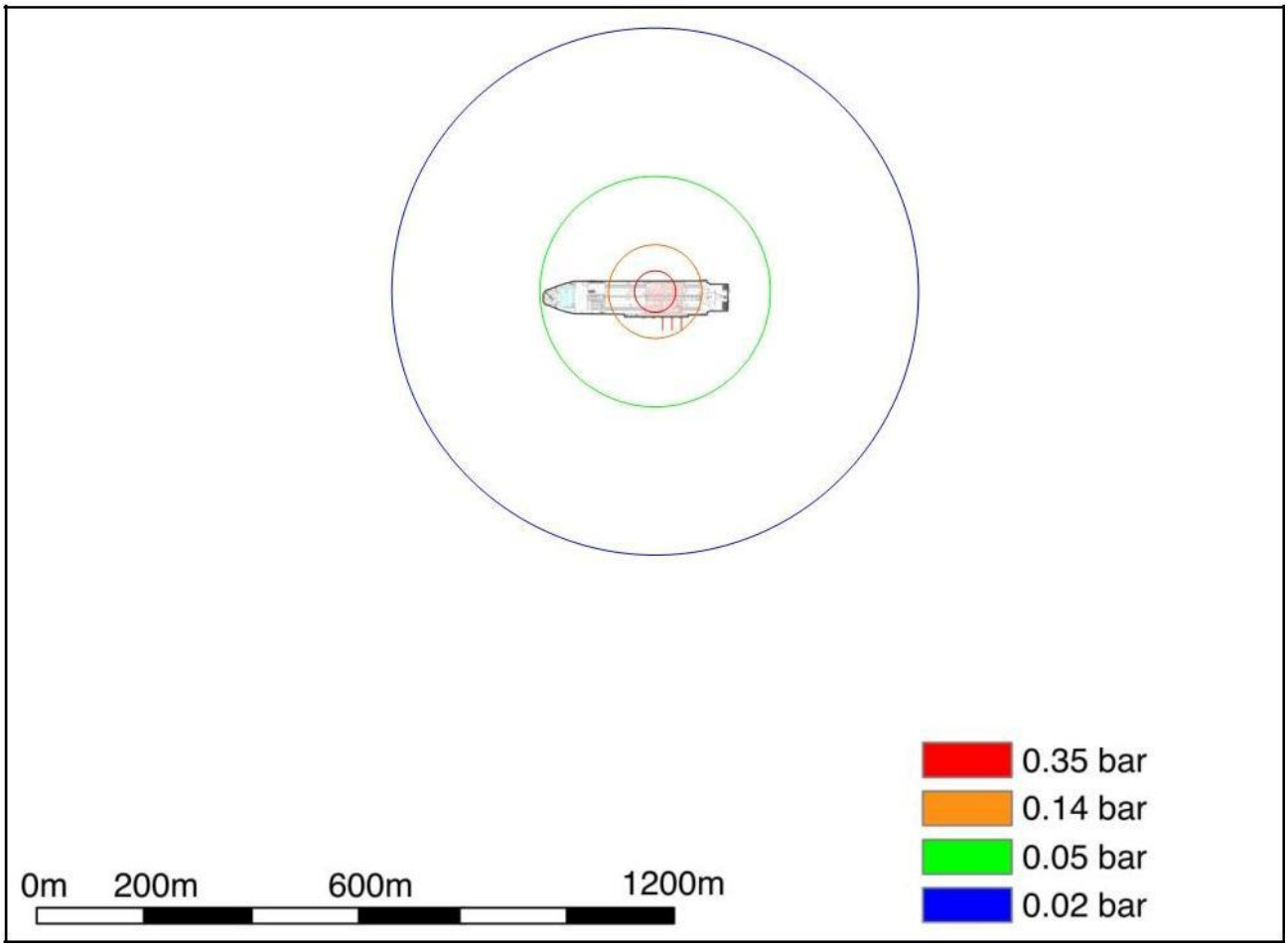


Figure 4-30 MAE F-10 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

4.11. MAE F-11 : Fuite de gaz à partir du système de gaz de combustion

4.11.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une perte de gaz inflammable provenant du système de gaz de combustion. La section se situe en aval du train de compression de gaz vaporisé. Elle comprend l'équipement principal suivant :

- Ballon séparateur de gaz de combustion

Les conditions de flux pour ce MAE ont été obtenues à partir de l'inventaire à danger majeur de FPSO, (Annexe B.1.2), et sont illustrées ci-dessous.

Tableau 4-41 MAE F-11 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Gaz de combustion
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	38
Température (°C)	45
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	95
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	11,0
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	<1 min
Volume congestionné (m^3)	21,000

4.11.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammé pour le MAE F-11. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-31 et dans le Tableau 4-42.

Tableau 4-42 MAE F-11 Résultats de portée de jet enflammé de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	63	91
	5	56	71
	10	48	49
	20	42	33
5/D	3	63	91
	5	56	70
	10	49	49
	20	44	33

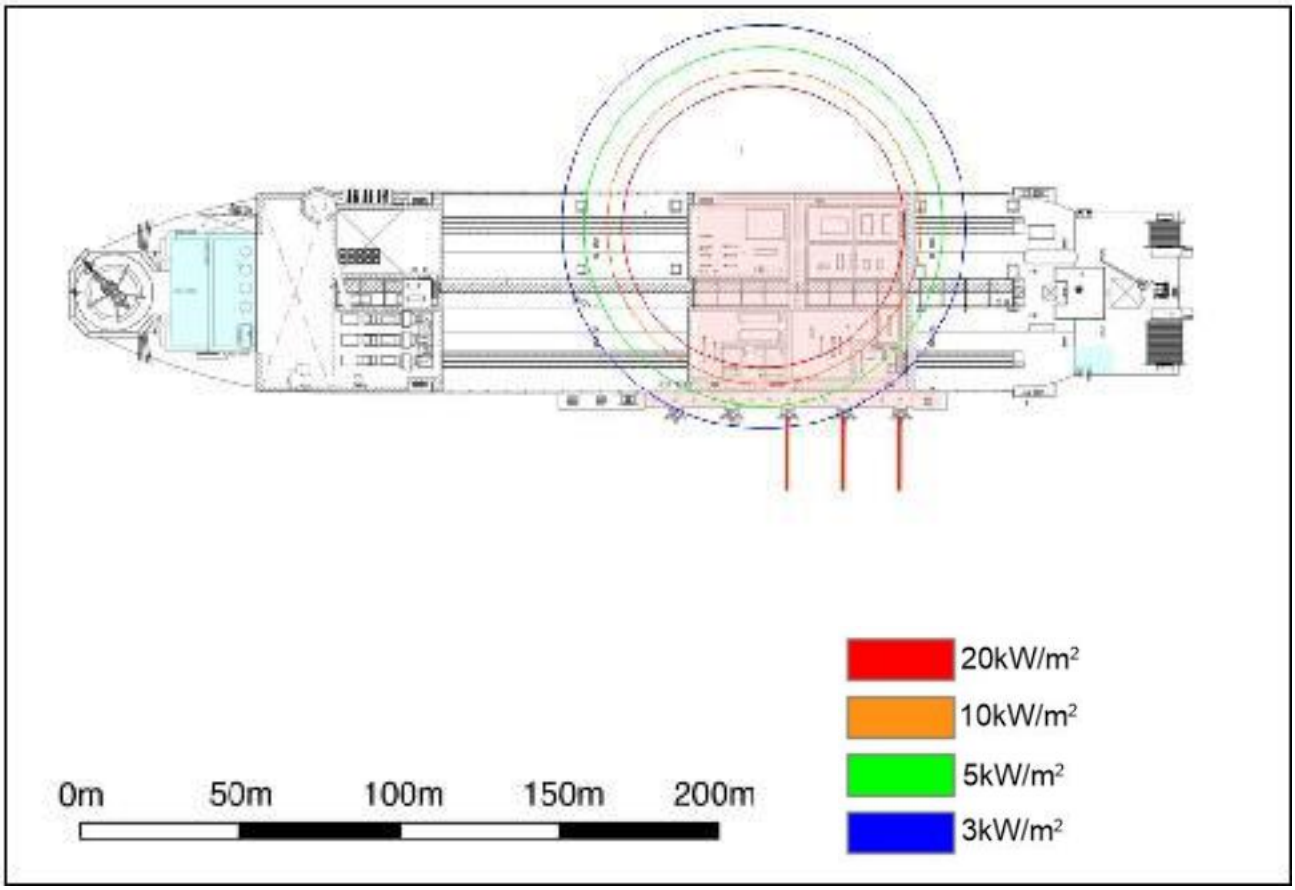


Figure 4-31 MAE F-11 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite au défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE F-11, néanmoins seuls les plus bas niveaux de dose thermique ont atteint une portée de 8 m. C'est dû à l'inventaire réduit de la section entraînant une boule de feu à durée limitée.

4.11.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (compression de gaz vaporisé, équipements d'entrée, compteur de gaz d'exportation et de condensat, et modules de récupération de vapeur), suite à la perte de confinement de MAE F-11 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Les résultats de surpression sont calculés pour une VCE dans ces modules de la FPSO. La masse inflammable impliquée dans l'explosion d'un défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) se limite au stock inflammable total compris dans la section. La courbe de niveau et les surpressions sont illustrées à la Figure 4-32 et dans le Tableau 4-43.

Tableau 4-43 Résultats d'explosion MAE F-11

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	422
0,05	185
0,14	75
0,35	34

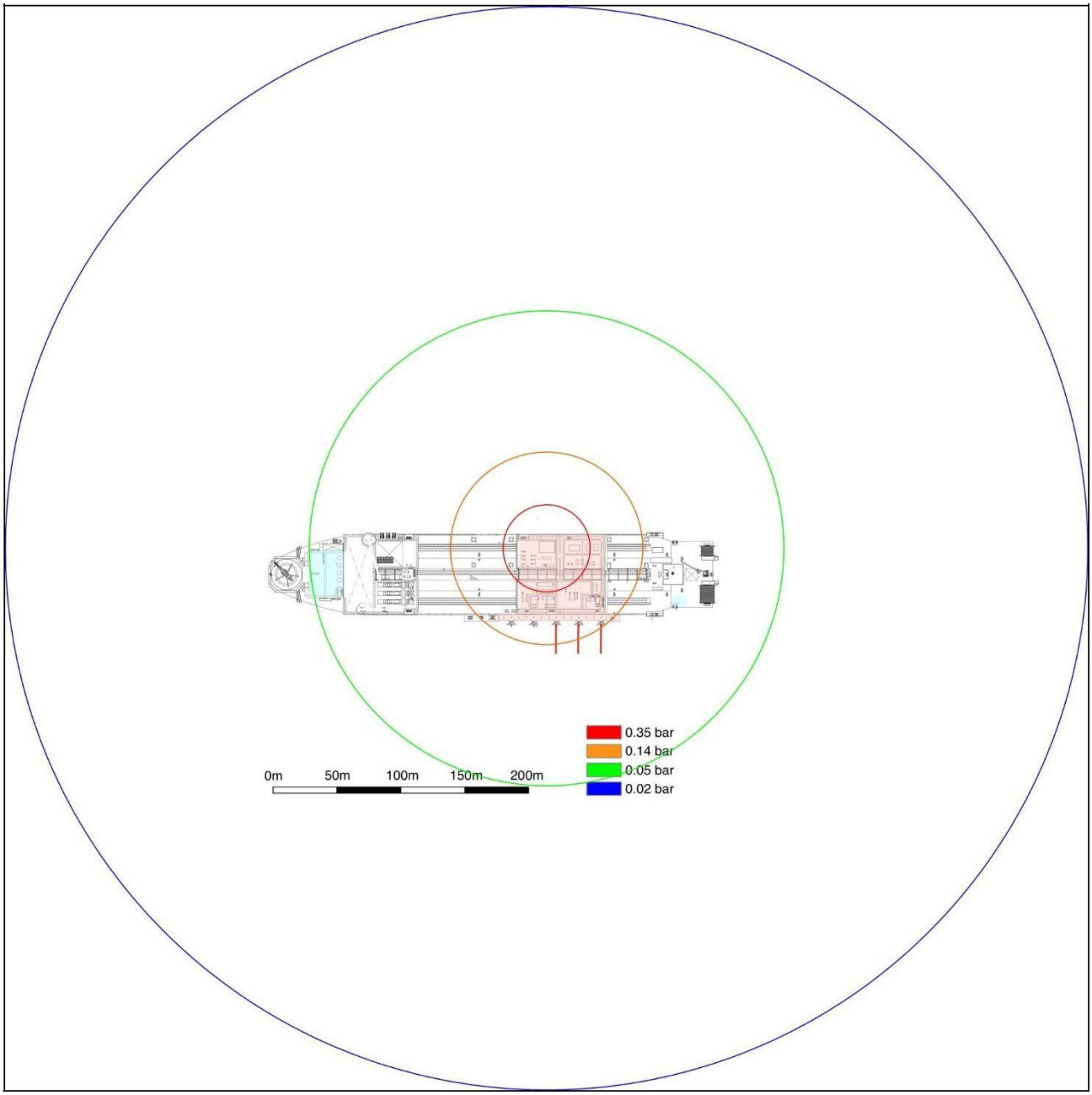


Figure 4-32 MAE F-11 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

4.12. MAE F-12 : Installations de surface en cas de fuite chimique d'injection

4.12.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une perte de confinement de l'inhibiteur de corrosion chimique au niveau des installations de surface du FPSO. Les données de ce MAE sont indiquées ci-dessous. La perte de confinement est modélisée en tant que fuite provenant d'un reservoir de stockage à inhibiteur de corrosion à la pression atmosphérique entraînant un déversement de liquide.

Il est à noter que cet inhibiteur de corrosion en aval du reservoir de stockage sera à haute pression pour permettre l'injection aux fluides / processus de production. Une perte de confinement de cette section de l'inventaire entraînerait un jet de liquide pulvérisé à élan initial élevé. Néanmoins, les pompes de la section se déclencheront très vite après l'apparition du défaut initial et la pulvérisation de liquide ne durera pas longtemps - la fuite se transformera très vite en un déversement à faible densité formant une nappe de liquide.

Tableau 4-44 MAE F-12 Paramètres d'entrée

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Injection chimique
Matériel supposé	Méthanol
Pression (bar)	1.
Température (°C)	20
Phase	liquides
Inventaire (kg)	7 326
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	121,1
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min

4.12.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera un incendie de nappe pour le MAE F-12. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-33 et dans le Tableau 4-45.

Tableau 4-45 MAE F-12 Résultats de portée d'incendie de nappe de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale(m)
2/D	3	54	99
	5	45	80
	10	35	59
	20	25	43
5/D	3	54	99
	5	46	80
	10	37	61
	20	28	46

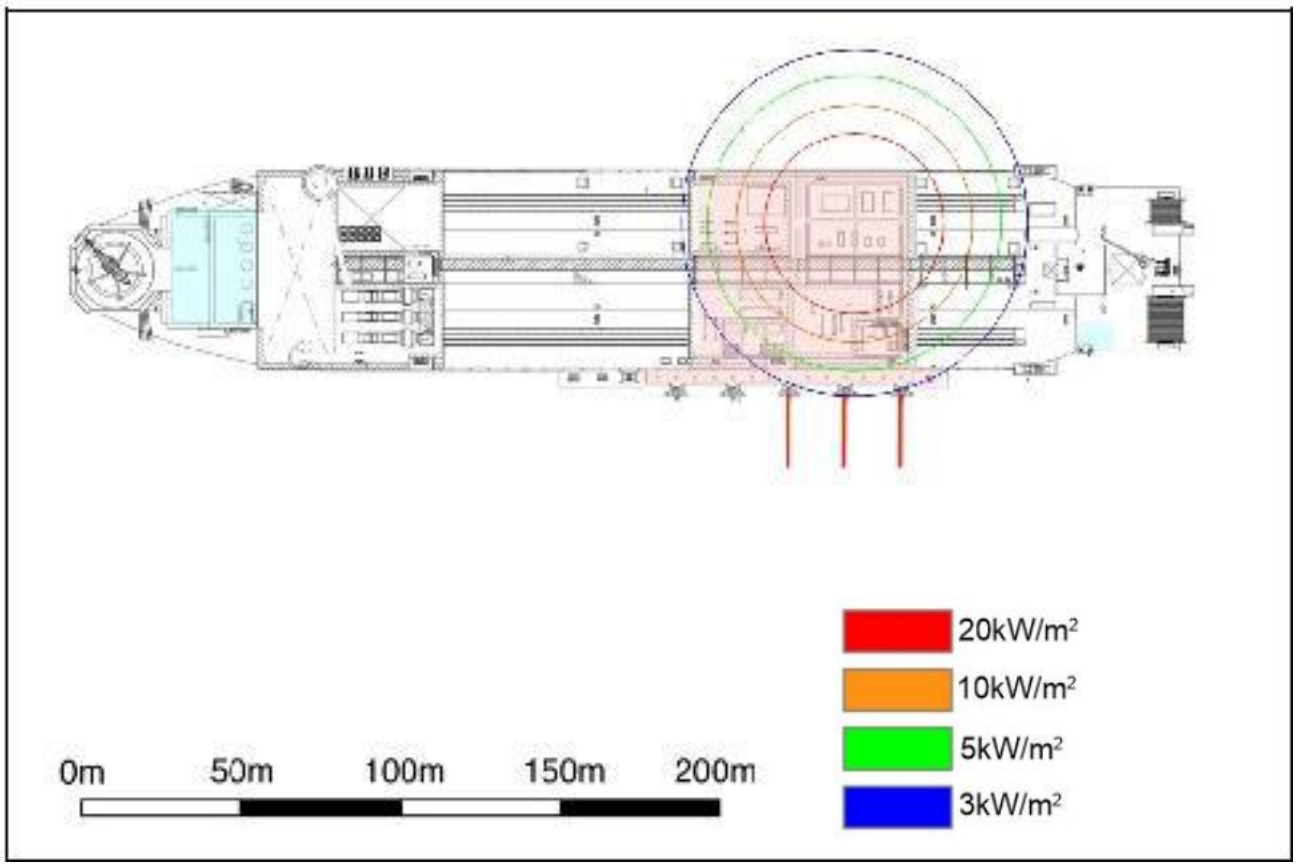


Figure 4-33 MAE F-12 Portée de rayonnement d'incendie de nappe suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation suite à la perte de confinement provenant d'un défaut catastrophique entraînera un incendie de nappe pour le MAE F-12. La taille d'un incendie provenant d'un défaut catastrophique est identique à une fuite de 50 mm et les courbes de niveau et les plages de risque relatives à l'impact du rayonnement thermique sont identiques à celles illustrées en Figure 4-33 et dans le Tableau 4-45.

4.13. MAE F-14 : Incendie de réservoir de stockage de condensat

4.13.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne un incendie associé aux plus larges réservoirs de stockage de condensat. Les données pour ce MAE ont été obtenues à partir des valeurs de l'inventaire à danger majeur du FPSO, (Annexe B.1.2), et sont illustrées ci-dessous.

Tableau 4-46 MAE F-14 Paramètres d'entrée

Paramètre	Entrée
Unité de traitement	Stockage de condensat
Matériel supposé	Condensat : (fraction molaire) Eau : 0,02 Propane 0,06 i-Pentane : 0,05 Benzène : 0,04 Toluène : 0,02 Xylène : 0,03 C6 : 0,05 C7 : 0,11 C8 : 0,14 C9 : 0,05 C20 : 0,40
Pression (bar)	1.
Température (°C)	20
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	26 405 852

4.13.2. Résultats de l'incendie

Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 4-34 et dans le Tableau 4-47.

Tableau 4-47 MAE F-14 Résultats de l'incendie de réservoir de cargaison

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers maximal étendue maximale (m)
2/D	3	96	143
	5	65	97
	10	34	59
	20	29	58
5/D	3	116	155
	5	83	108
	10	39	66
	20	29	58

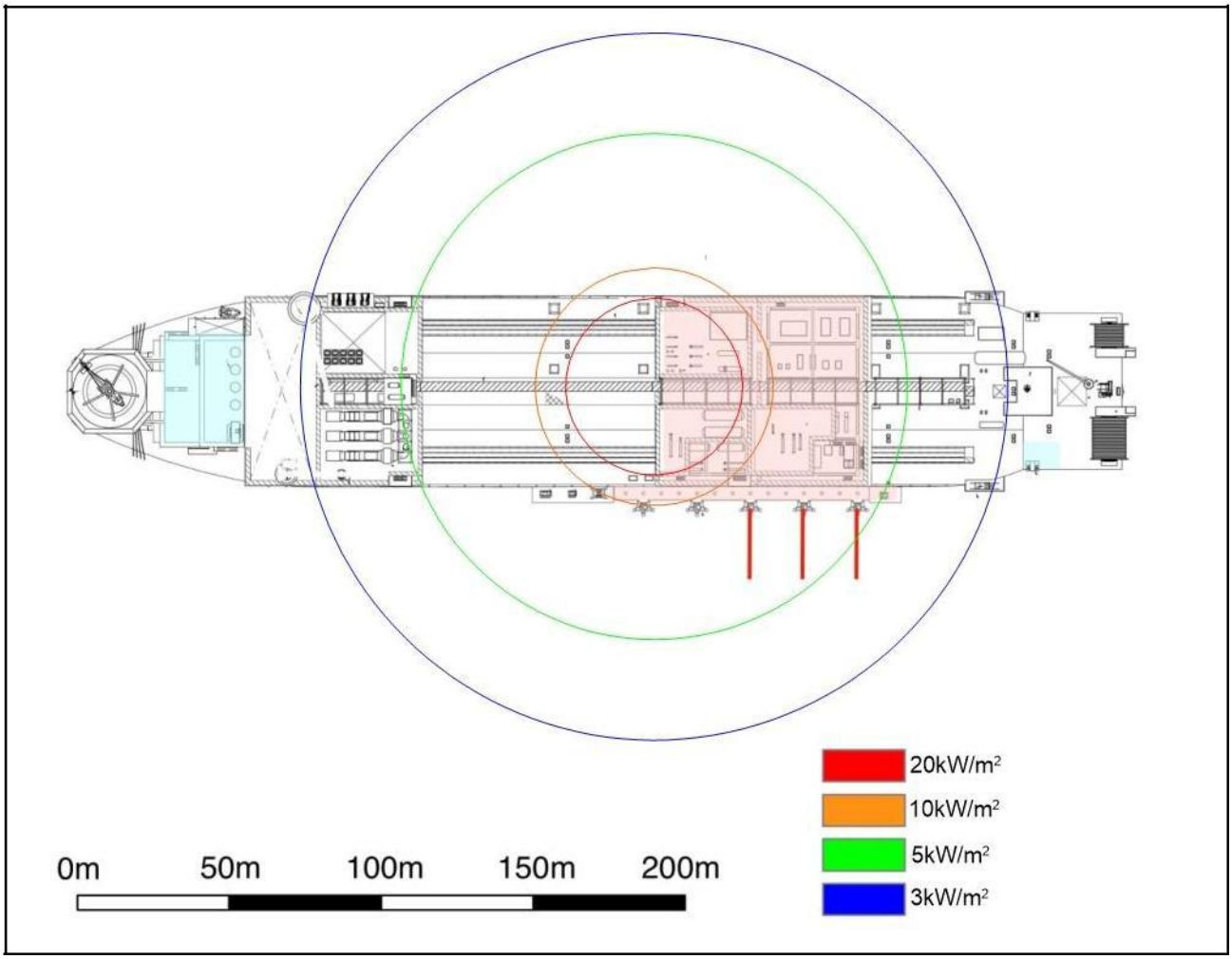


Figure 4-34 MAE F-14 Courbes de niveau de rayonnement pour un incendie de réservoir de cargaison (échelle en mètres)

4.14. Tableaux récapitulatifs des scénarios de défaillance du FPSO et infrastructures sous-marines

Cette section résume le potentiel de défaillance des équipements EER (évacuation et sauvetage) sur la FPSO, soit, les itinéraires d'évacuation principaux à bâbord et à tribord de la FPSO, les refuges temporaires (RT) () et équipements d'évacuation. Elle prend également en compte l'impact des effets néfastes au-delà d'une zone de sécurité de 500 m autour de la FPSO.

Les hypothèses suivantes ont été définies en analysant le potentiel de défaillance :

Défaillance des itinéraires d'évacuation

- Les itinéraires d'évacuation sont jugés défaillants après exposition à des niveaux de rayonnement thermique de 5 kW/hm^2 ou supérieurs, pendant 5 minutes ou plus longtemps ;
- Les surpressions d'explosion de 0,35 bar ou plus rendront les itinéraires d'évacuation non opérationnels ;

Défaillance de RT

Il est prévu qu'une protection contre les incendies et les explosions (protection passive contre les incendies, murs résistant aux surpressions d'explosion) soit fournie pour le RT (refuge temporaire). Ainsi, seuls le feu longue durée et les suppressions très élevées pourraient causer des défaillances.

Défaillance des équipements d'évacuation

Les équipements d'évacuation pour la FPSO sont censés se situer à la poupe de la plateforme, à proximité des quartiers de l'équipage (LQ) et du RT. On ne considère les installations d'évacuation défaillants uniquement si le RT est défaillant, ou s'il y a une probabilité significative d'aggravation à grande échelle. L'interruption partielle est supposée être à faibles surpressions et faible rayonnement thermique.

Impact sur la zone de sécurité
Le potentiel de défaillance de la zone de sécurité a été évalué en considérant l'impact sur l'un des critères présentés dans les Tableaux 3-1 à 3-5 pour les incendies et les explosions.

Si les tableaux ci-dessous contiennent une ✓ une défaillance des provisions EER / zone de sécurité est possible sur la base des critères et des hypothèses indiquées plus haut.

ID d'évènement : **Fuite d'hydrocarbures F-01 à partir de la colonne de production**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé/jet enflammé de liquide pulvérisé/Feu de nappe	✓	×	×	×
Boule de feu	×	×	×	×
Discussion	Un jet enflammé pour cet événement devrait durer 20 minutes et, en fonction de la direction de la fuite, peut impacter les itinéraires d'évacuation à tribord et à bâbord. Le personnel qui survit au jet enflammé initial et se trouve à l'avant du balcon de tubes prolongateurs ne serait pas en mesure de trouver refuge dans le RT, mais pourrait à la place utiliser l'ASMA (Zone de rassemblement de sécurité alternative) – voir Figure 1-3. Les niveaux de rayonnement thermique élevés d'une boule de feu (et le jet enflammé qui en résulte) peuvent atteindre le RT, cependant, la protection passive contre l'incendie devrait fournir une protection contre l'impact de courte durée et permettre au personnel qui survit à l'événement initial de se réfugier en toute sécurité dans le RT. La défaillance des équipements d'évacuation et de la zone de sécurité est écartée.			

ID d'évènement : **F-02 Fuite de gaz de tube prolongateur de gaz d'exportation**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé/jet enflammé de liquide pulvérisé/Feu de nappe	✓	×	×	×
Boule de feu	×	×	×	×
Discussion	Un jet enflammé pour cet événement devrait durer 20 minutes et, en fonction de la direction de la fuite, peut impacter les itinéraires d'évacuation à tribord et à bâbord. Le personnel qui survit à l'événement initial et qui se trouve à l'avant du balcon des tubes prolongateurs ne serait pas en mesure de trouver refuge dans le RT, mais pourrait à la place utiliser l'ASMA. Les niveaux de radiation thermique élevés d'une boule de feu peuvent atteindre le RT, cependant, la protection passive contre l'incendie devrait fournir une protection contre l'impact et permettre au personnel qui survit à l'événement initial de se réfugier dans le RT. La défaillance des équipements d'évacuation et de la zone de sécurité est écartée.			

ID d'évènement : **F-03 Fuite de gaz de Installations de réception (récupérateurs de bouchon liquide)**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	✓	×	×	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	✓	✓
Discussion	Un jet enflammé ou une explosion peut impacter les itinéraires d'évacuation à tribord et à bâbord. Le personnel qui survit à l'événement initial pourra trouver refuge dans le RT ou, s'il était en avant de l'incident, se rassembler à l'ASMA. Une boule de feu a un impact de radiation thermique élevée mais de courte durée ; l'impact sur les itinéraires d'évacuation n'est que temporaire et une défaillance est donc écartée. L'existence de la protection passive devrait fournir une protection pour le RT contre les incendies provoqués par cet événement de courte durée. Les jets enflammés peuvent s'aggraver, cependant les équipements d'évacuation n'en seraient pas affectés et une évacuation en ordre pourrait être effectuée. En raison de la courte durée d'une boule de feu, aucune aggravation n'est attendue et le personnel pourra attendre la fin de l'événement dans le RT. L'impact de surpression de l'événement initial peut impacter les deux itinéraires d'évacuation primaires vers le RT – le personnel en avant de l'explosion devrait se rassembler à l'ASMA. L'explosion n'entraine pas de défaillance du RT bien qu'il y ait risque d'aggravation et de défaillance des équipements d'évacuation. L'impact de surpressions à plus faible niveau s'étend au-delà de la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **F-04 Fuite de liquide de Installations de réception (récupérateurs de bouchon liquide)**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
jet enflammé de liquide pulvérisé	✓	×	N/A	×
Feu de nappe	✓	×	N/A	×
Explosions	✓	×	✓	✓
Discussion	L'impact d'un feu de nappe ou dû à l'impact d'une surpression consécutif à des explosions suffit à rendre défaillant les deux itinéraires d'évacuation primaires vers le RT. Le personnel non affecté et en avant de l'événement devrait se rassembler à l'ASMA. Un spray enflammé (en fonction de la direction de la fuite) peut impacter les itinéraires, mais en raison de la courte durée de cet événement, l'impact ne serait que temporaire. Le RT a peu de chance d'être menacé par l'événement initial, même si l'impact de l'explosion est considérable et que l'événement peut s'aggraver et exiger une évacuation à titre de précaution. Les équipements d'évacuation peuvent être rendus défaillants par l'explosion tandis que l'impact dû aux surpressions à plus faible niveau s'étend au-delà de la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **F-05 Fuite de gaz de Traitement du gaz**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	✓	✓
Discussion	En raison de l'inventaire minime associé à cet événement, l'incendie sera de courte durée (<5 minutes). Tout impact sur les itinéraires d'évacuation sera temporaire et le personnel qui survit à l'événement initial de jet enflammé ou de boule de feu pourra trouver refuge dans le RT. L'évacuation ne serait pas obligatoire. Les dommages causés par l'explosion sont considérables avec les deux itinéraires d'évacuation primaire vers le RT rendues défaillante – le personnel non affecté en avant de l'événement devrait se rassembler à l'ASMA. Les surpressions ne sont pas suffisantes pour menacer le RT, cependant il existe un risque d'aggravation et il se peut que les équipements d'évacuation soient également défaillants. L'impact de surpressions à plus faible niveau s'étend au-delà de la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **F-06 Fuite de gaz de Traitement du gaz**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé de liquide pulvérisé	×	×	N/A	×
Feu de nappe	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	✓	✓
Discussion	En raison de la taille réduite de l'inventaire pour cet événement, la durée et l'impact du feu de nappe seront limités – le risque de défaillance des itinéraires d'évacuation est écarté. Les jets enflammés de liquides pulvérisés ont une grande portée initiale mais seront de très courte durée – la défaillance de l'itinéraire d'évacuation vers le RT est également écartée. Le personnel qui survit à l'événement initial de jet enflammé ou de feu de nappe pourra se réfugier dans le RT. Il n'y a pas d'obligation d'évacuer. Les dommages causés par l'explosion sont considérables rendant les deux itinéraires d'évacuation primaire vers le RT défaillantes – le personnel non affecté en avant de l'événement devrait se rassembler à l'ASMA. Un risque d'aggravation existe en raison des dommages causés par l'explosion et il se peut que les équipements d'évacuation soient également défaillants. L'impact de surpressions à plus faible niveau s'étend au-delà de la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **F-07 Fuite de liquide de Séparateur MP**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé de liquide pulvérisé	✓	×	×	×
Feu de nappe	✓	×	×	×
Explosions	✓	×	✓	✓
Discussion	L'impact de jet enflammé (en fonction de la direction de la fuite), du cas de feu de nappe le plus défavorable, ou l'impact de surpression des explosions est suffisant pour rendre défaillants les deux itinéraires d'évacuation primaires vers le RT. Le personnel non affecté et en avant de l'évènement devra se rassembler au niveau de l'ASMA (Zone de rassemblement de sécurité alternative). L'évènement initial a peu de chance de menacer le TR, la durée de l'incendie et l'impact de l'explosion sont néanmoins significatifs et l'évènement peut entraîner une aggravation du problème et nécessiter une évacuation à titre de précaution. Les équipements d'évacuation peuvent être rendus défaillants par les explosions dont l'impact de surpressions à plus faible niveau s'étendra au-delà de la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **F-08 Fuite de liquide de Séparateur BP**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé de liquide pulvérisé	✓	×	×	×
Feu de nappe	✓	×	×	×
Explosions	✓	×	✓	✓
Discussion	L'impact du rayonnement thermique des jets enflammés (en fonction de la direction de la fuite), des feu de nappe et l'impact de surpression des explosions suffisent pour rendre défaillants les deux itinéraires d'évacuation principaux vers le RT. Le personnel non affecté et en avant de l'évènement devra se regrouper au niveau de l'ASMA. L'évènement initial a peu de chance de menacer le TR, la durée de l'incendie et l'impact de l'explosion sont néanmoins significatifs et l'évènement peut entraîner une aggravation du problème. Les équipements d'évacuation peuvent être rendus défaillants par les explosions dont l'impact de surpressions à plus faible niveau s'étendra au-delà de la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **F-09 Fuite de liquide de Séparateur TBP**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Feu de nappe	✓	×	×	×
Discussion	En raison de l'important stock de liquide, les durées d'incendie sont susceptibles d'être significatives et l'évènement peut potentiellement s'aggraver. L'impact de l'incendie suite à une fuite de 50 mm n'est pas suffisant pour rendre défaillants tous les itinéraires d'évacuation vers le RT - le personnel sera en mesure de revenir par bâbord. Néanmoins, le rayonnement thermique d'un feu de nappe catastrophique rendrait défaillants les deux itinéraires d'évacuation principaux et le personnel non affecté et en avant de l'incendie devra se regrouper au niveau de l'ASMA Le rayonnement thermique n'est pas suffisant pour rendre défaillant le RT ou les équipements d'évacuation.			

ID d'évènement : **F-10 Fuite de gaz de la Compression de gaz vaporisé**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	N/A	×
Discussion	En raison du stock limité associé à cet évènement, les durées d'incendie seront courtes (moins d'une minute) et les niveaux élevés de rayonnement impactant les itinéraires d'évacuation seront uniquement temporaires. Le personnel qui survivra au jet enflammé / boule de feu pourra se réfugier dans le RT. Il n'y a aucune obligation d'évacuation. Les surpressions d'explosion élevées peuvent impacter les itinéraires d'évacuation à bâbord et tribord et le personnel survivant en avant de l'évènement pourra se réfugier au niveau de l'ASMA. L'impact des explosions n'est pas suffisant pour rendre défaillant le RT et l'aggravation sera probablement limitée. Il n'y aura pas d'obligation d'évacuation.			

ID d'évènement : **F-11 Fuite de gaz de Système de gaz de combustion**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	×	×	N/A	×
Discussion	En raison du stock minime associé à cet évènement, les durées d'incendie seront très courtes (moins d'une minute) et les niveaux élevés de rayonnement détériorant les l'itinéraire d'évacuation se limiteront à la zone de la fuite. Le personnel qui survivra au jet enflammé / boule de feu sera en mesure de se réfugier dans le RT. Les surpressions d'exposition élevées se limiteront à la zone de fuite avec le potentiel de rendre défaillant uniquement les itinéraires d'évacuation à bâbord. Le potentiel de défaillance du RT par les incendies et les explosions est écarté et il n'y aura aucune obligation d'évacuation.			

ID d'évènement : **F12 Injection chimique Déversement sur installations de surface**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Feu de nappe	✓	×	N/A	×
Discussion	Tous les itinéraires d'évacuation principaux seront rendus défaillants par le rayonnement thermique des feux de nappe associés au stockage d'injection chimique et ainsi le personnel à l'avant non affecté par l'évènement initial devra se regrouper au niveau de l'ASMA. Néanmoins, les feux de nappe n'ont pas la durée ni l'envergure suffisante pour menacer le RT et l'évacuation n'est pas obligatoire.			

ID d'évènement : **F-14 Incendie de réservoir de stockage de condensat**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Feu de nappe	✓	✓	✓	*
Discussion	Un incendie de réservoir de cargaison est un évènement long et susceptible de présenter un risque significatif pour l'intégrité de la FPSO. Le rayonnement thermique d'un incendie de réservoir de cargaison à la poupe de la plateforme peut endommager le Rt et avoir un impact sur les équipements d'évacuation - en fonction du niveau de protection passive contre l'incendie protégeant le bloc LQ (quartiers de l'équipage)/RT. Tous les itinéraires d'évacuation principaux seront rendus défaillants et le personnel des modules avant non affectés par l'évènement initial devra évacuer à partir de l'ASMA.			

5. Scénarios de défaillance du hub à proximité des côtes

Cette section décrit les MAE du hub à proximité des côtes pour lesquels la modélisation d'incendie, d'explosion, et de déversement cryogénique a été effectuée et présente les distances d'effet de risque pour ces scénarios.

5.1. MAE N-01 : Fuite sur le tube prolongateur de gaz d'importation

5.1.1. Description de l'événement

Ce MAE est une fuite de gaz inflammable sur le tube prolongateur de gaz d'importation au niveau de la plateforme A1. Le tube prolongateur de gaz commence au niveau de la FPSO et s'achève au niveau de la ESDV (vanne d'arrêt d'urgence) du tube prolongateur de gaz d'exportation. L'inventaire de N-01 est basé sur l'absence de SSIV (vanne d'isolement sous-marine) sur la colonne d'importation au niveau du NSH (hub près des côtes). Veuillez noter que cette hypothèse n'a pas d'impact significatif sur les tailles d'incendie présentées dans les sections ci-dessous, mais impactera la durée de la fuite.

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-1 qui sont extraites de l'inventaire MAR 1 [Annexe B.1.1].

Tableau 5-1 MAE N-01 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	-
Unité de traitement	Tube prolongateur de gaz
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	74
Température (°C)	16
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	1 101 329
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	23,9
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	Plus de 12 heures
Volume congestionné (m^3)	-

5.1.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammé pour le MAE N-01. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-1 et dans le Tableau 5-2.

Tableau 5-2 MAE N-01 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	93	135
	5	81	105
	10	69	74
	20	59	51
5/D	3.	92	135
	5	81	105
	10	71	74
	20	62	50

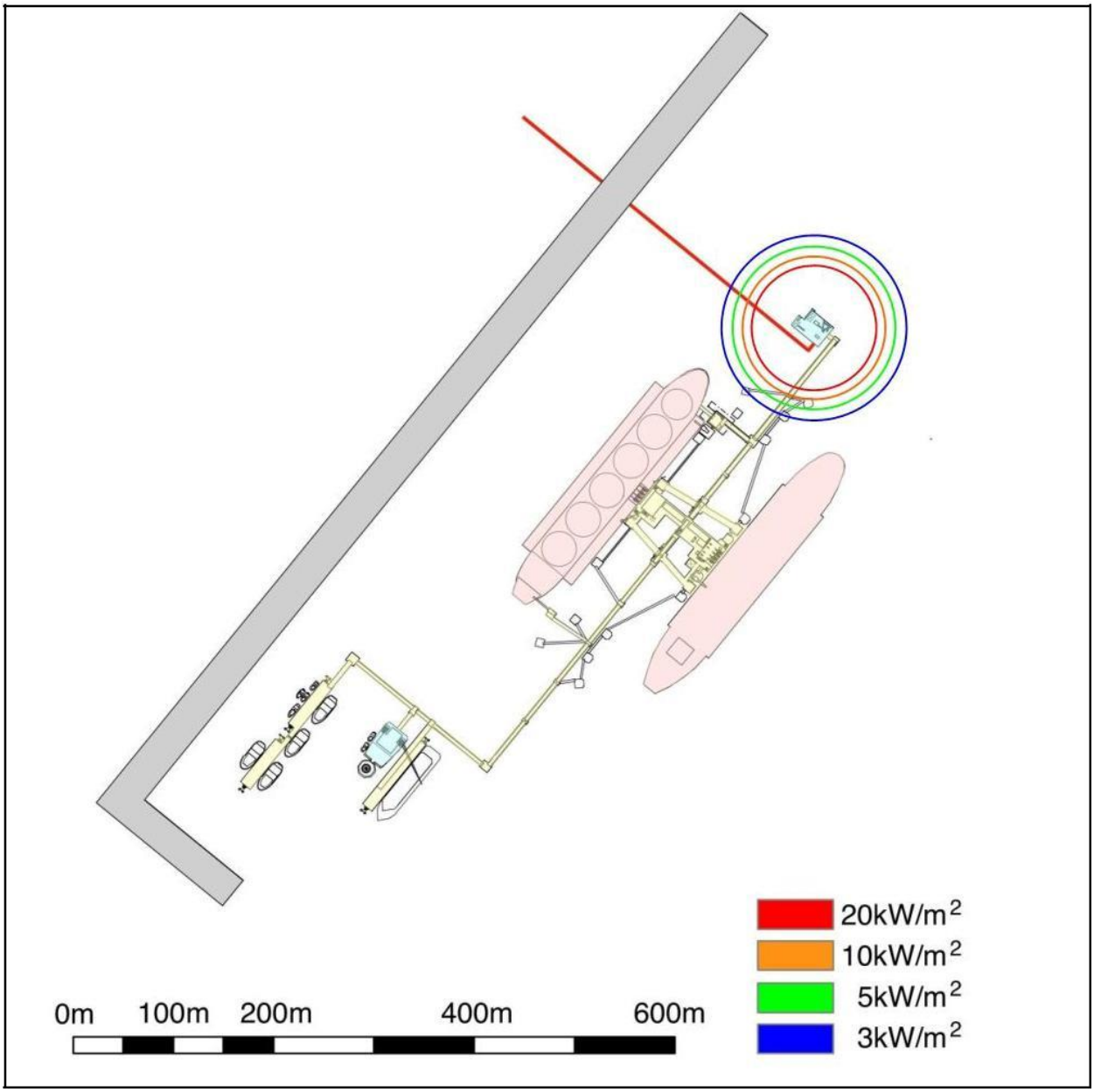


Figure 5-1 MAE N-01 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-01. La masse impliquée dans la boule de feu est supposée être la masse relâchée dans les 30 premières secondes suivant la rupture du tube prolongateur. Les courbes de niveau d'explosion et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-2 et dans le Tableau 5-3.

Tableau 5-3 MAE N-01 Résultats de boule de feux, défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de fuite m
116	600	382
	1000	295
	2600	143

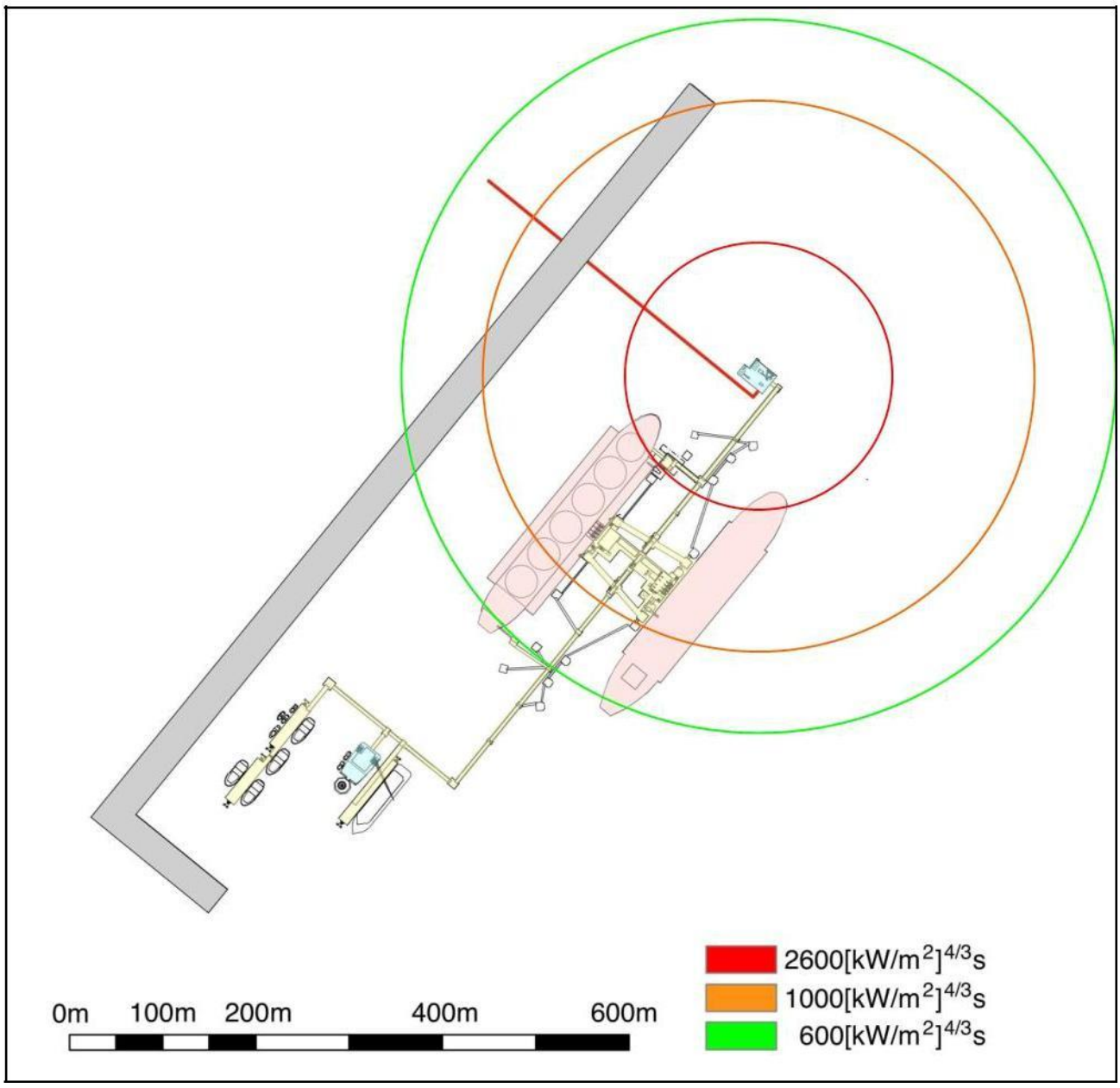


Figure 5-2 MAE N-01 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètre)

5.2. MAE N-02 : Fuite de gaz Conduite/Tuyau de gaz quai mobile vers le FLNG

5.2.1. Description de l'événement

Ce MAE débute au niveau de la plateforme A1 vers le FLNG, avec deux tuyaux d'importation et un lanceur de racleur. La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-4 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1].

Tableau 5-4 MAE N-02 Paramètres d'entrée

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Conduite de gaz sur quai mobile
Unité de traitement	Quai mobile
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	74
Température (°C)	16
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	2 919
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	23,9
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min

5.2.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-02. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-3 et dans le Tableau 5-5.

Tableau 5-5 MAE N-02 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	93	135
	5	81	105
	10	69	74
	20	59	51
5/D	3	92	135
	5	81	105
	10	71	74
	20	62	50

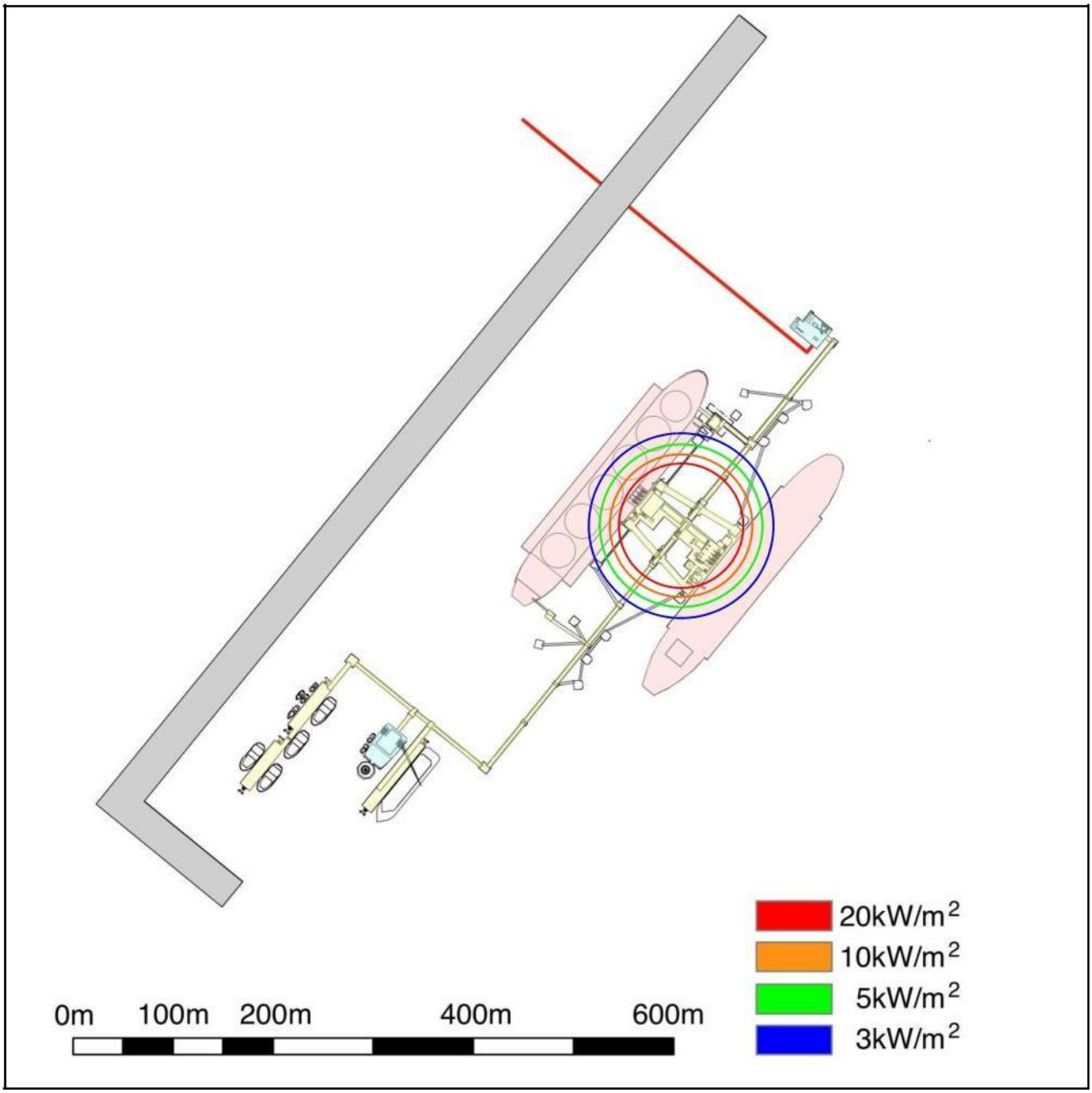


Figure 5-3 MAE N-02 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-02. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-4 et dans le Tableau 5-6.

Tableau 5-6 MAE N-02 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
43	600	102
	1000	72
	2600	Non atteint

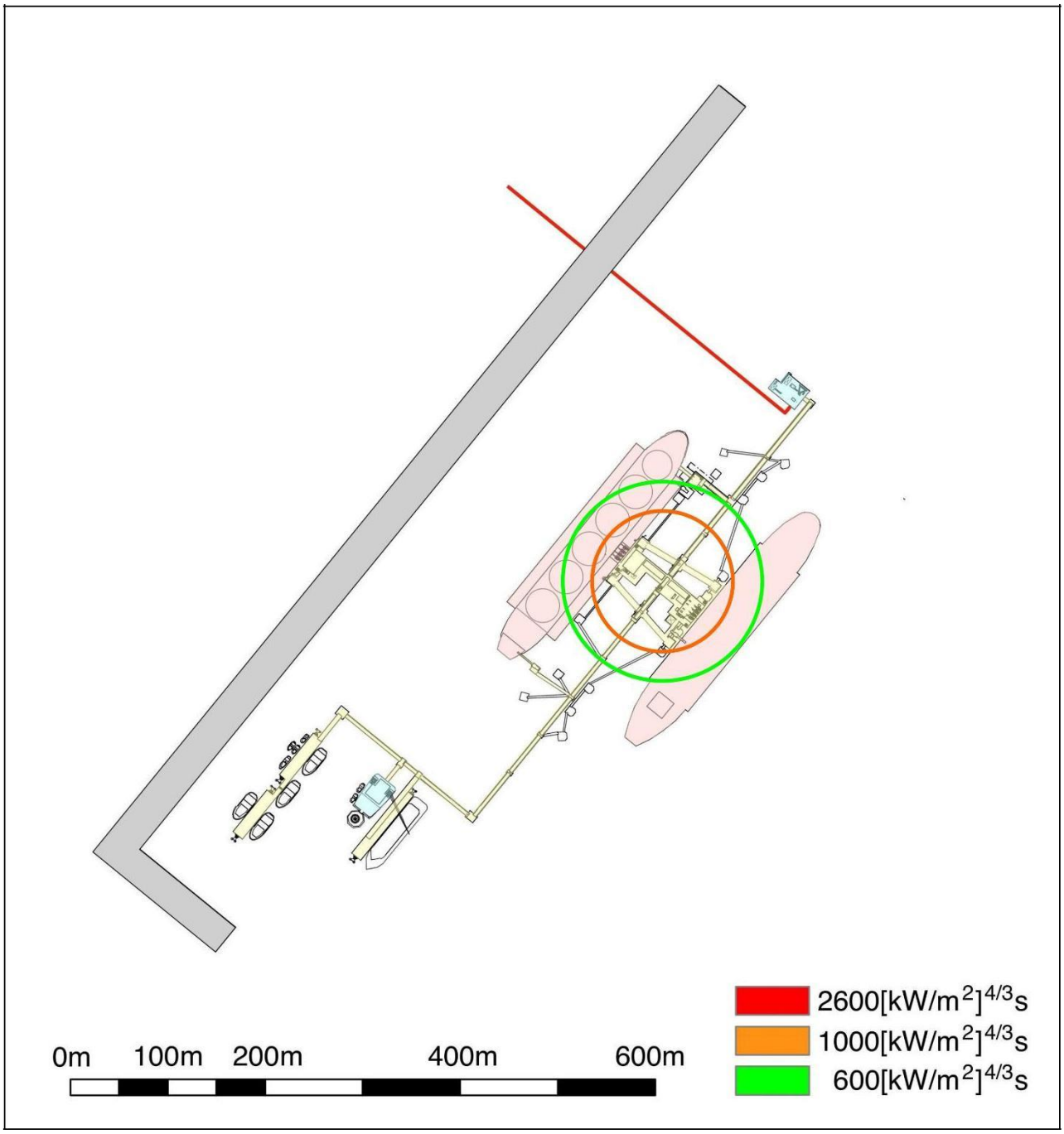


Figure 5-4 MAE N-02 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.3. MAE N-03 : Fuite de la conduite de gaz de combustion sur le quai mobile vers plateforme QU (quartiers et services).

5.3.1. Description de l'événement

Ce MAE concerne la perte de confinement de gaz inflammable sur une conduite de gaz de combustion sur le quai mobile entre la plateforme de tubes prolongateurs A1 et la plateforme QU.

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-7 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1].

Tableau 5-7 MAE N-03 Paramètres d'entrée

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Gaz de combustion
Unité/Zone de traitement	Quai mobile
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	74
Température (°C)	16
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	95
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	23,9
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	<1 min

5.3.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-03. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-5 et dans le Tableau 5-8.

Tableau 5-8 MAE N-03 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	93	135
	5	81	105
	10	69	74
	20	59	51
5/D	3	92	135
	5	81	105
	10	71	74
	20	62	50

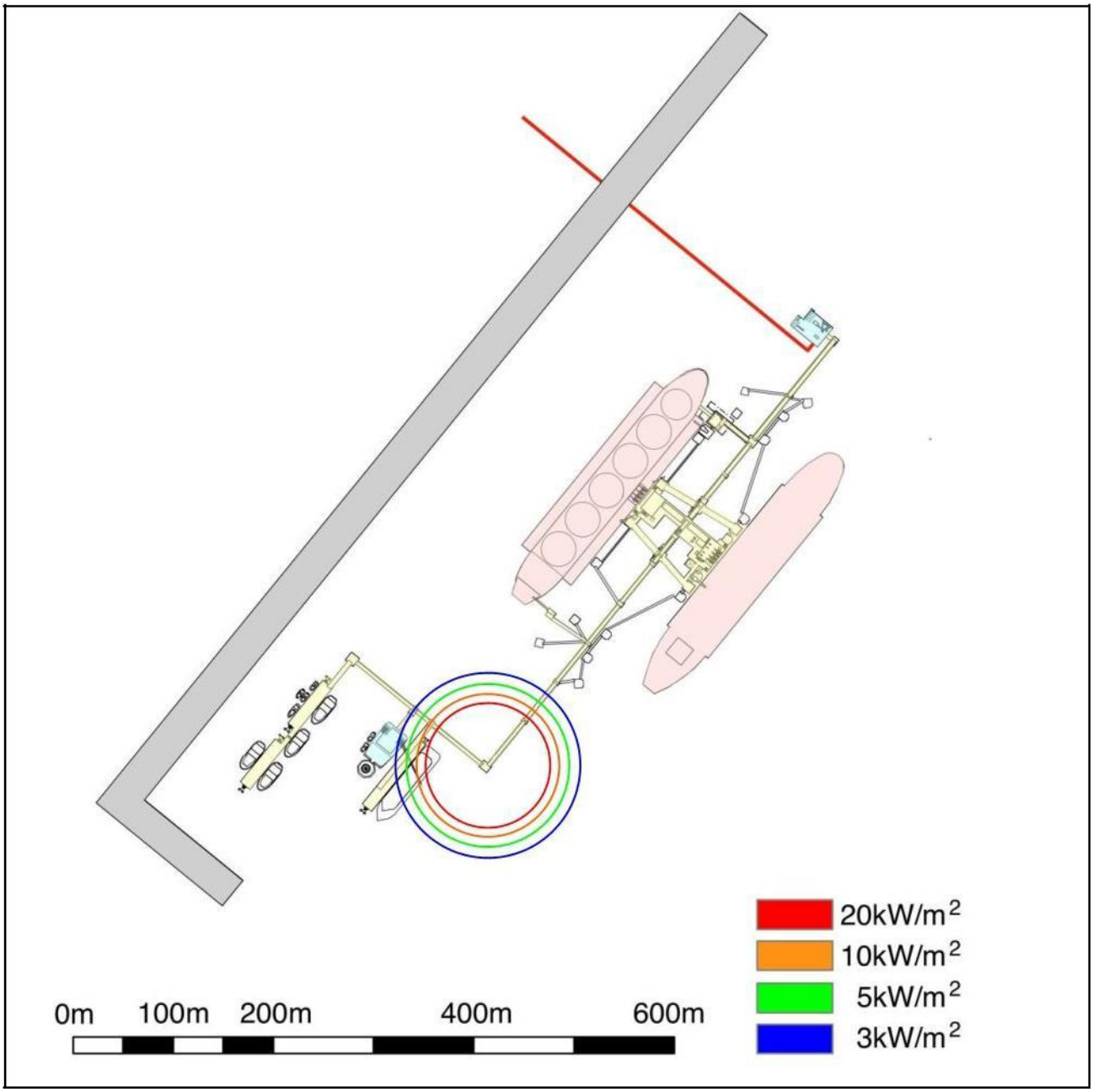
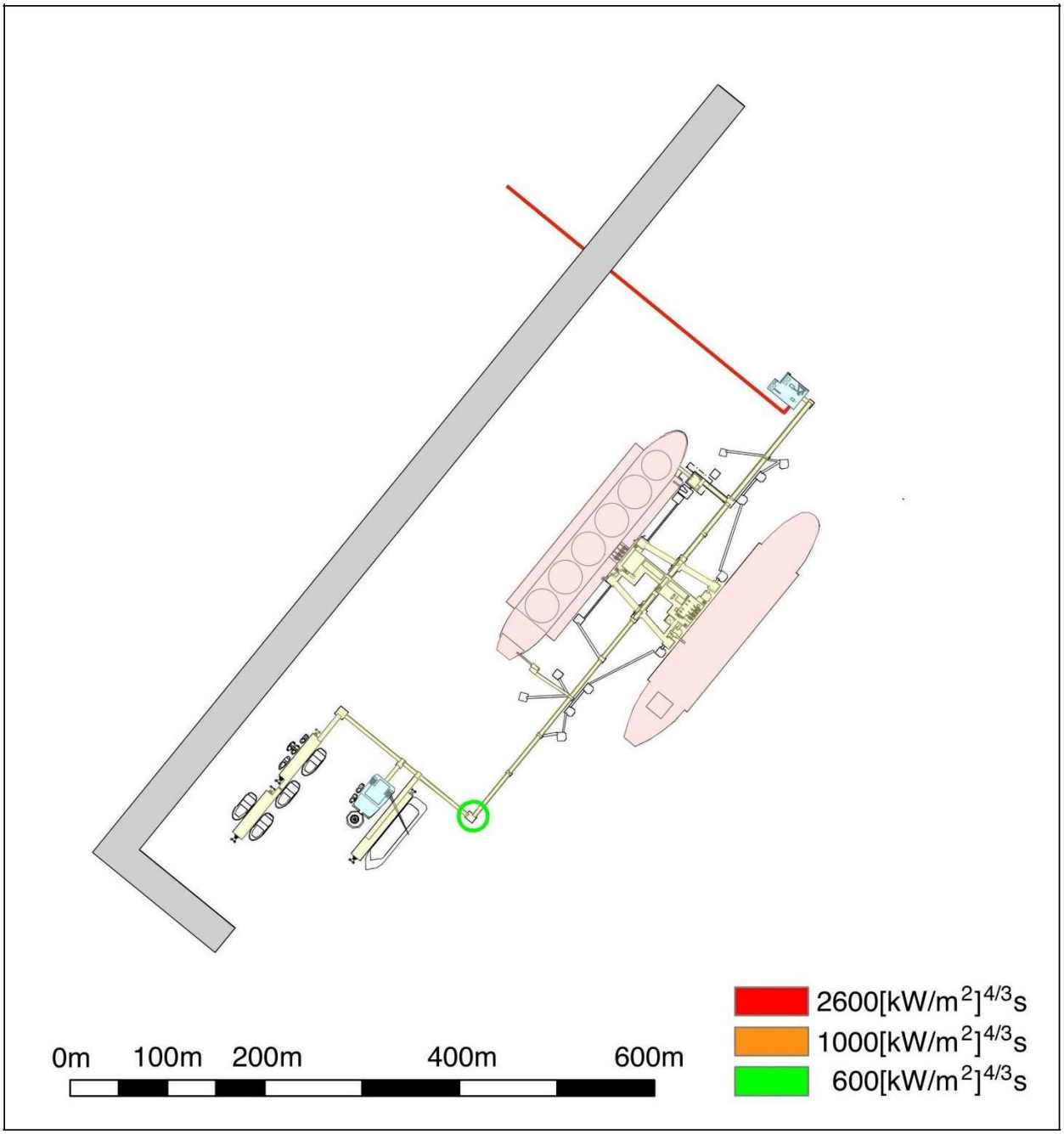


Figure 5-5 MAE N-03 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-03. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-6 et au Tableau 5-9.

Tableau 5-9 MAE N-03 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
15	600	8
	1000	Non atteint
	2600	Non atteint



Remarque : Les niveaux de dose thermique supérieurs n'ont pas été atteints.

Figure 5-6 MAE N-03 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.4. MAE N-04 : Fuite de gaz au comptage d'entrée et traitement aux amines du FLNG

5.4.1. Description de l'événement

Ce MAE débute au niveau des ESDV (vannes d'arrêt d'urgence) en aval des tuyaux d'importation (x2) entre la plateforme A1 et le FLNG et s'entend jusqu'aux EDSV en amont du réchauffeur de gaz de combustion et de l'épurateur d'entrée à tamis moléculaire. La section comprend les principaux d'équipement suivants :

- Comptage de gaz
- Séparateur HP
- Filtre de gaz d'entrée
- Échangeur d'alimentation de contacteur
- Équipement de traitement aux amines

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-10 qui sont extraites de l'étude MAR Annexe B.1.1].

Tableau 5-10 MAE N-04 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Comptage et traitement aux amines
Unité de traitement	Traitement aux amines
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	60
Température (°C)	44
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	28 670
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	17,8
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.4.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-04. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-7 et au Tableau 5-11.

Tableau 5-11 MAE N-04 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	80	117
	5	71	91
	10	60	64
	20	52	43
5/D	3	80	117
	5	71	91
	10	62	64
	20	55	43

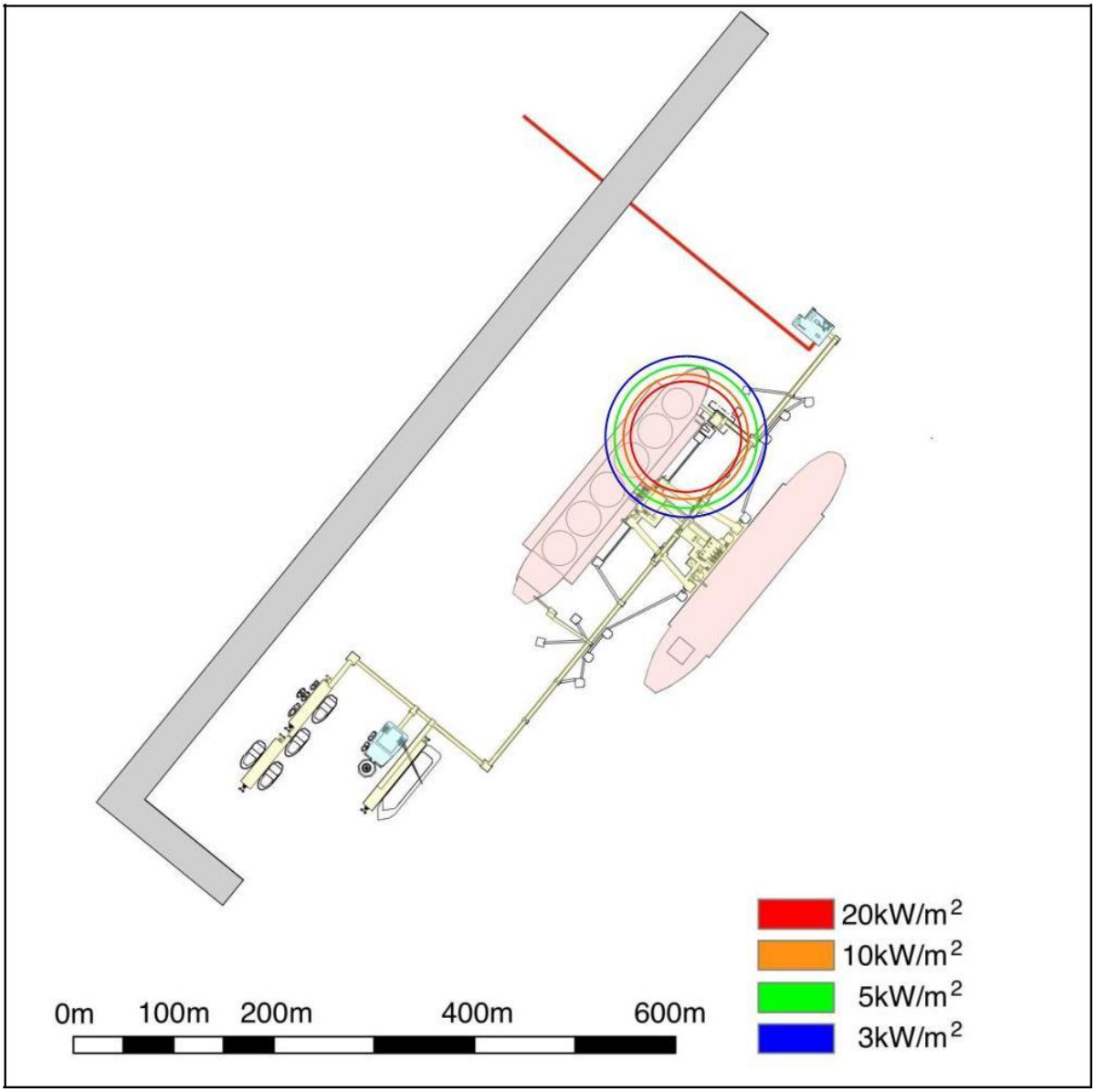


Figure 5-7 MAE N-04 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-04. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-8 et au Tableau 5-12.

Tableau 5-12 MAE N-04 Résultats de boule de feu suite à défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
91	600	280
	1000	214
	2600	91

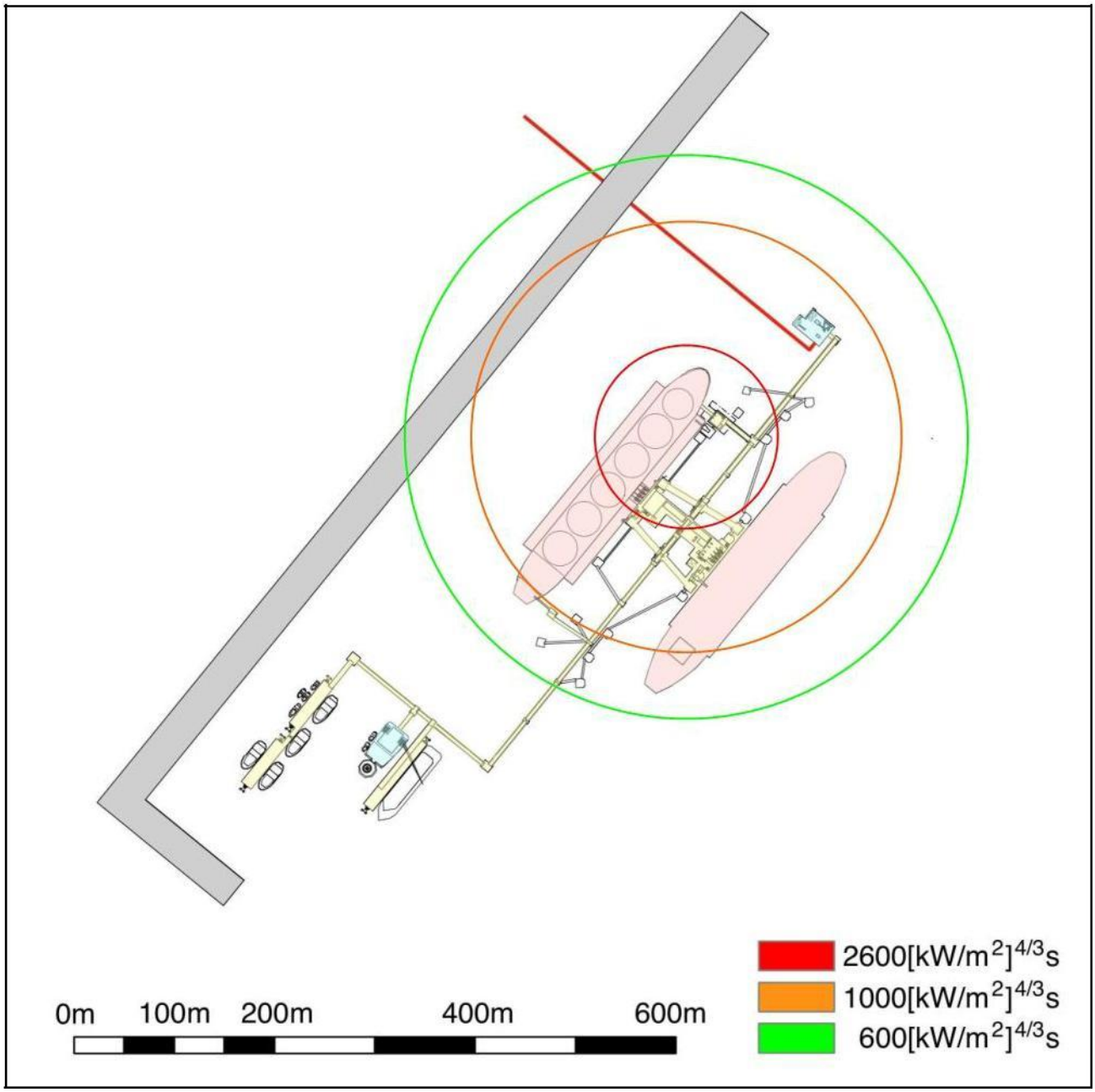


Figure 5-8 MAE N-04 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.4.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur tribord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-04 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement le module. La courbe de niveau et les surpressions associées au remplissage à 100 % de la zone sont illustrées à la Figure 5-9 et au Tableau 5-13.

Tableau 5-13 Résultats d'explosion MAE N-04

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1013
0,05	443
0,14	189
0,35	103

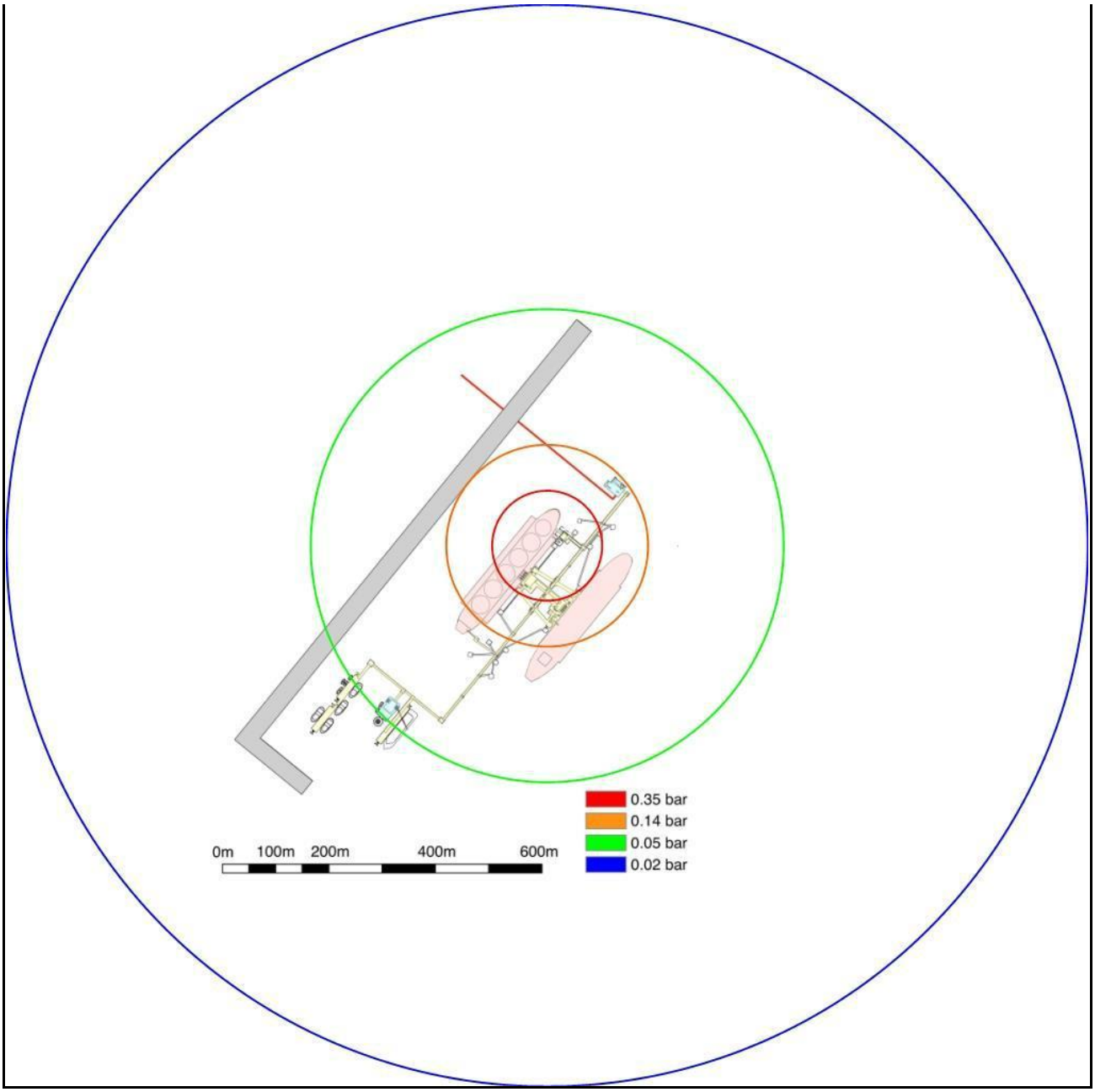


Figure 5-9 MAE N-04 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.5. MAE N-05 : Fuite de gaz de l'unité de déshydratation et de régénération du FLNG

5.5.1. Description de l'événement

Ce MAE concerne une fuite de gaz inflammable de l'unité de déshydratation et de régénération du FLNG. La section débute en aval du contacteur aux amines et s'étend jusqu'au système de compression de gaz d'évaporation et à l'unité de liquéfaction. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Refroidisseur de gaz du recycleur
- Refroidisseur de régénération (x4)
- Compresseur de recyclage (x4)
- Séparateur de gaz de régénération
- Refroidisseur de gaz de régénération
- Déshydrateur (dans la régénération)
- Réchauffeur à gaz de régénération
- Épurateur d'entrée à tamis moléculaire
- Filtre à tamis moléculaire
- Déshydrateur x2
- Cuve d'élimination de mercure

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-14 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1].

Tableau 5-14 MAE N-05 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Compression de régénération et de déshydratation
Unité de traitement	Déshydratation
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	60
Température (°C)	40
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	19 962
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	17,9
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.5.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-05. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-10 et dans le Tableau 5-15.

Tableau 5-15 MAE N-05 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximal (m)
2/D	3.	81	117
	5	71	91
	10	60	64
	20	52	43
5/D	3.	80	117
	5	71	91
	10	62	64
	20	55	43

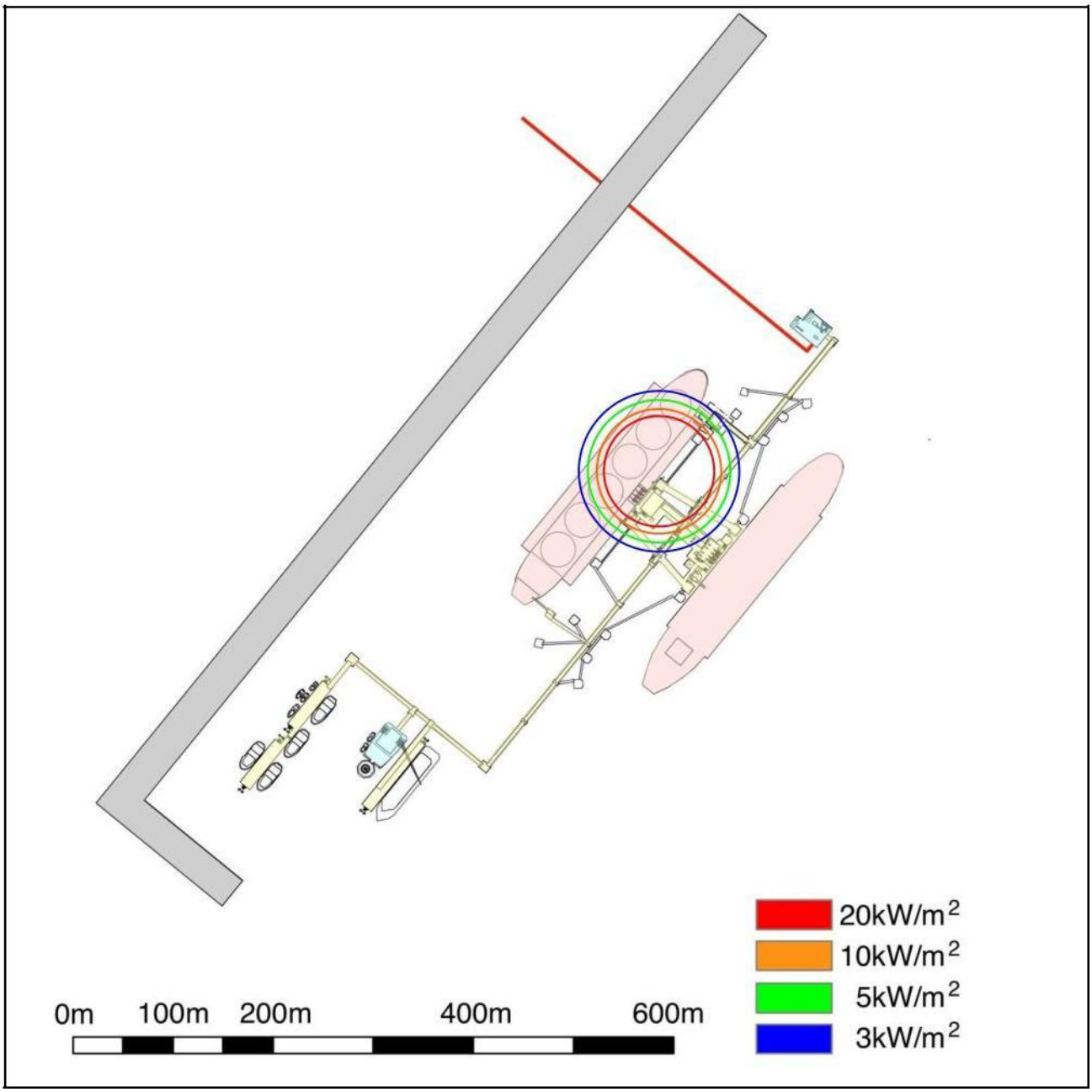


Figure 5-10 MAE N-05 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-05. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-11 et au Tableau 5-16.

Tableau 5-16 MAE N-05 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
81	600	241
	1000	182
	2600	68

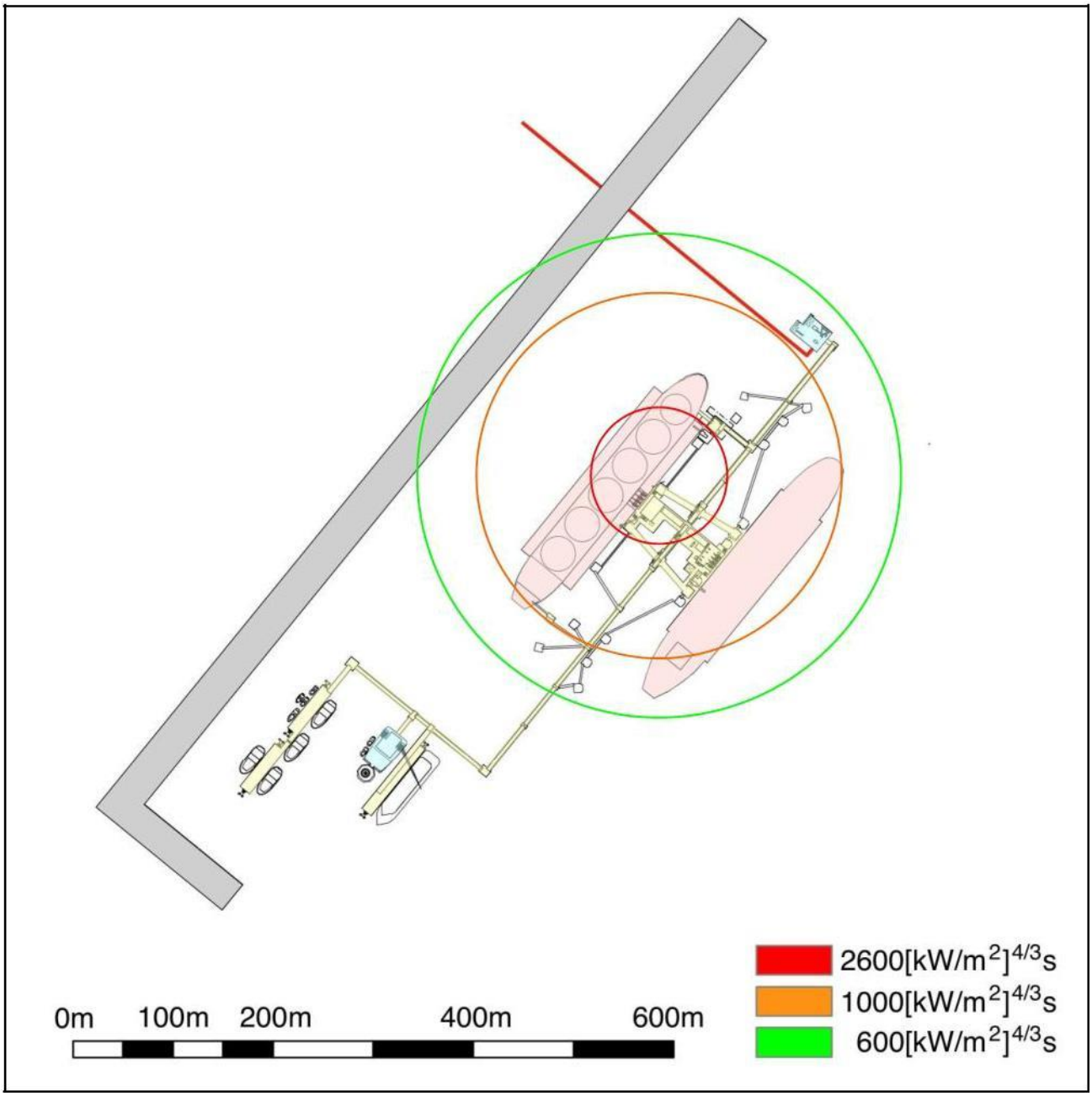


Figure 5-11 MAE N-05 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.5.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur tribord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-05 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement la zone congestionnée. La courbe de niveau et les surpressions associées au remplissage à 100 % de la zone congestionnée sont illustrées à la Figure 5-12 et au Tableau 5-17.

Tableau 5-17 Résultats d'explosion MAE N-05

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1013
0,05	443
0,14	189
0,35	103

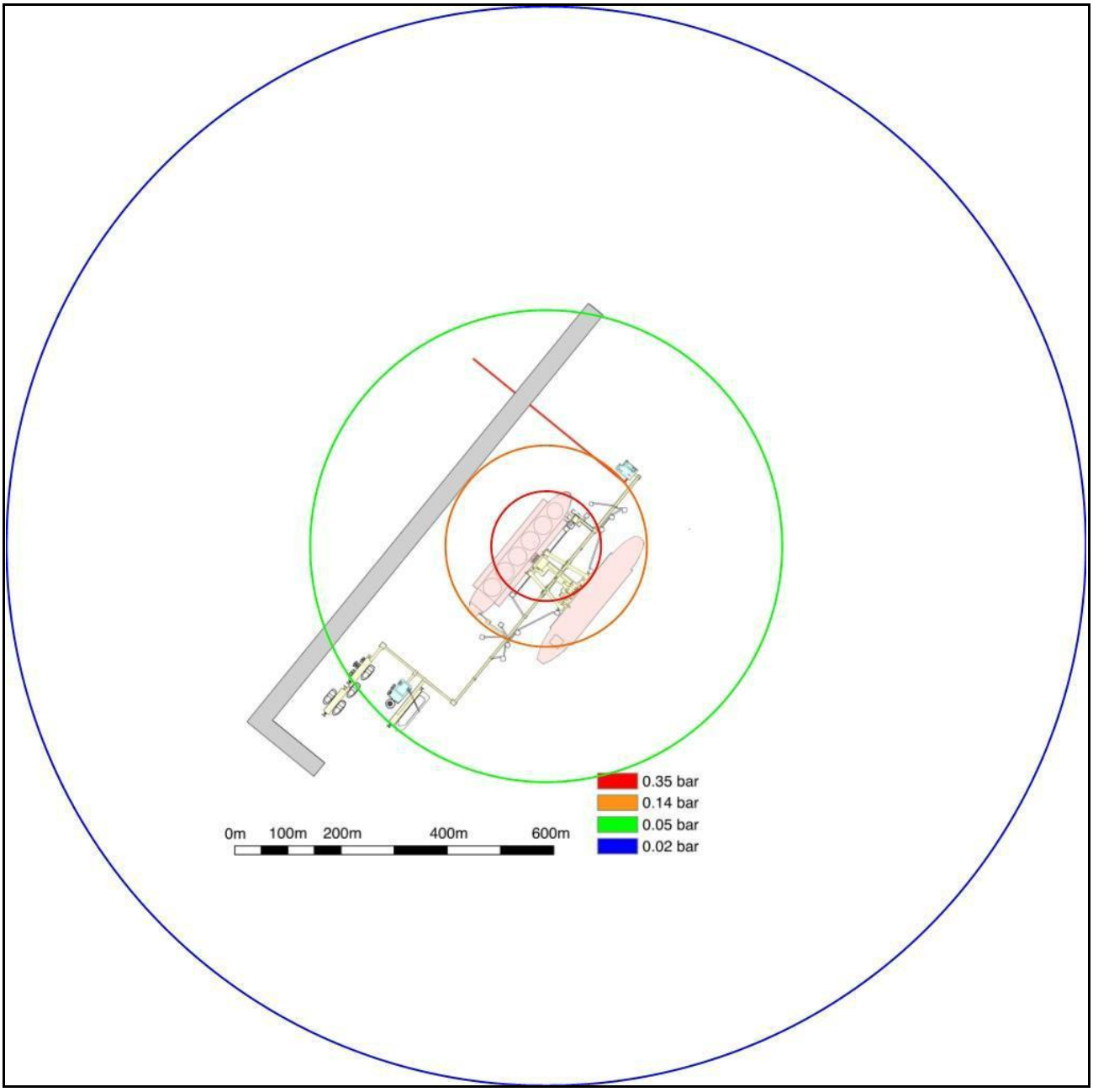


Figure 5-12 MAE N-05 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.6. MAE N-06 : Fuite de gaz de la compression de gaz vaporisé / gaz d'évaporation du FLNG

5.6.1. Description de l'événement

Ce MAE concerne une fuite de gaz inflammable provenant de l'unité de compression de gaz vaporisé / gaz d'évaporation du FLNG. Cette section prend le gaz d'évaporation du ballon de flash de GNL (gaz naturel liquéfié) et le relie à une unité de gaz de combustion à une pression supérieure. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Refroidisseur de refoulement de BOG (gaz d'évaporation ou boil-off gas en anglais)
- Séparateur d'huile de compresseur de BOG (gaz d'évaporation)
- Compresseur de BOG (gaz d'évaporation) (x3)
- Échangeur de BOG (gaz d'évaporation) (x2)
- Refroidisseur de refoulement du compresseur de BOG (gaz d'évaporation)
- Ballon de flash GNL (gaz naturel liquéfié) (atmosphère intérieure)
- Réservoir de stockage GNL (gaz naturel liquéfié) (x6) (atmosphère intérieure)

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-18 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1].

Tableau 5-18 MAE N-06 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Compression de gaz d'évaporation
Unité de traitement	Gaz d'évaporation
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	60
Température (°C)	36
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	131
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	18,1
Durée de fuite estimée	<1 min
Volume congestionné (m^3)	10,150

5.6.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-06. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-13 et au Tableau 5-19.

Tableau 5-19 MAE N-06 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	81	118
	5	71	92
	10	61	64
	20	52	44
5/D	3	80	118
	5	72	91
	10	62	64
	20	55	43

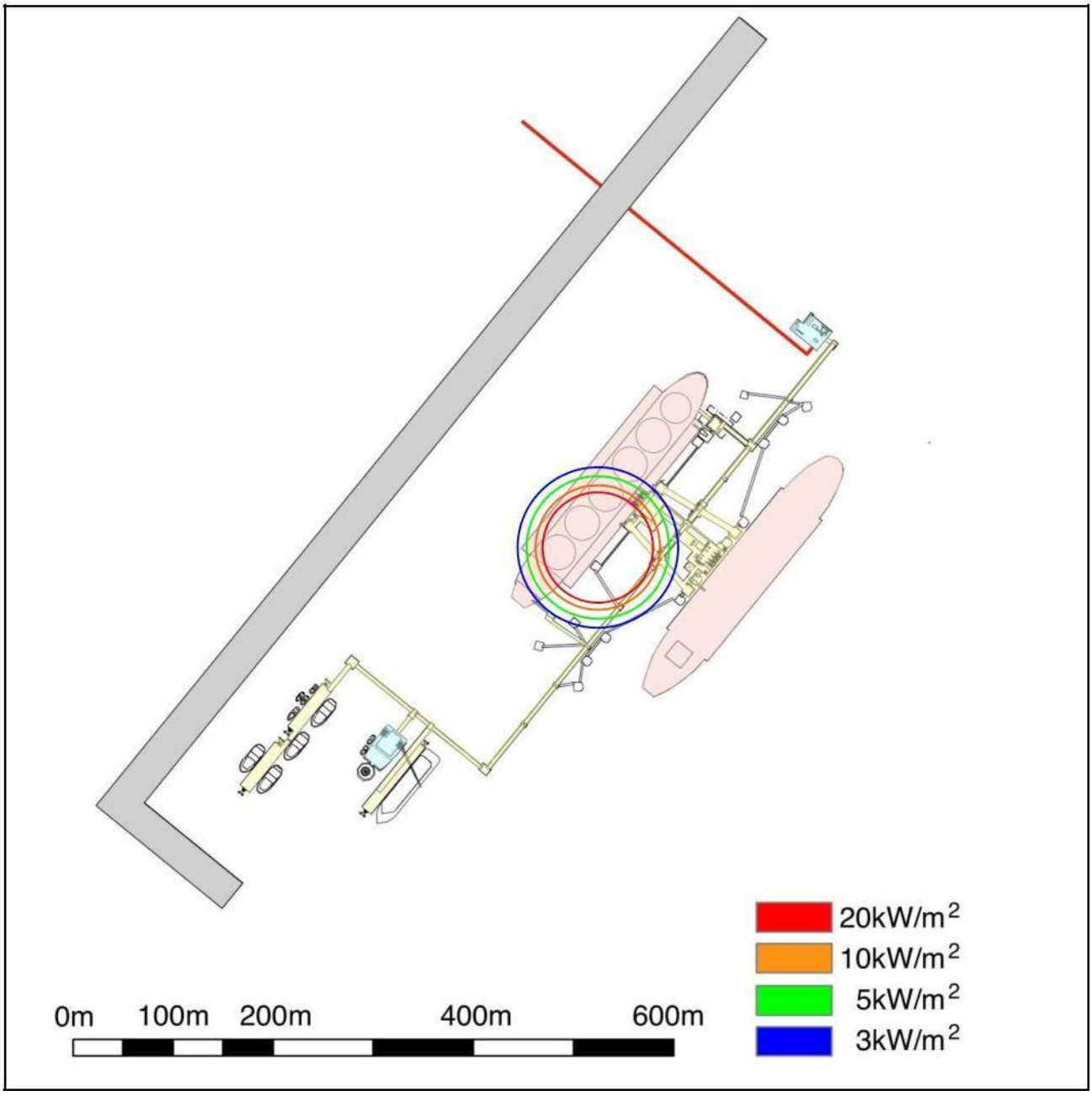
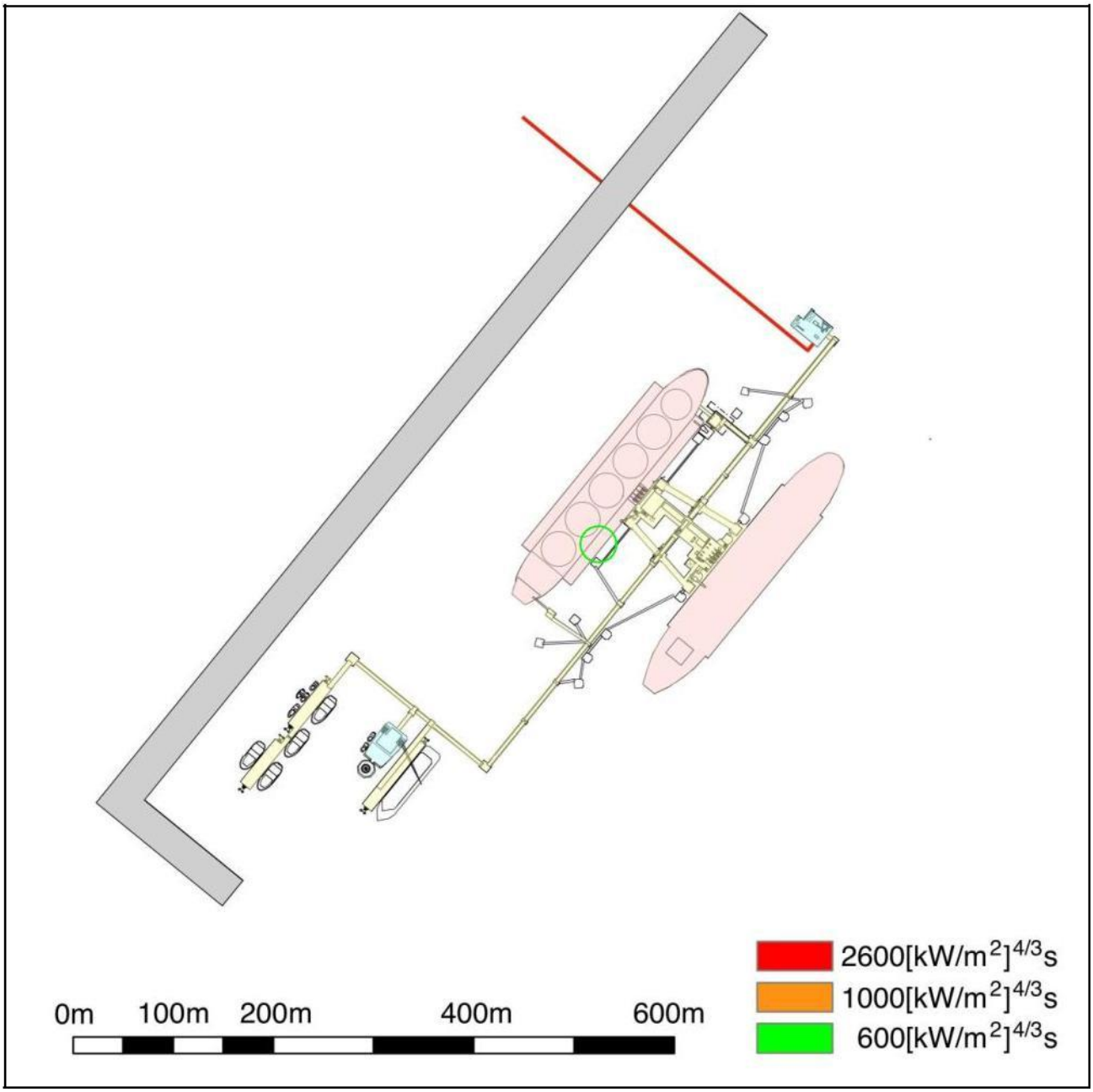


Figure 5-13 MAE N-06 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-06. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-14 et au Tableau 5-20.

Tableau 5-20 MAE N-06 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
16	600	18
	1000	Non atteint
	2600	Non atteint



REMARQUE : Les niveaux de dose thermique supérieurs n'ont pas été atteints.

Figure 5-14 MAE N-06 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.6.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur tribord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-06 entraînera une explosion du nuage de vapeur. La masse inflammable pour un défaut représentatif (50 mm) et un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) se limite au stock inflammable total de la section. La courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion dans cette zone sont illustrées à la Figure 5-15 et au Tableau 5-21.

Tableau 5-21 Résultats d'explosion MAE N-06

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	470
0,05	205
0,14	88
0,35	48

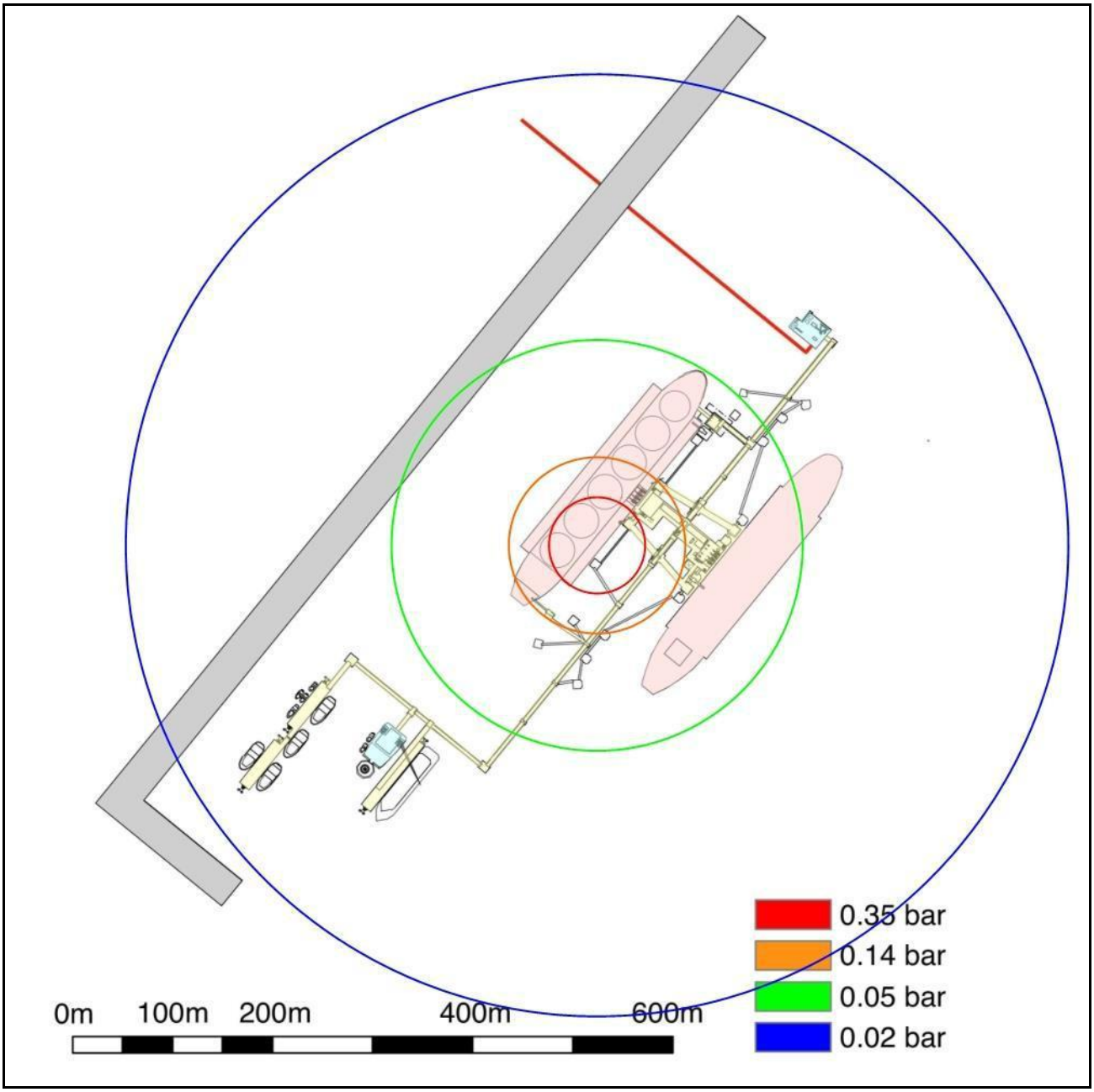


Figure 5-15 MAE N-06 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.7. MAE N-07 : Fuite de gaz à partir du système de gaz de combustion HP de l'équipement FLNG

5.7.1. Description de l'événement

Ce MAE concerne une fuite de gaz inflammable à partir de l'unité de gaz de combustion du FLNG. Cette section débute en aval du séparateur HP et mène aux utilisateurs de gaz de combustion HP/BP. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Réchauffeur de gaz de combustion
- Super-réchauffeur de gaz de combustion
- Ballon séparateur de gaz de combustion
- Épurateur de gaz de combustion

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-22 qui sont extraites de l'inventaire MAR 1 (Annexe B.1.1).

Tableau 5-22 MAE N-07 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Système de gaz de carburant
Unité de traitement	Gaz de combustion
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	38
Température (°C)	45
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	191
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	11,3
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	<1 min
Volume congestionné (m^3)	10,150

5.7.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-07. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-16 et au Tableau 5-23.

Tableau 5-23 MAE N-07 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	64	92
	5	57	72
	10	49	50
	20	42	34
5/D	3	64	92
	5	57	71
	10	50	50
	20	45	33

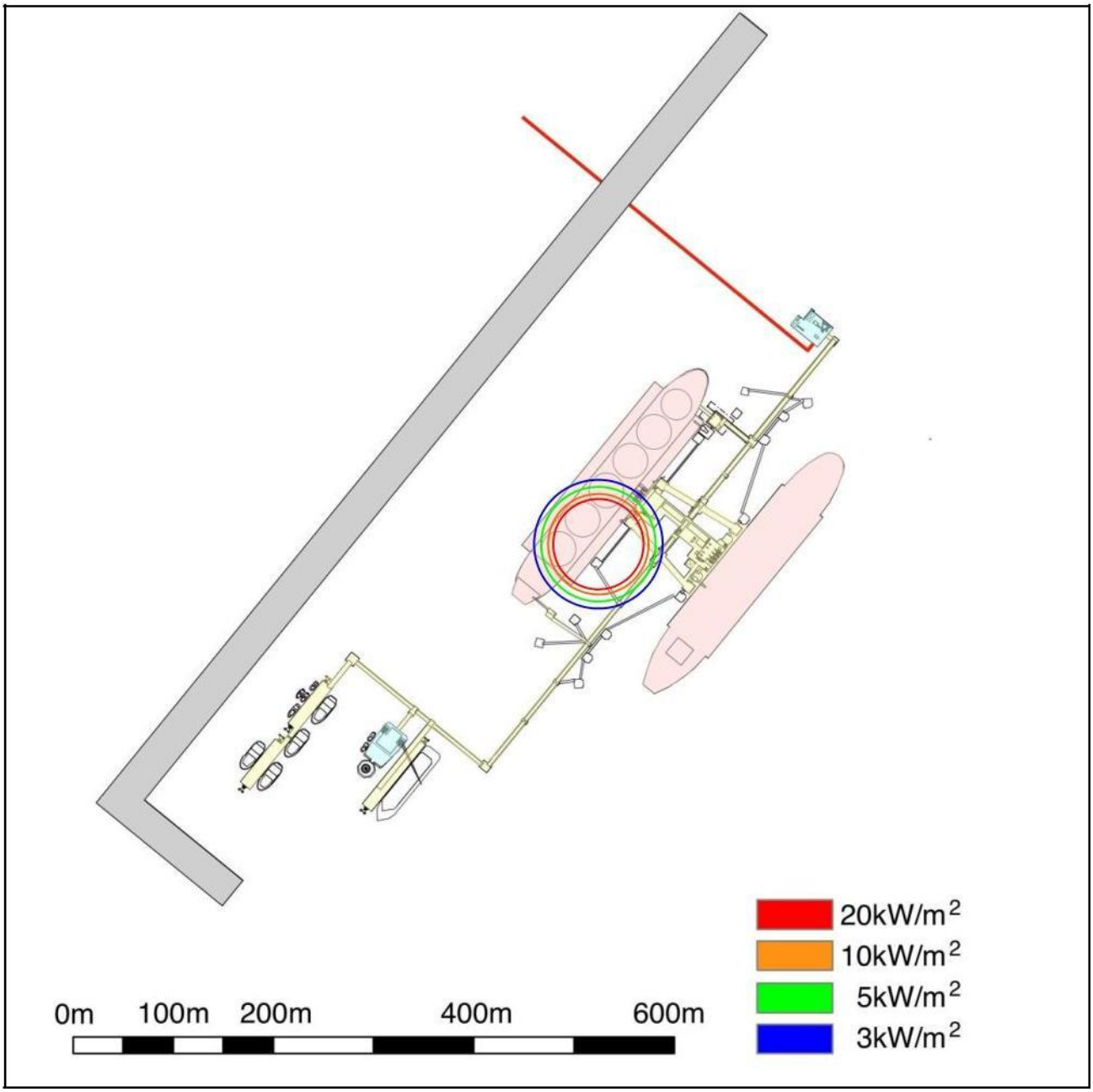
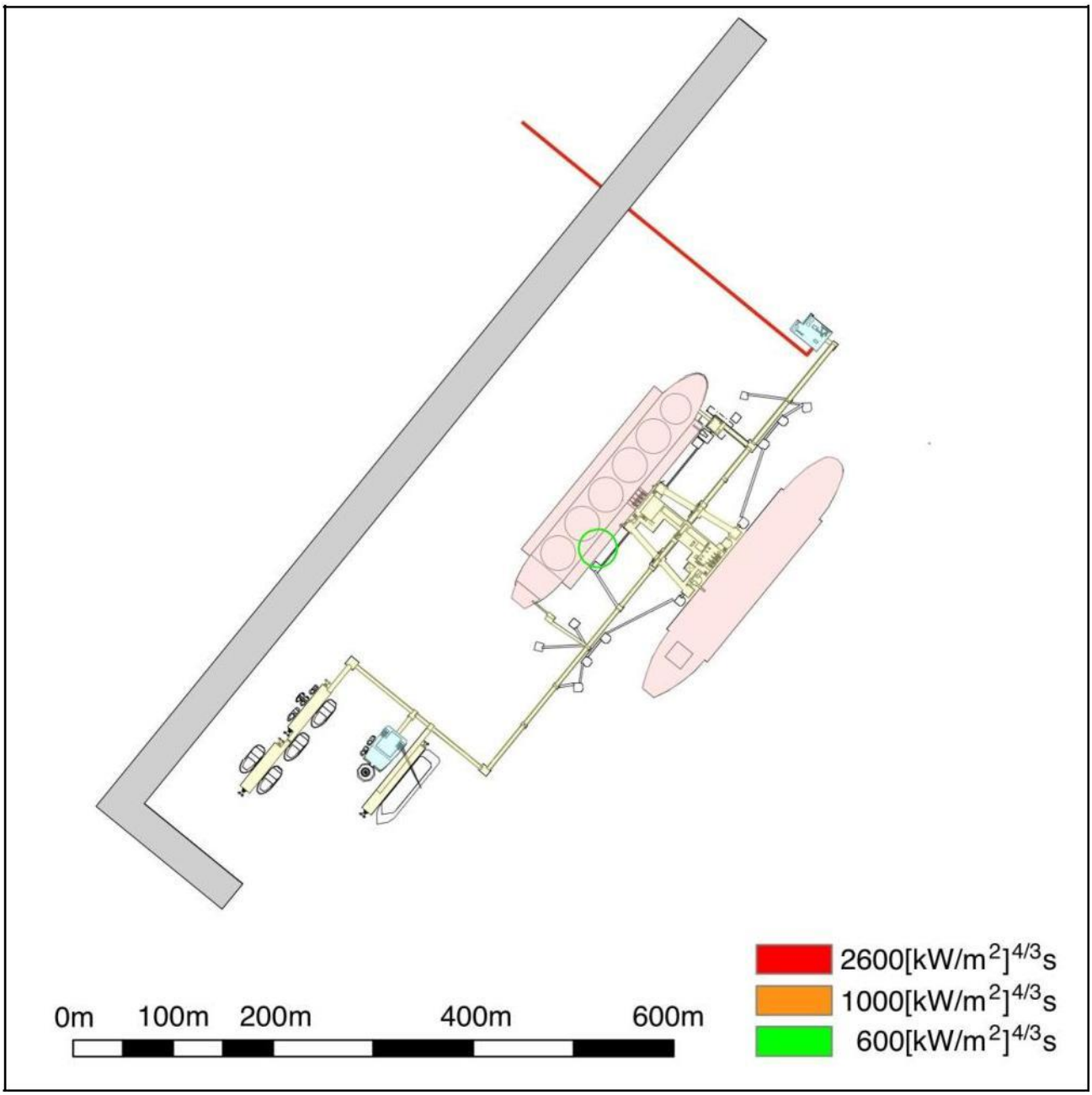


Figure 5-16 MAE N-07 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-07. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-17 et au Tableau 5-24.

Tableau 5-24 MAE N-07 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
18	600	19
	1000	Non atteint
	2600	Non atteint



REMARQUE : Les niveaux de dose thermique supérieurs n'ont pas été atteints.

Figure 5-17 MAE N-07 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.7.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur tribord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-07 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable suite à un défaut représentatif (50 mm) et un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) est limité par la masse totale de cette section. Les courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion dans cette zone sont illustrées à la Figure 5-18 et au Tableau 5-25.

Tableau 5-25 Résultats d'explosion MAE N-07

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	533
0,05	233
0,14	99
0,35	54

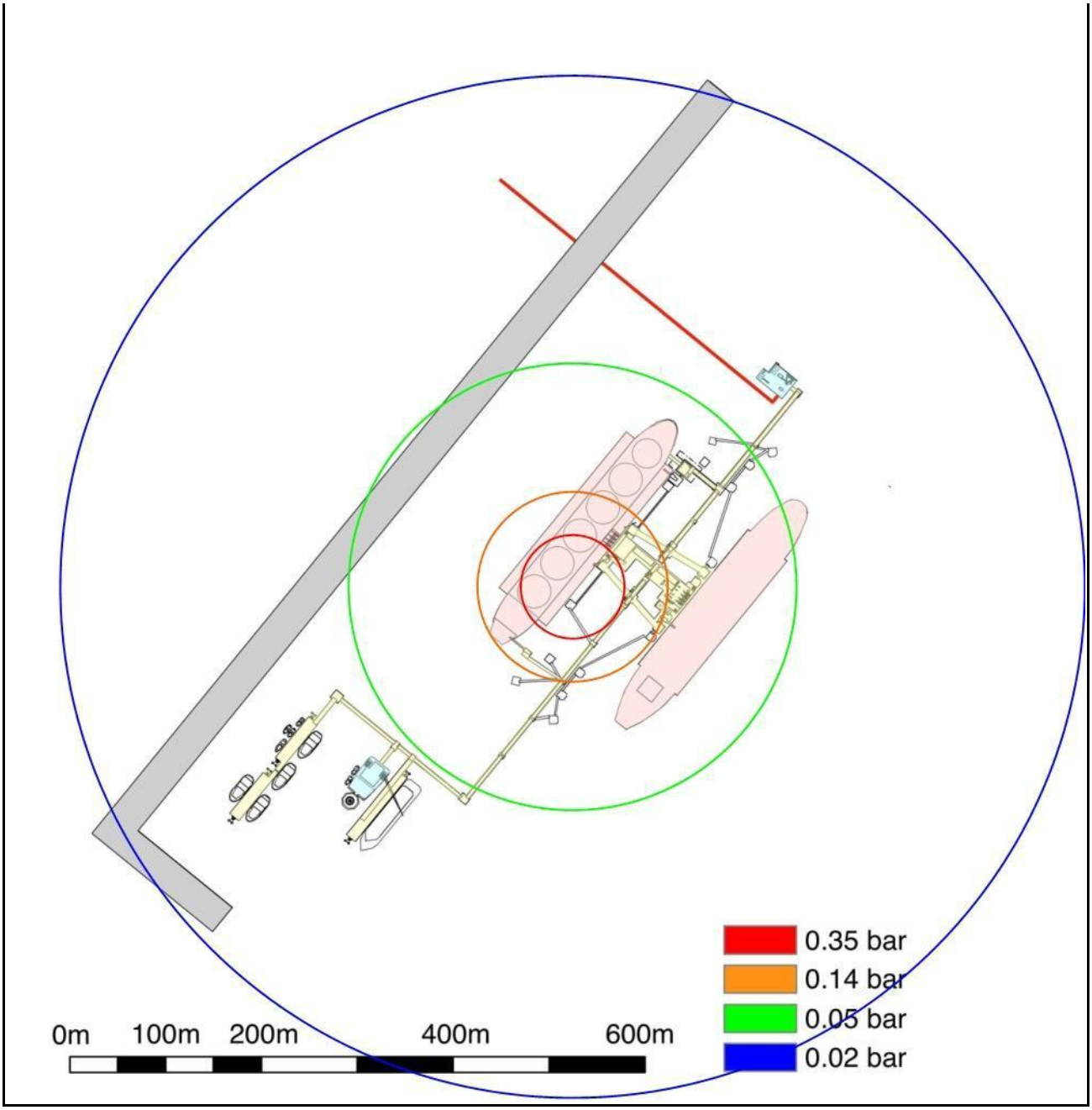


Figure 5-18 MAE N-07 Courbes de niveau d'exposition pour un remplissage à 100 % du module de gaz de combustion (échelle en mètres)

5.8. MAE N-08 : Fuite de gaz de l'unité de fractionnement de FLNG

5.8.1. Description de l'événement

Ce MAE concerne une fuite de gaz inflammable provenant du système de fractionnement du FLNG. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Tour de fractionnement (atmosphère intérieure)
- Conditionneur de reflux de fractionnement
- Ballon de reflux de fractionnement (atmosphère intérieure)
- Séparateur lourd HP (atmosphère intérieure)

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies au Tableau 5-26.

Tableau 5-26 MAE N-08 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	-
Unité de traitement	Fractionnement
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	30
Température (°C)	-40
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	7 250
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	11,0
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	5-15 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.8.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammés pour le MAE N-08. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-19 et au Tableau 5-27.

Tableau 5-27 MAE N-08 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	63	91
	5	56	71
	10	48	49
	20	42	33
5/D	3	63	90
	5	56	70
	10	49	49
	20	44	33

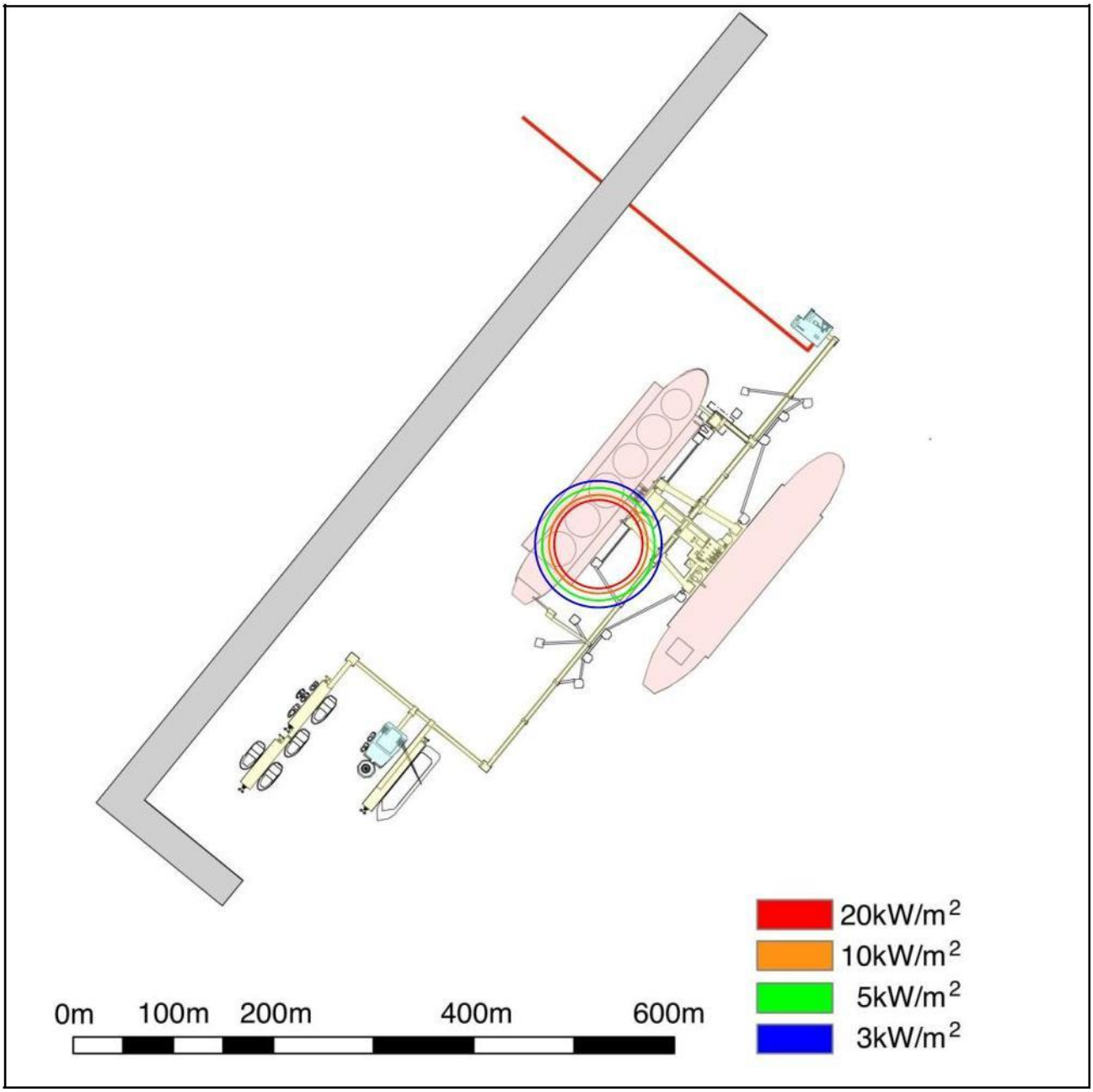
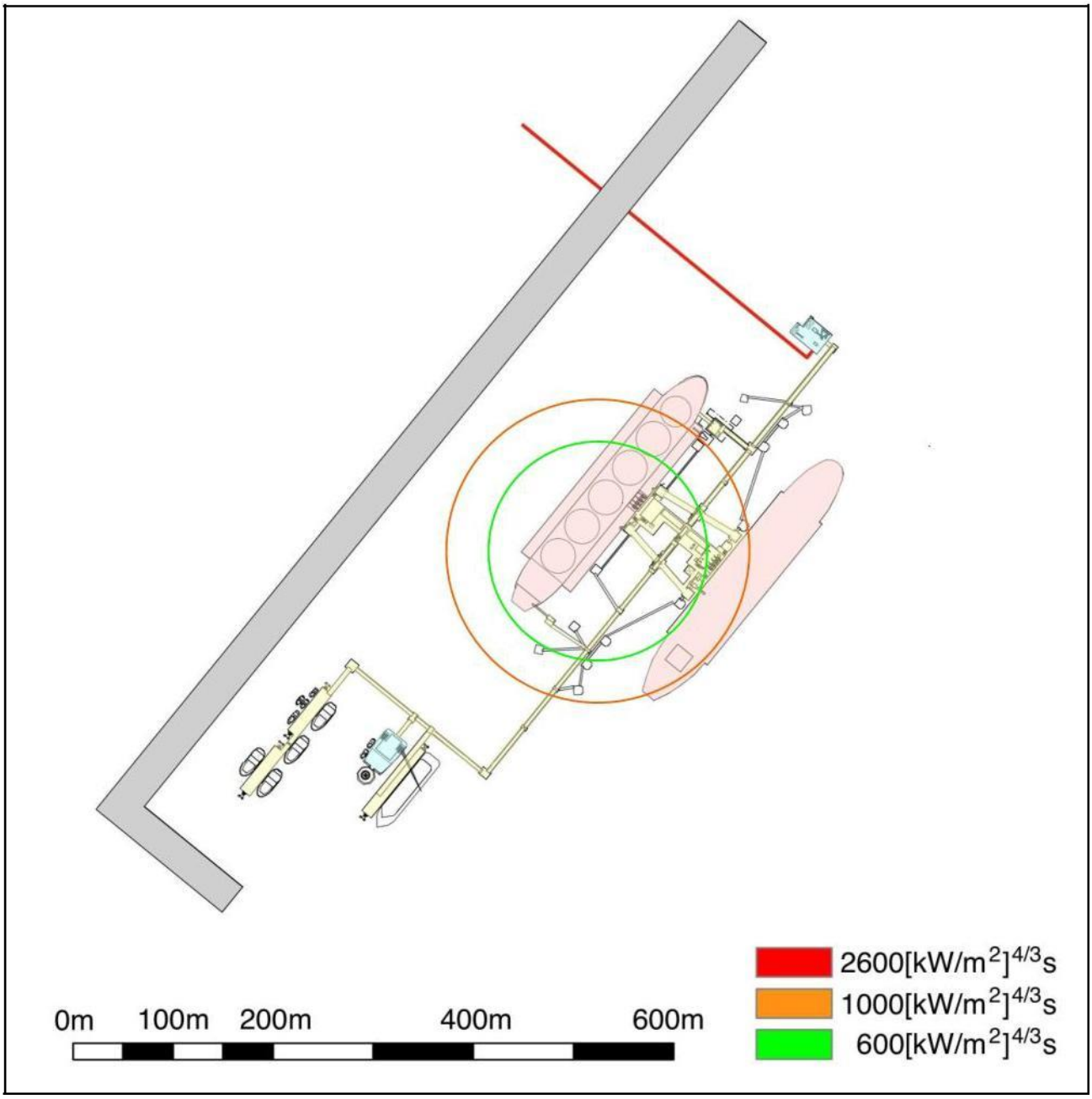


Figure 5-19 MAE N-08 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-08. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-20 et au Tableau 5-28.

Tableau 5-28 MAE N-08 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
58	600	151
	1000	109
	2600	Non atteint



REMARQUE : Le niveau de dose thermique plus élevé n'a pas été atteint.

Figure 5-20 MAE N-08 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur bâbord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-08 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement la zone. La courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion sont illustrées à la Figure 5-21 et au Tableau 5-29.

Tableau 5-29 Résultats d'explosion MAE N-08

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1013
0,05	443
0,14	189
0,35	103

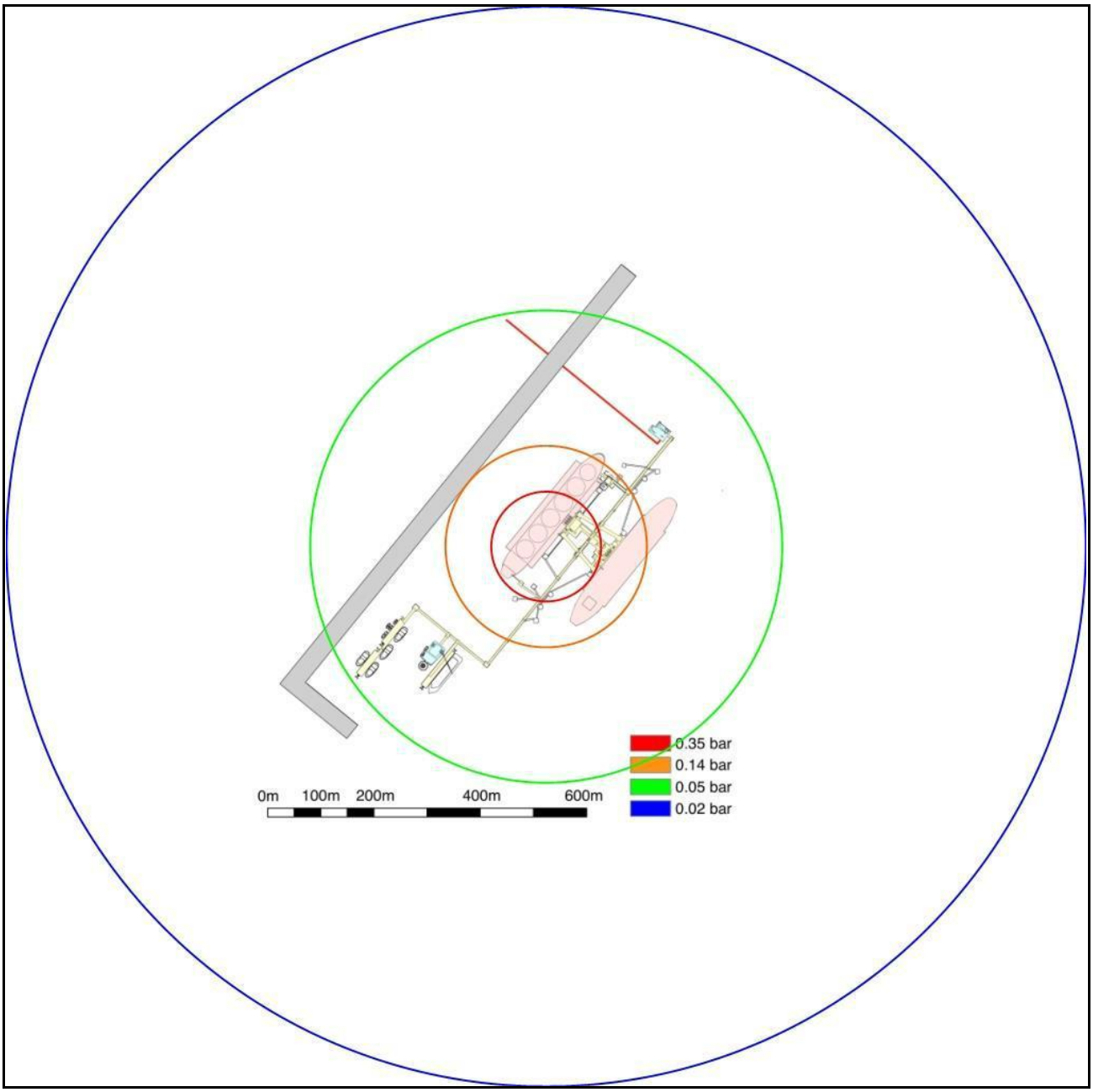


Figure 5-21 MAE N-08 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.9. MAE N-09 : Fuites liquides d'hydrocarbure léger du système de fractionnement de FLNG

5.9.1. Description de l'événement

Ce MAE concerne une fuite liquide d'hydrocarbure provenant du système de fractionnement du FLNG. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Séparateur lourd HP
- Réchauffeur de fractions lourdes
- Fractionneur
- Rebouilleur de fractionnement
- Pompe booster de fractions lourdes (x2)
- Ballon de reflux de fractionnement
- Pompe de reflux de fractionnement

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-30.

Tableau 5-30 MAE N-09 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	-
Unité de traitement	Fractionnement
Matériel supposé	Propane
Pression (bar)	30
Température (°C)	-40
Phase	liquides
Inventaire (kg)	12 000
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	67,2
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.9.2. Résultats de l'incendie

Une fuite liquide d'hydrocarbure provenant du MAE N-09 est susceptible de s'enflammer de manière instantanée suite à un défaut représentatif (50 mm) ou de former une pulvérisation de liquide. L'inflammation immédiate de cette fuite entraînera un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE N-09. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-22 et au Tableau 5-31.

Tableau 5-31 MAE N-09 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	182	263
	5	160	203
	10	139	148
	20	122	107
5/D	3.	168	265
	5	146	204
	10	123	144
	20	106	106

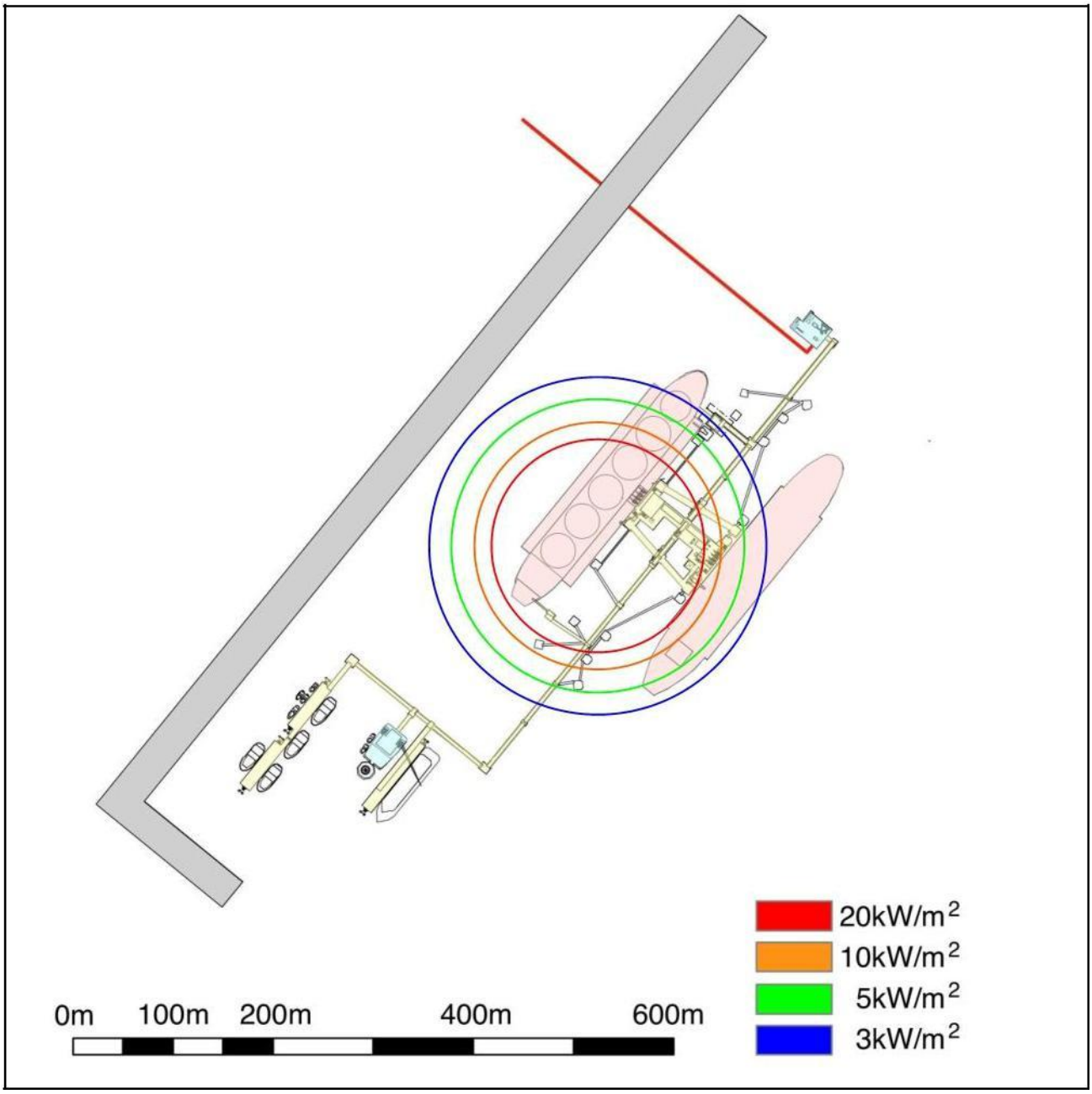


Figure 5-22 MAE N-09 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

Une fuite liquide d'hydrocarbure léger provenant du MAE N-09 se vaporisera très probablement pour la plupart de manière instantanée suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) ou formera des gouttelettes de liquide en suspension dans l'air. L'inflammation suite à un défaut catastrophique pour le MAE N-09 est mieux représentée par une boule de feu. La courbe de niveau et les plages de risque dues à une dose thermique provenant d'une boule de feu sont illustrées à la Figure 5-23 et au Tableau 5-32.

Tableau 5-32 MAE N-09 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
67	600	175
	1000	128
	2600	8

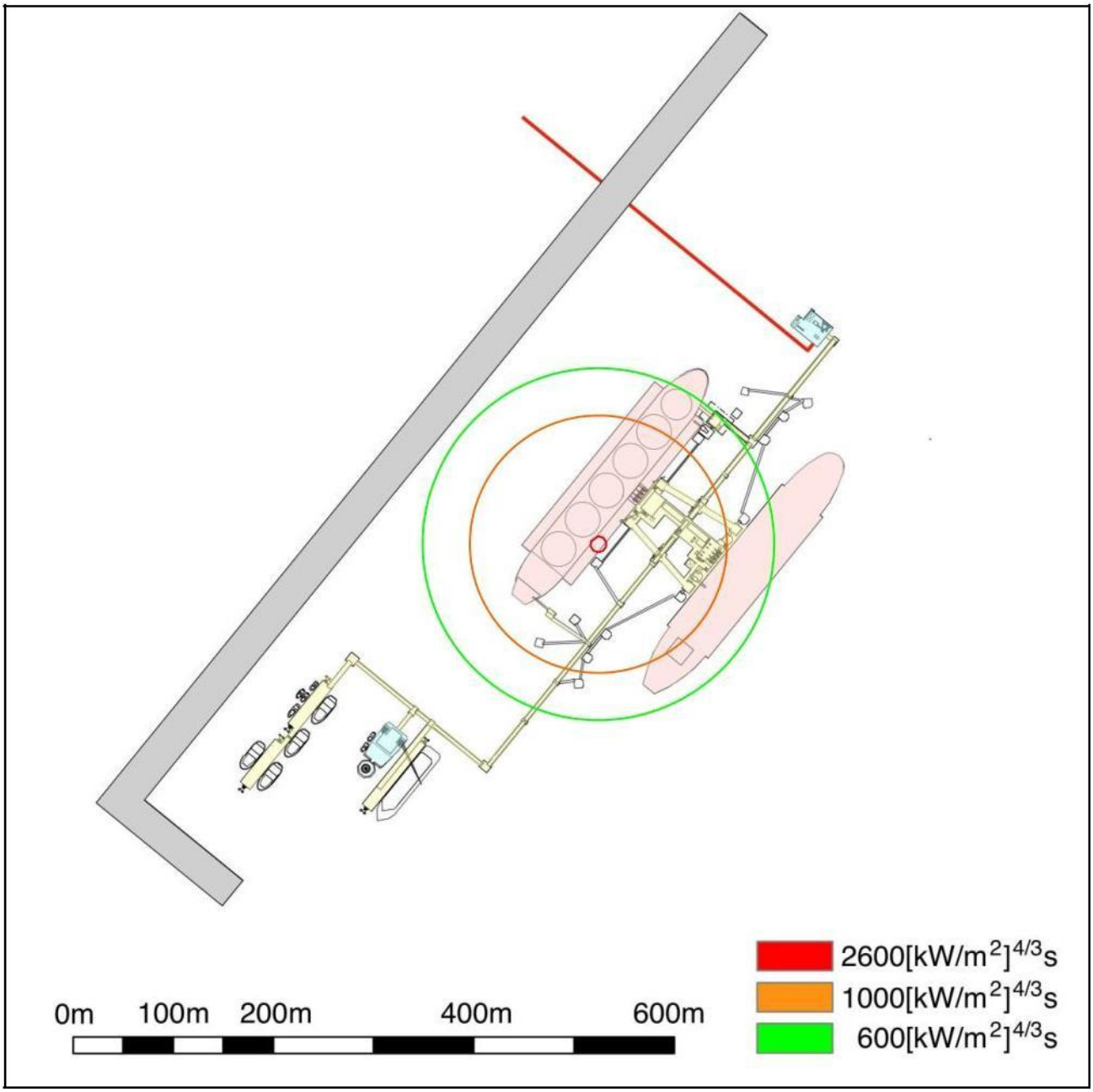


Figure 5-23 MAE N-09 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.9.3. Résultats de feu de type flash

L'inflammation retardée des vapeurs inflammables libérées dans une zone ouverte et dégagée suite à la perte de confinement entraînera un feu de type flash pour le MAE N-09. Les distances avant les LFL (limites inférieures d'inflammabilité) 100 % sont présentées dans le Tableau 5-33 et le Tableau 5-34 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable). Les courbes de niveau pour des LFL de 100 % (limites inférieures d'inflammabilité) sont présentées dans le Tableau 5-24 et le Tableau 5-25 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable).

Tableau 5-33 MAE N-09 Résultats de portée de feu de type flash LFL de 100 %, défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	204
5/D	117

Tableau 5-34 MAE N-09 Résultats de portée de boule de feux LFL 100 %, défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	352
5/D	186

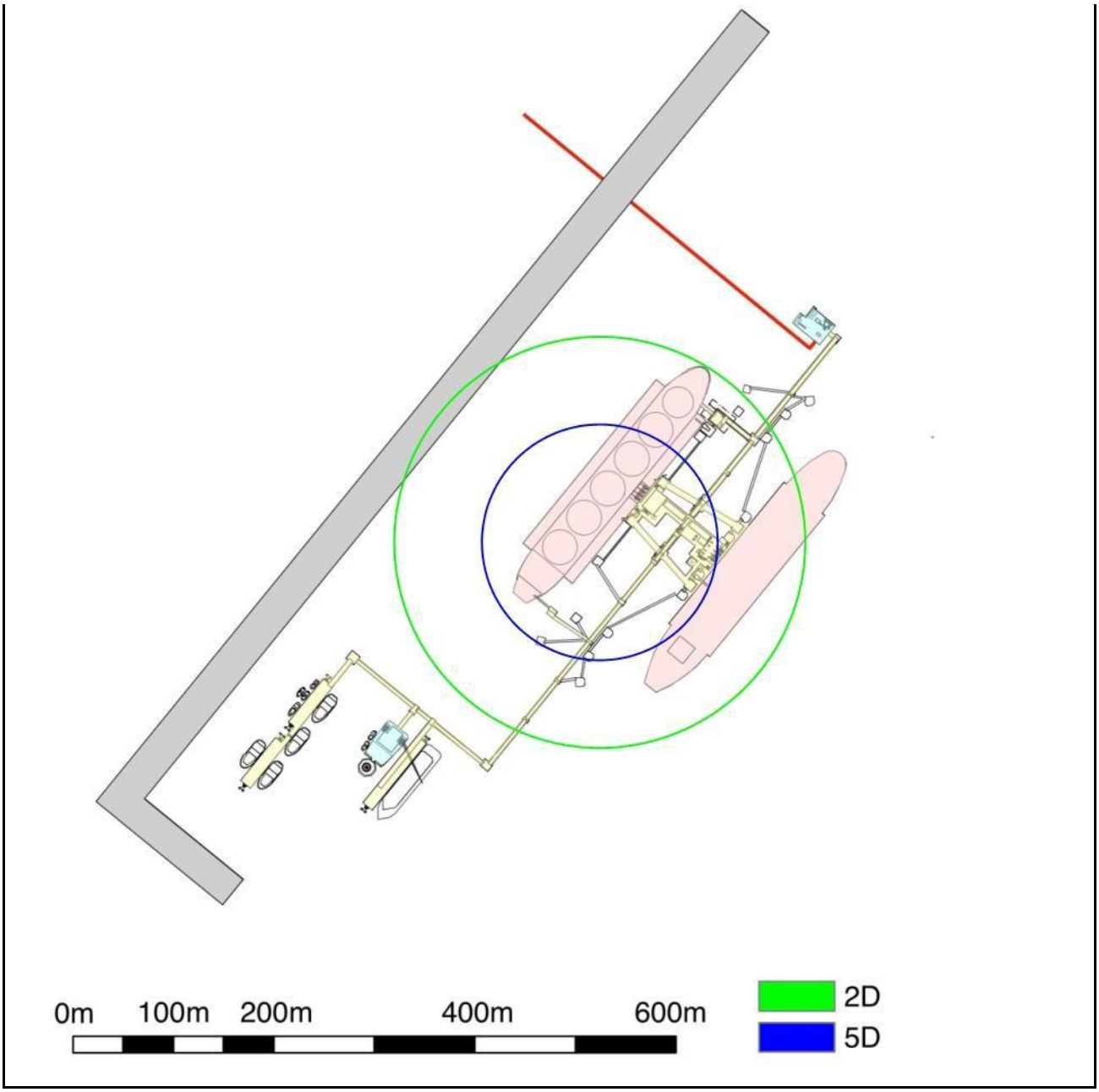


Figure 5-24 MAE N-09 Portée de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts de 50 mm (échelle en mètres)

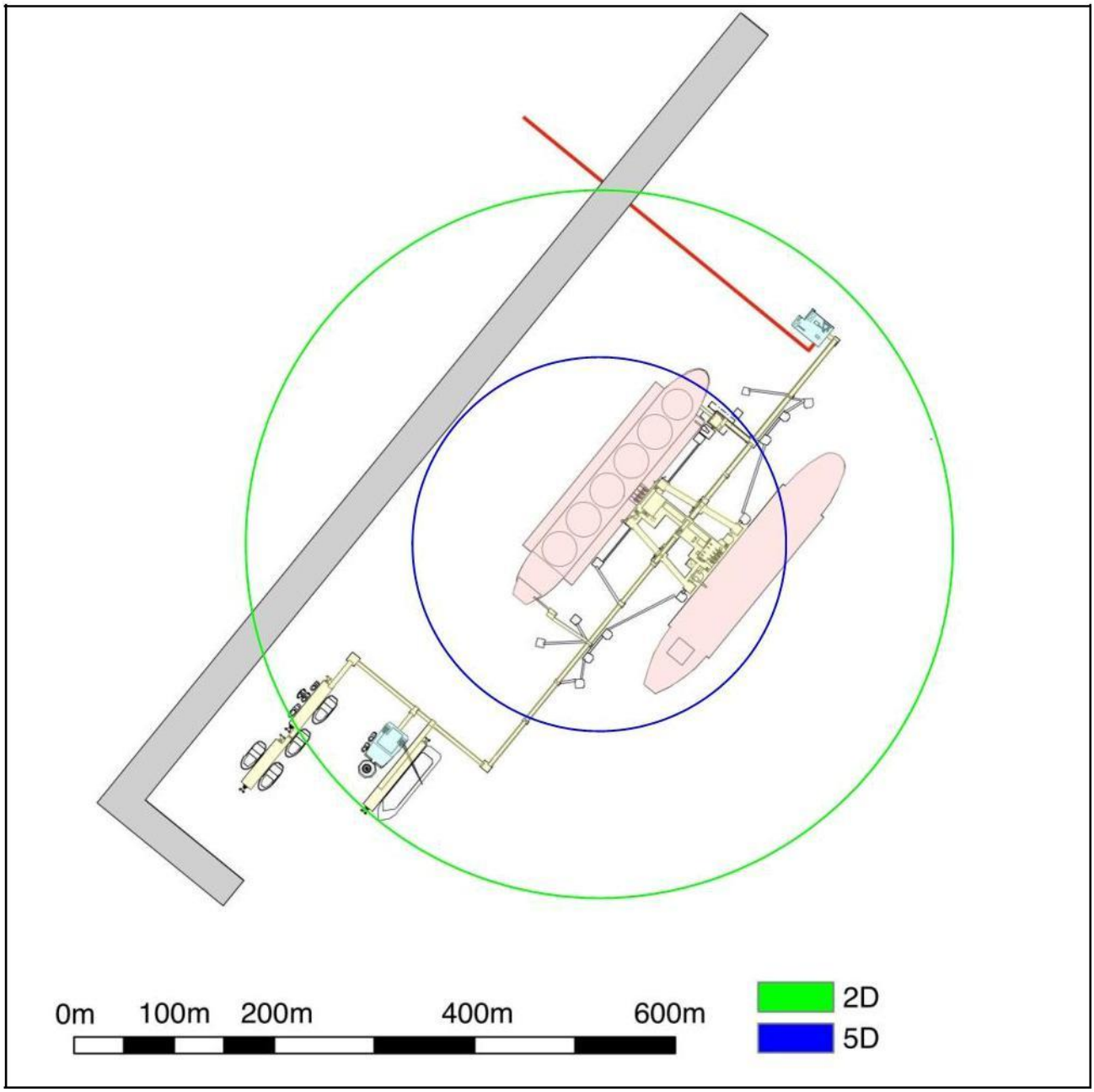


Figure 5-25 MAE N-09 Portée de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts catastrophiques (échelle en mètres)

5.9.4. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur bâbord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-09 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable d'une explosion provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement la zone encombrée. La courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion sont illustrées à la Figure 5-26 et au Tableau 5-35.

Tableau 5-35 Résultats d'explosion MAE N-09

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	1045
0,05	457
0,14	195
0,35	106

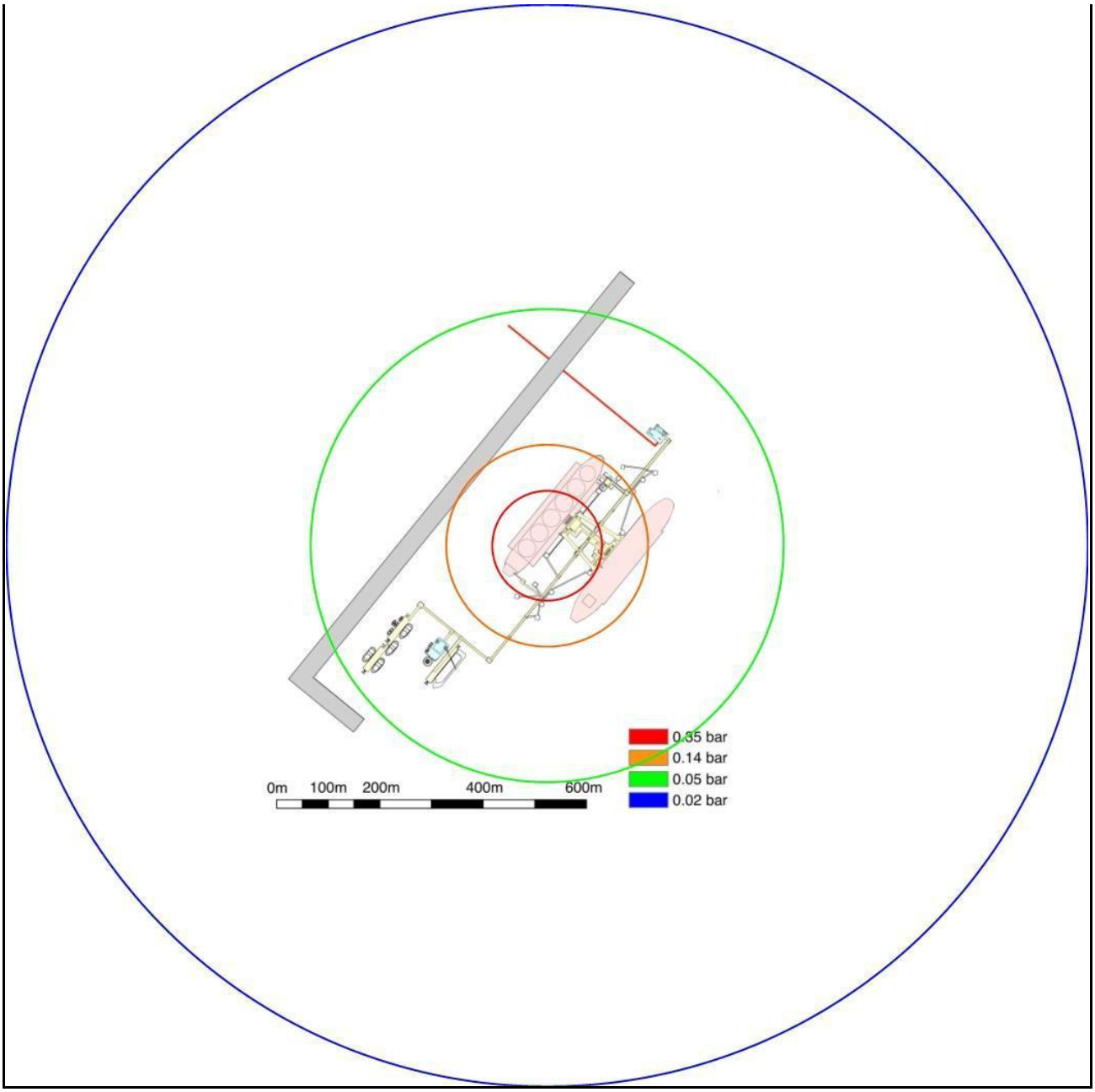


Figure 5-26 MAE N-09 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.10. MAE N-10 : Fuite de GNL au niveau de l'unité de liquéfaction du FLNG

5.10.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une fuite de GNL de l'échangeur de liquéfaction principal et de la conduite de raccordement. La section se situe en aval du ballon de reflux de fractionnement et en amont du détendeur/ballon de flash.

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-36.

Tableau 5-36 MAE N-10 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	-
Unité de traitement	Liquéfaction
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	18
Température (°C)	-109
Phase	liquides
Inventaire (kg)	11 750
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	42,8
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.10.2. Résultats de l'incendie

Une fuite de GNL provenant du MAE N-10 est susceptible de s'enflammer de manière instantanée suite à un défaut représentatif (50 mm) ou de former un spray de liquide. L'inflammation immédiate de cette fuite entraînera un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE N-10. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-27 et au Tableau 5-37.

Tableau 5-37 MAE N-10 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	52	73
	5	46	57
	10	40	40
	20	35	27
5/D	3	52	73
	5	46	56
	10	41	39
	20	37	26

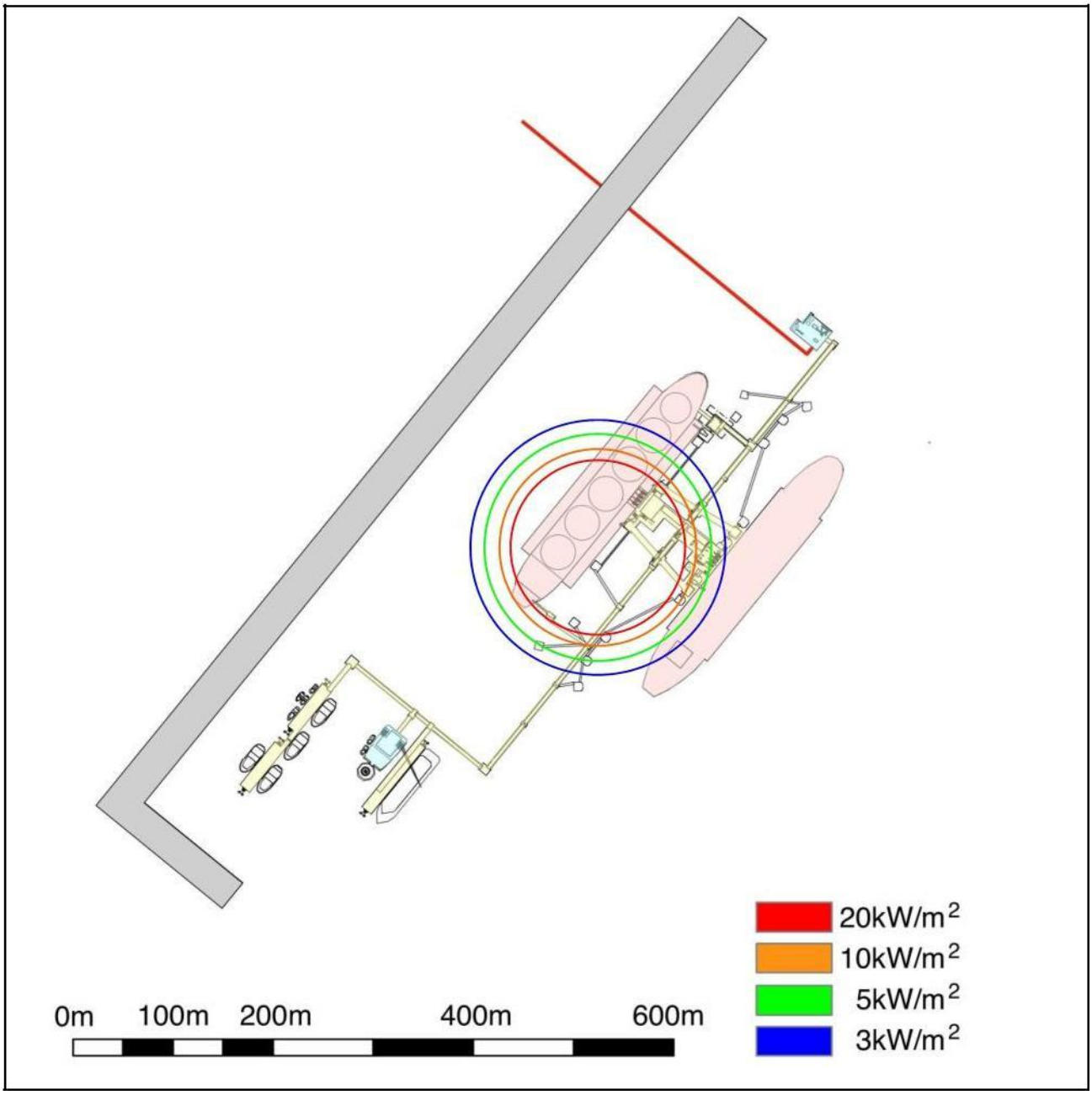
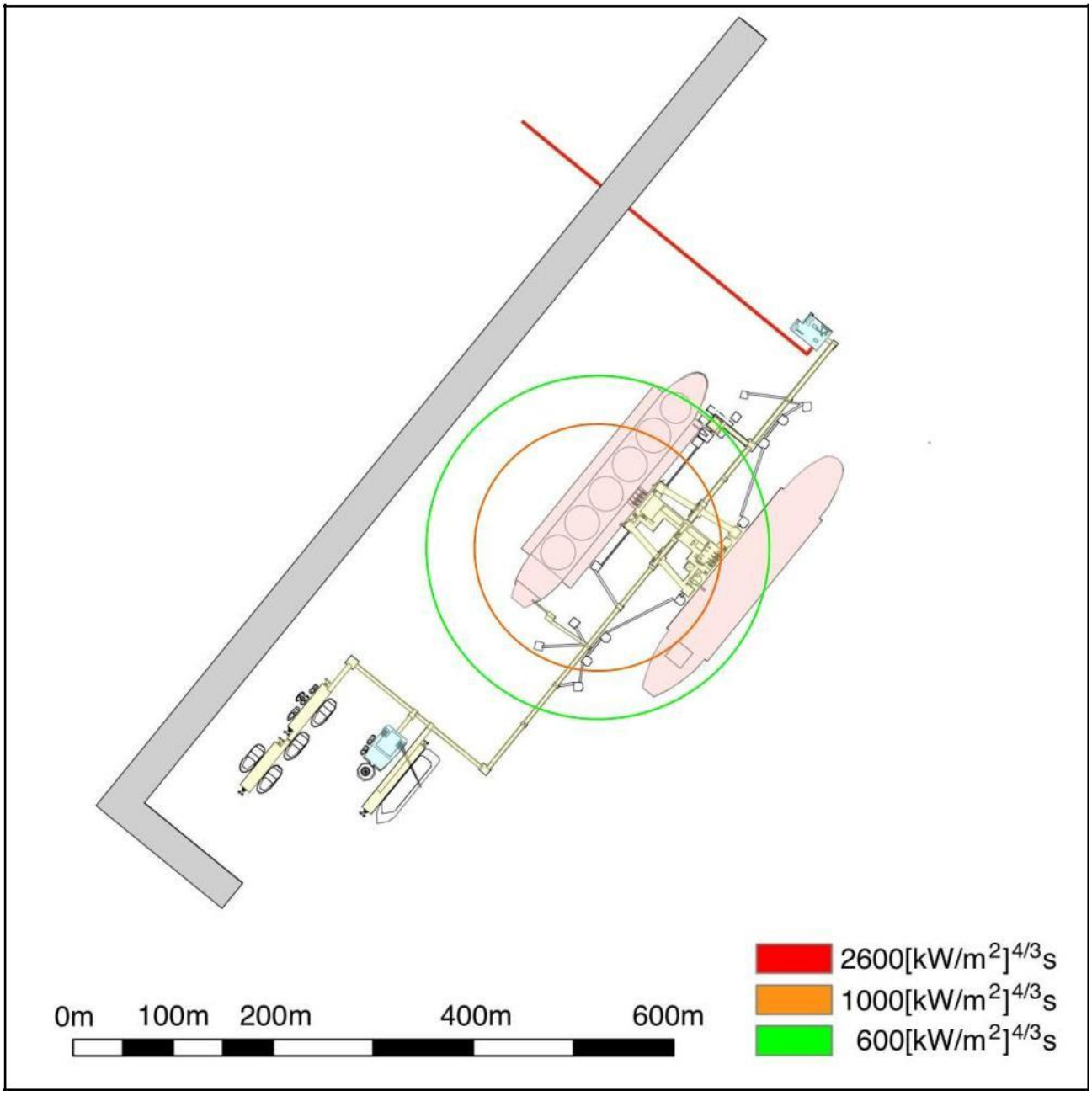


Figure 5-27 MAE N-10 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

Une fuite de GNL provenant du MAE N-10 se vaporisera pour la plupart très probablement de manière instantanée suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) ou formera des gouttelettes de liquide en suspension dans l'air. L'inflammation suite à un défaut catastrophique pour le MAE N-10 est mieux représentée par une boule de feu. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-28 et au Tableau 5-38.

Tableau 5-38 MAE N-10 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
68	600	171
	1000	123
	2600	Non atteint



REMARQUE : Le niveau de dose thermique plus élevé n'a pas été atteint.

Figure 5-28 MAE N-10 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.10.3. Résultats du feu de type Flash

L'inflammation retardée des vapeurs inflammables libérées dans une zone ouverte et dégagée entraînera un feu de type flash pour le MAE N-10. Les distances avant les LFL 100 % sont présentées dans le Tableau 5-39 et le Tableau 5-40 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable). Les courbes de niveau avant les LFL (limites inférieures d'inflammabilité) 100 % sont présentées dans le Tableau 5-29 et le Tableau 5-30 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le pire cas crédible).

Tableau 5-39 MAE N10- Résultats de portée de feu de type flash LFL 100 %, défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	97
5/D	66

Tableau 5-40 MAE N-10 Résultats de portée de feu de type flash LFL 100 % pour un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	196
5/D	220

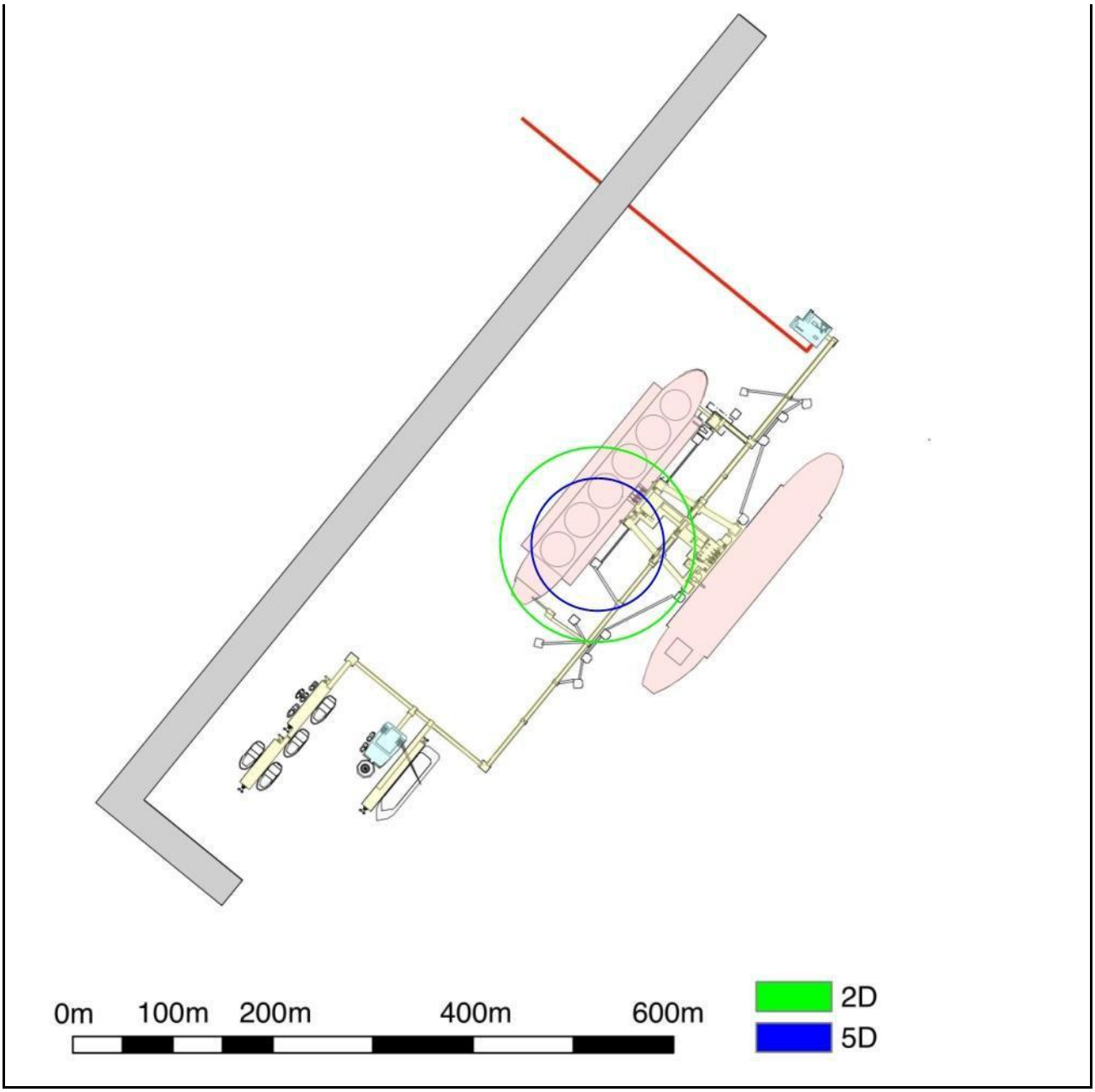


Figure 5-29 MAE N-10 Portée de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts de 50 mm (échelle en mètres)

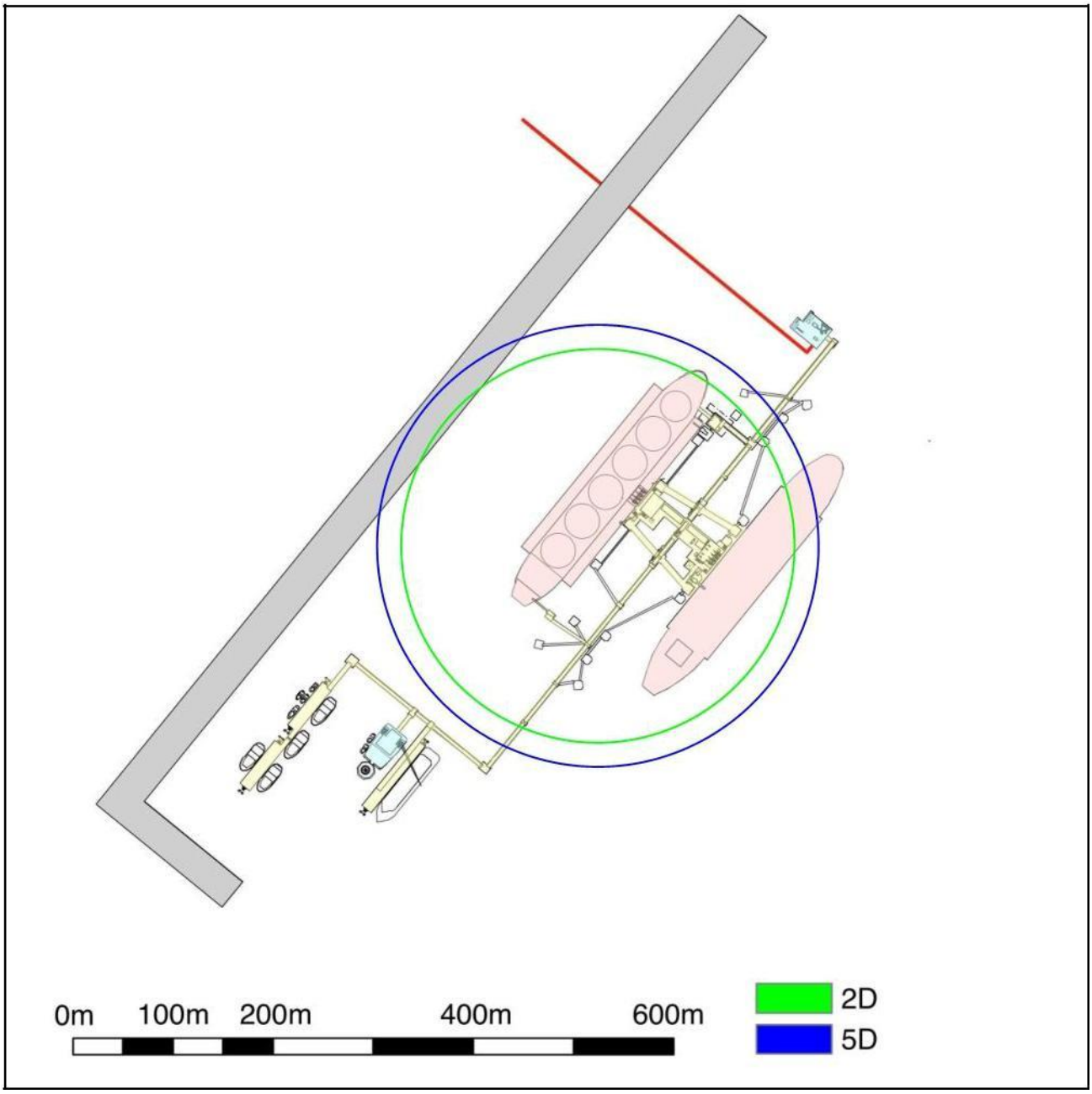


Figure 5-30 MAE N-10 Portée de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts catastrophiques (échelle en mètres)

5.10.4. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de vapeurs inflammables dispersées dans une zone encombrée (flotteur bâbord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-10 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement le module. La courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion sont illustrées à la Figure 5-31 et au Tableau 5-41.

Tableau 5-41 Résultats d'explosion MAE N-10

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	1013
0,05	443
0,14	189
0,35	103

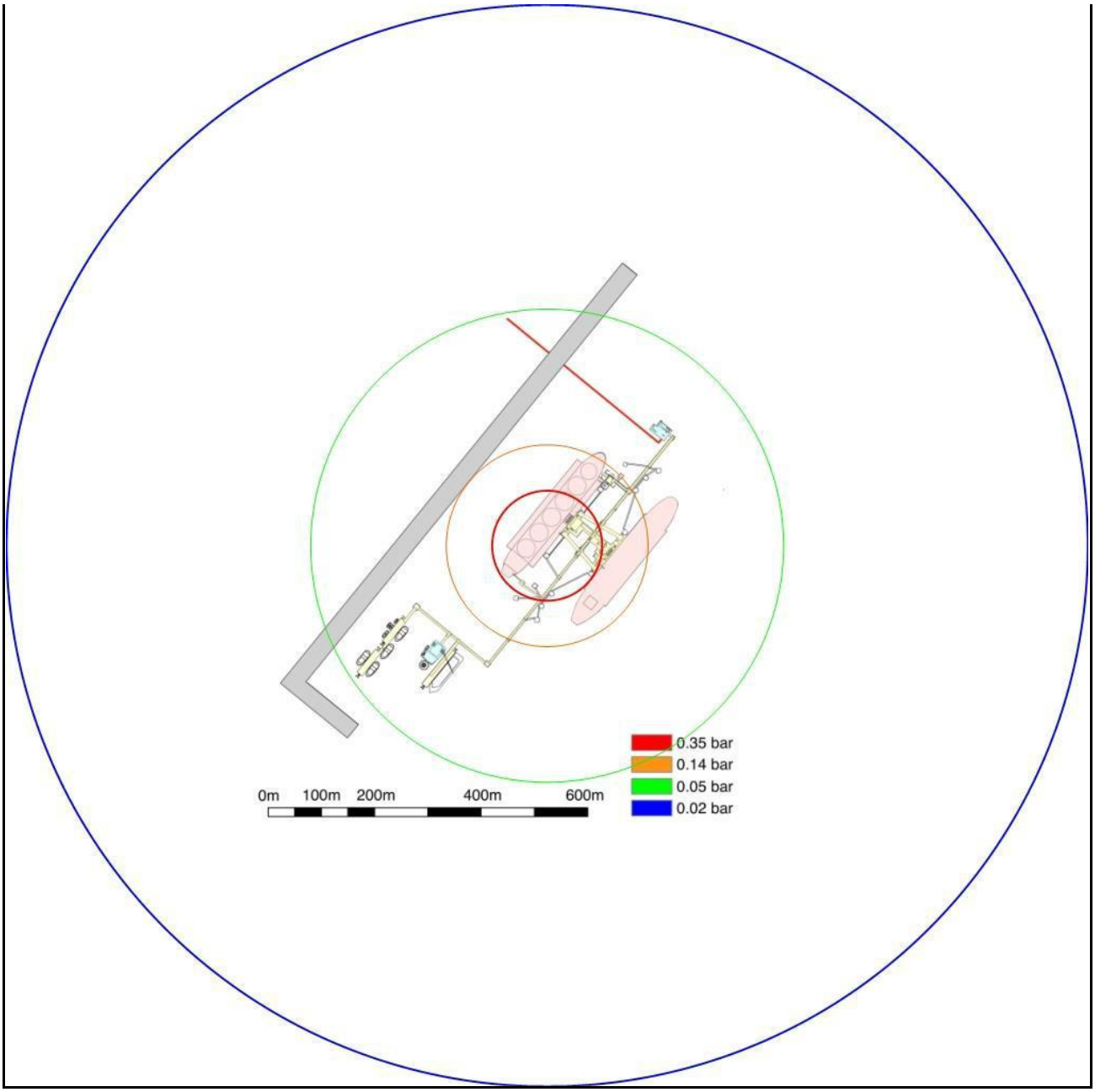


Figure 5-31 MAE N-10 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.10.5. Résultats de déversements cryogéniques

L'étendue de nappe cryogénique a été déterminée pour une fuite représentative et crédible la plus défavorable associée au MAE N-10. Pour un défaut représentatif (50 mm), la nappe s'étend à un rayon de 15 m alors que pour un défaut de cuve catastrophique, elle s'étendra à 22 m.

Tableau 5-42 MAE N-10 Résultats de la nappe cryogénique

Scénario de fuite	Rayon de nappe m
Défaut représentatif (50 mm)	15
Défaut catastrophique (le pire cas crédible)	21

5.11. MAE N-11 : Fuite de GNL au niveau d'un ballon de gaz vaporisé du FLNG

5.11.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne la fuite de GNL d'un ballon de gaz vaporisé et des conduites de raccordement. Cette section se trouve en aval de l'unité de liquéfaction et en amont des réservoirs de stockage de GNL. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Dilatateur de GNL
- Ballon de flash de GNL
- Pompe de transfert de GNL (x2)

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-43 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1].

Tableau 5-43 MAE N-11 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Liquéfaction et ballon de flash de GNL – Train 1
Unité de traitement	Liquéfaction
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	6
Température (°C)	-158
Phase	liquides
Inventaire (kg)	30 143
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	26,4
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.11.2. Résultats de l'incendie

Une partie de la fuite de GNL provenant du MAE N-11 est susceptible de se vaporiser de manière instantanée suite à un défaut représentatif (50 mm) ou de former une pulvérisation de liquide. Si la fuite provenant d'un défaut représentatif (50 mm) se forme dans une zone ouverte ou non congestionnée, l'inflammation des vapeurs libérées / pulvérisation entraînera un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE N-11. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-32 et au Tableau 5-44.

Tableau 5-44 MAE N-11 Résultats de portée de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	145	162
	5	130	130
	10	114	94
	20	102	60
5/D	3.	130	161
	5	115	126
	10	99	93
	20	86	66

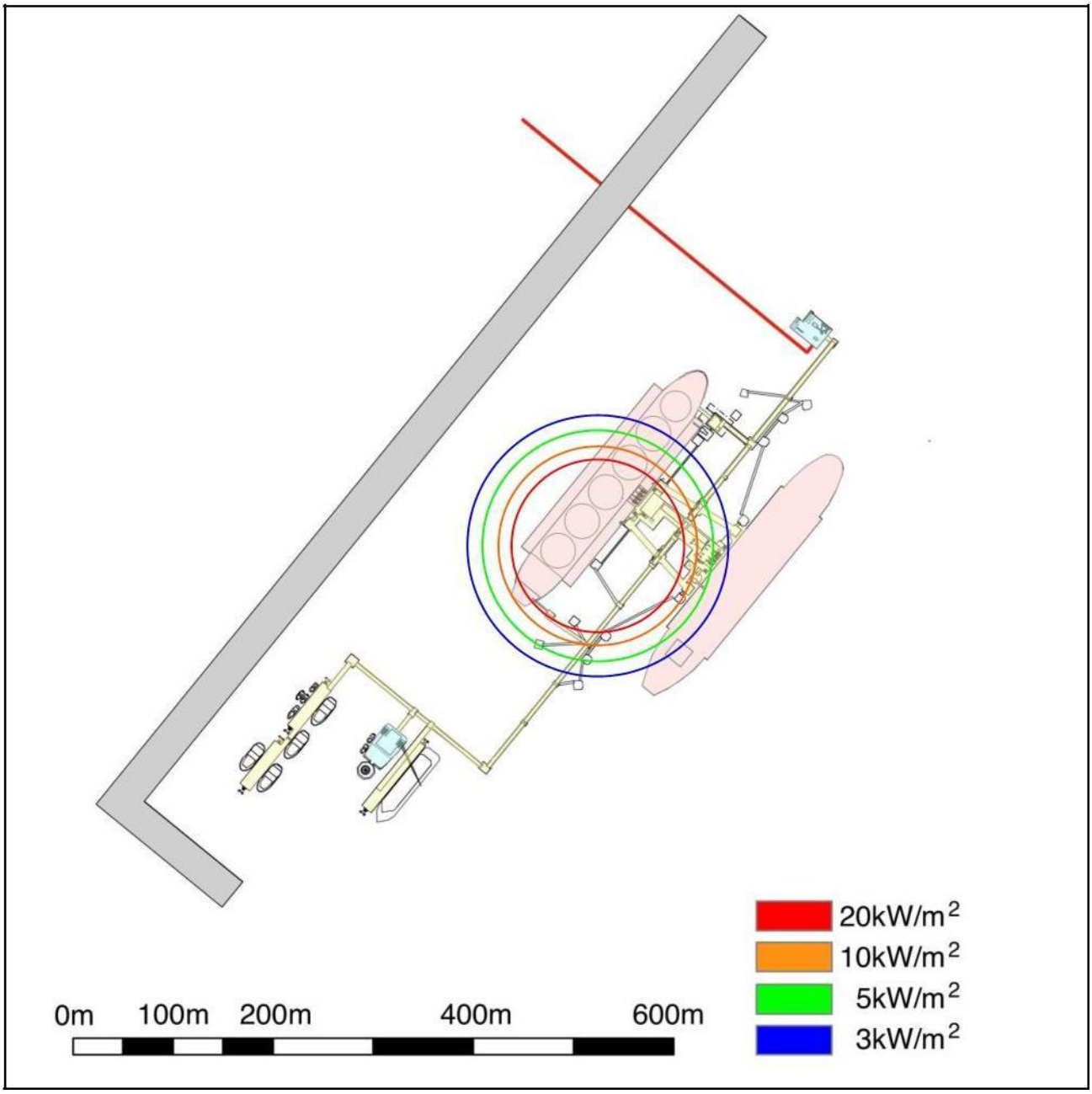


Figure 5-32 MAE N-11 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera probablement un feu de nappe liquide pour le MAE N-11, en particulier, si la fuite est dirigée vers le bas et la cinétique supprimée. La taille d'une nappe sur le pont du FLNG est limitée à une nappe ou à 50 m sur 50 m. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-33 et au Tableau 5-45.

Tableau 5-45 MAE N-11 Résultats d'incendie de nappe liquide de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	97	172
	5	78	134
	10	43	61
	20	31	41
5/D	3.	98	169
	5	81	132
	10	48	64
	20	39	45

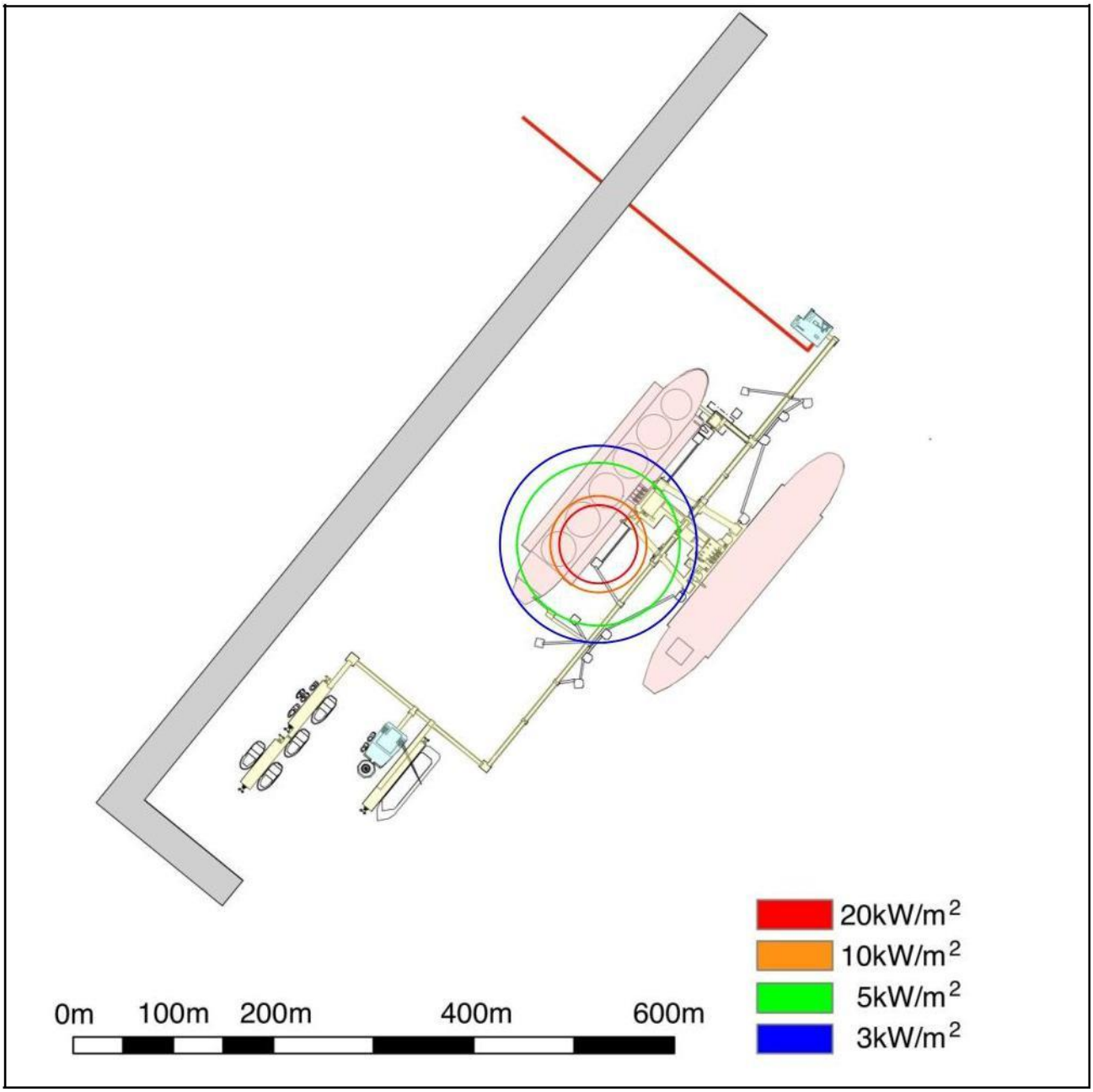


Figure 5-33 MAE N-11 Courbes de rayonnement d'incendie de nappe suite à défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un feu de nappe liquide pour le MAE N-11. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-34 et au Tableau 5-46.

Tableau 5-46 MAE N-11 Résultats de feu de nappe suite à un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximal (m)	Vent de travers étendue maximal (m)
2/D	3.	294	544
	5	237	425
	10	176	299
	20	127	201
5/D	3.	300	536
	5	245	422
	10	187	302
	20	143	209

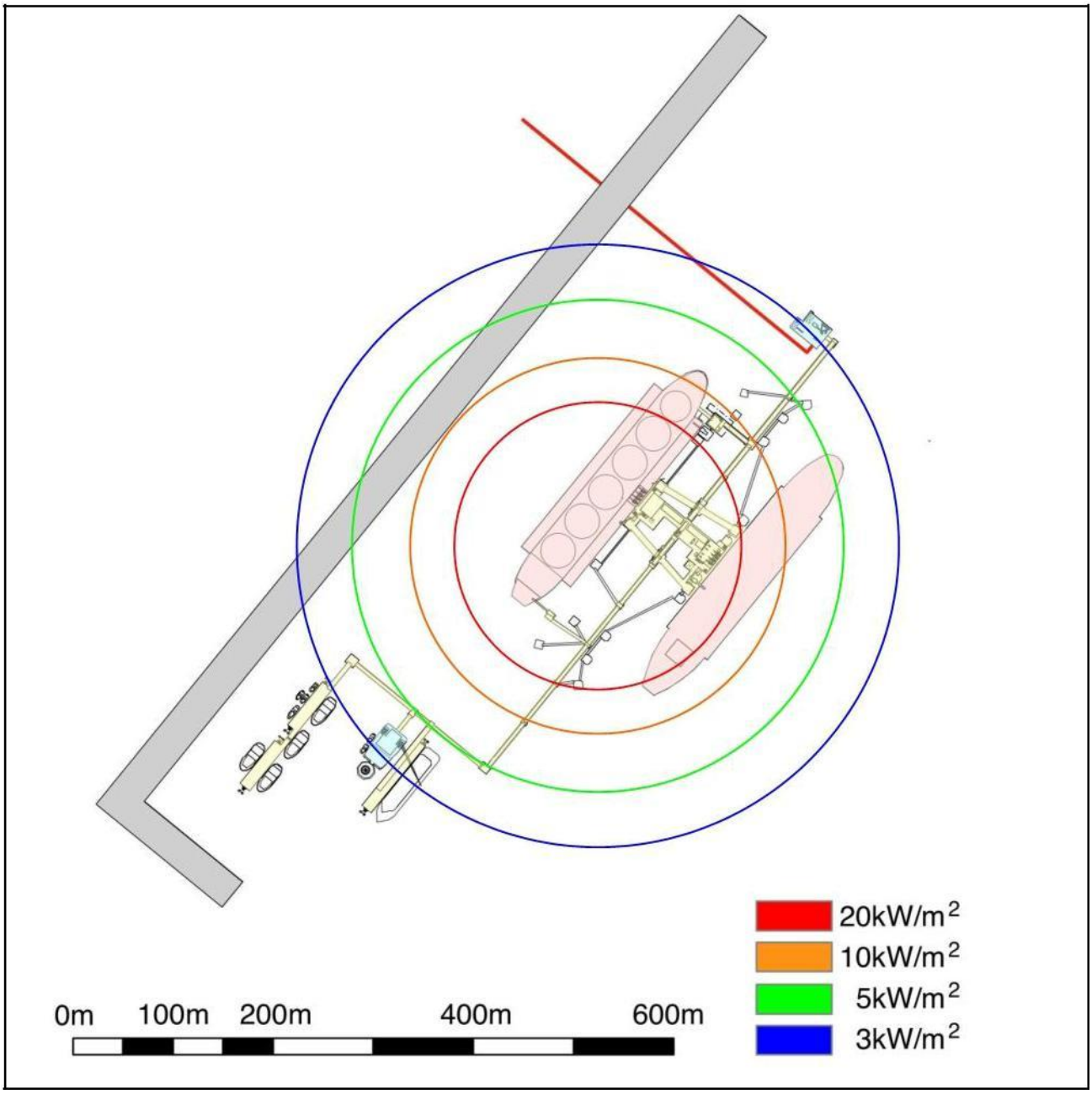


Figure 5-34 MAE N-11 Courbes de rayonnement de feu de nappe suite à un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.11.3. Résultats du feu de type Flash

L'inflammation retardée des vapeurs inflammables libérées dans une zone ouverte ou non congestionnée entraînera un feu de type flash pour le MAE N-11. Les distances aux LFL 100 % sont présentées dans le Tableau 5-47 et le Tableau 5-48 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable). Les courbes de niveau aux LFL 100 % sont présentées dans le Tableau 5-35 et le Tableau 5-36 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable).

Tableau 5-47 MAE N-11 Résultats de portée de feu de type flash LFL 100 %, défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	101
5/D	99

Tableau 5-48 MAE N-11 Résultats de portée de feu de type flash LFL 100 % pour un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	160
5/D	115

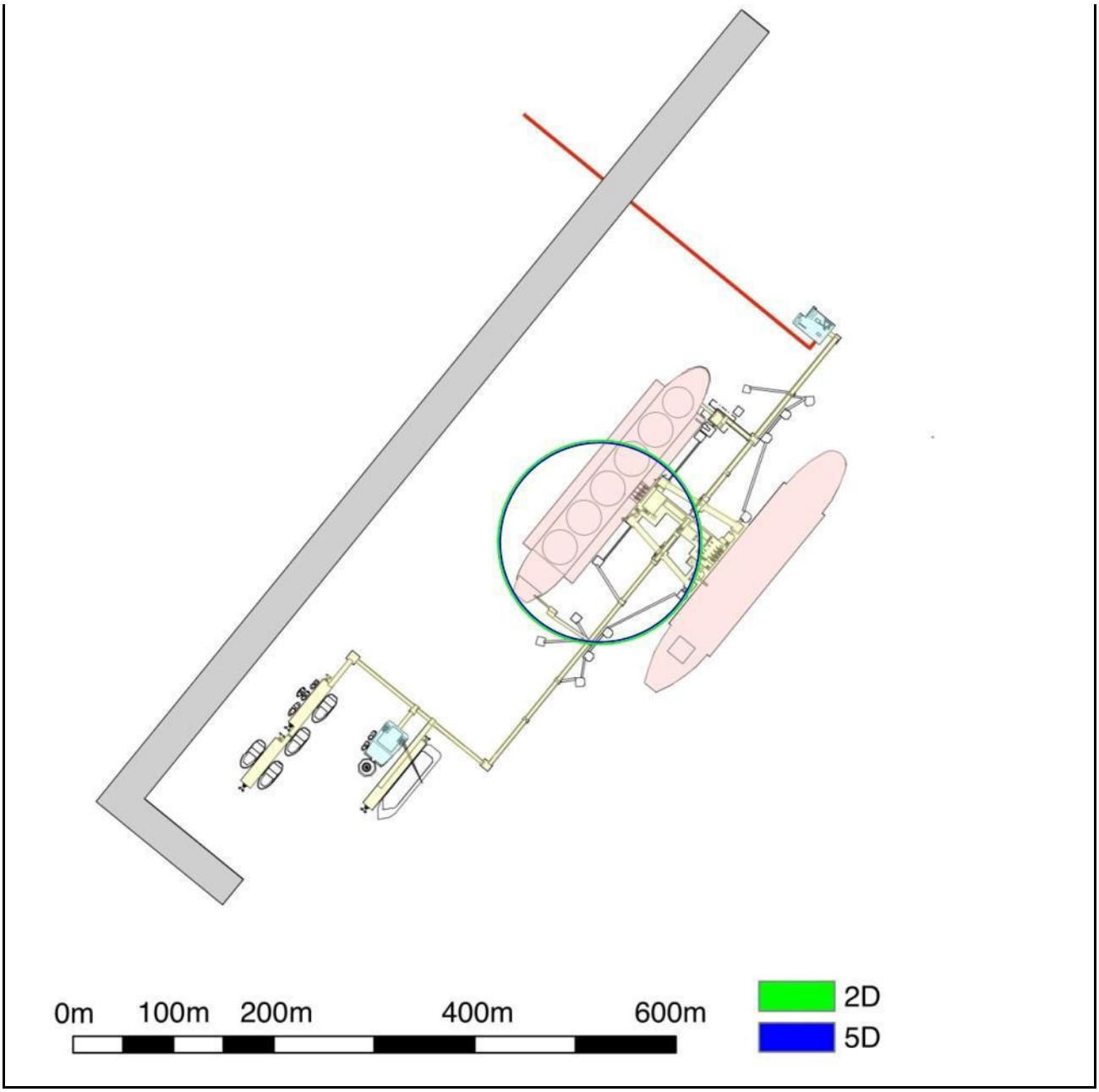


Figure 5-35 MAE N-11 Portée de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts de 50 mm (échelle en mètres)

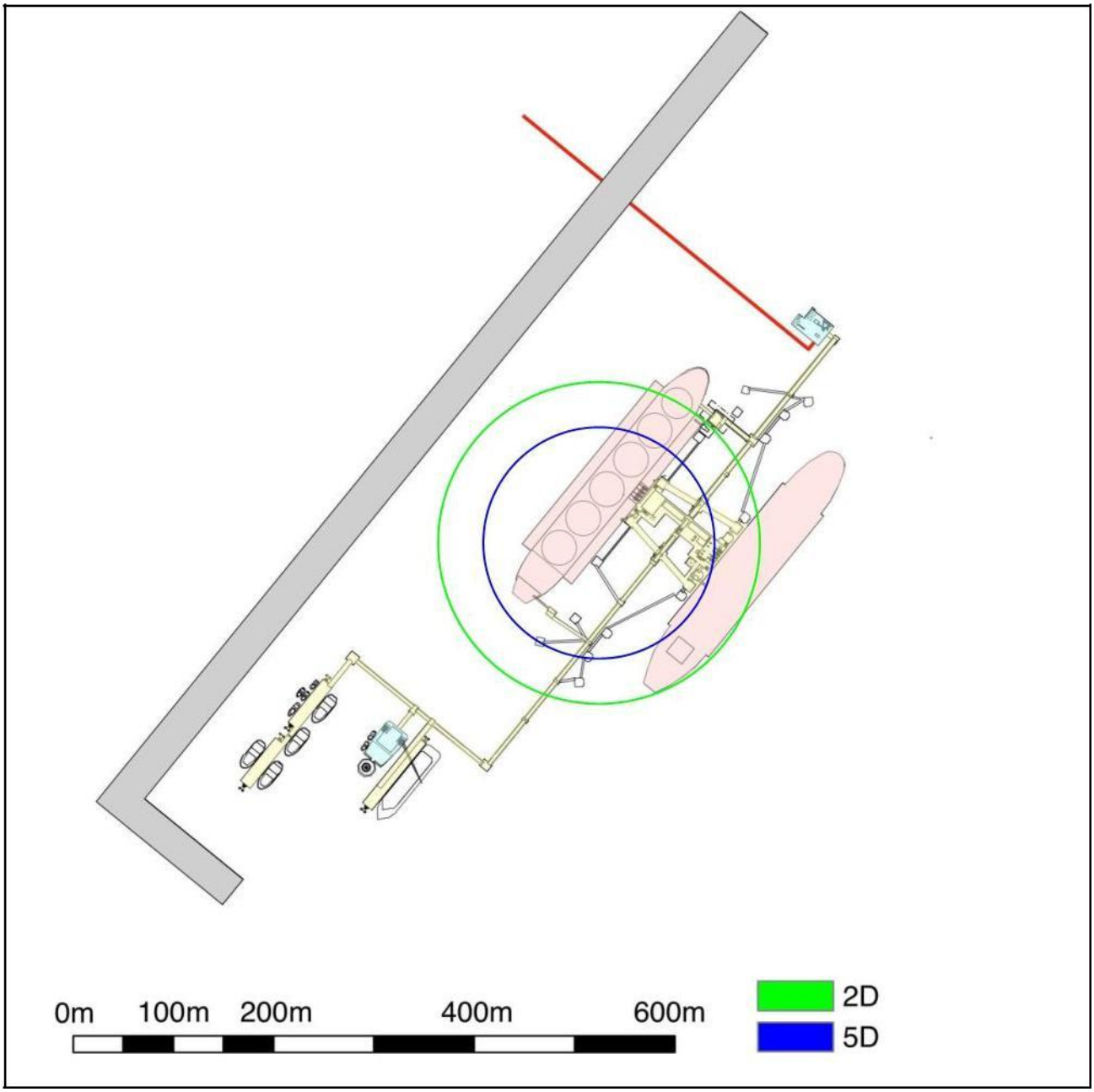


Figure 5-36 MAE N-11 Portée de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts catastrophiques (échelle en mètres)

5.11.4. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de vapeurs inflammables dispersées dans une zone encombrée (flotteur bâbord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-11 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement la zone encombrée. La courbe de niveau et les surpressions associées à cette explosion sont illustrées à la Figure 5-37 et au Tableau 5-49.

Tableau 5-49 Résultats d'explosion MAE N-11

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale m
0,02	1013
0,05	443
0,14	189
0,35	103

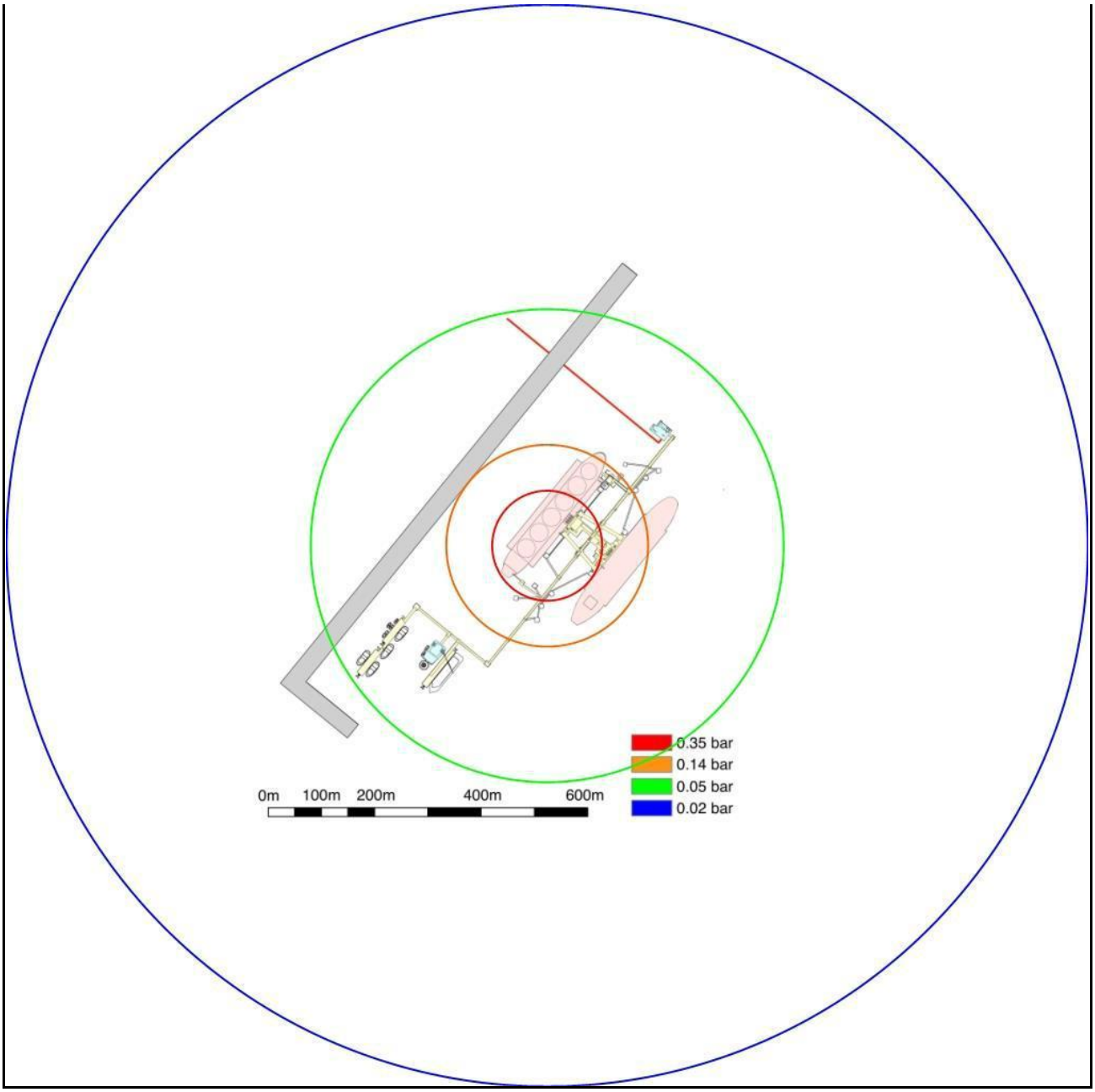


Figure 5-37 MAE N-11 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.11.5. Résultats de déversements cryogéniques

L'étendue de la nappe cryogénique a été déterminée pour une fuite représentative et crédible la plus défavorable associée au MAE N-11. Pour un défaut représentatif (50 mm), la nappe s'étend d'un rayon de 18 m alors que pour un défaut de cuve catastrophique, la nappe s'étend de 28 m, ce qui représente environ la moitié du pont du FLNG. Nous considérons que l'épanchement de la nappe sera limité en raison des hiloires et d'autres restrictions, ou tout déversement par-dessus bord sera également évité.

Tableau 5-50 MAE N-11 Résultats du déversement cryogénique

Scénario de fuite	Rayon de nappe m
Défaut représentatif (50 mm)	18
Défaut catastrophique (le pire cas crédible)	28

5.12. MAE N-12 : BLEVE au niveau d'une cuve de réfrigérant du FLNG

5.12.1. Description d'évènement

Ce MAE est une BLEVE (explosion de vapeurs en expansion générée par un liquide en ébullition) d'une des cuves de préparation / stockage de réfrigérant - éthylène, propane ou i-pentane.

La modélisation de ce MAE a été effectuée pour les cuves d'éthylène et de propane à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-51, qui sont extraites de l'étude MAR (Annexe B.1.1) – La BLEVE de cuve d'i-pentane est considérée comme moins probable due fait d'une pression de stockage inférieure (proche de la pression atmosphérique).

Tableau 5-51 MAE N-12 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée	Entrée
Inventaire MAR	Préparation d'éthylène	Préparation de propane
Unité de traitement	Train de GNL	Train de GNL
Matériel supposé	Éthylène	Propane
Pression (bar)	3.	9
Température (°C)	-83	25
Phase	liquides	Liquides
Inventaire (kg)	11 400	25 500

5.12.2. Résultats de la BLEVE

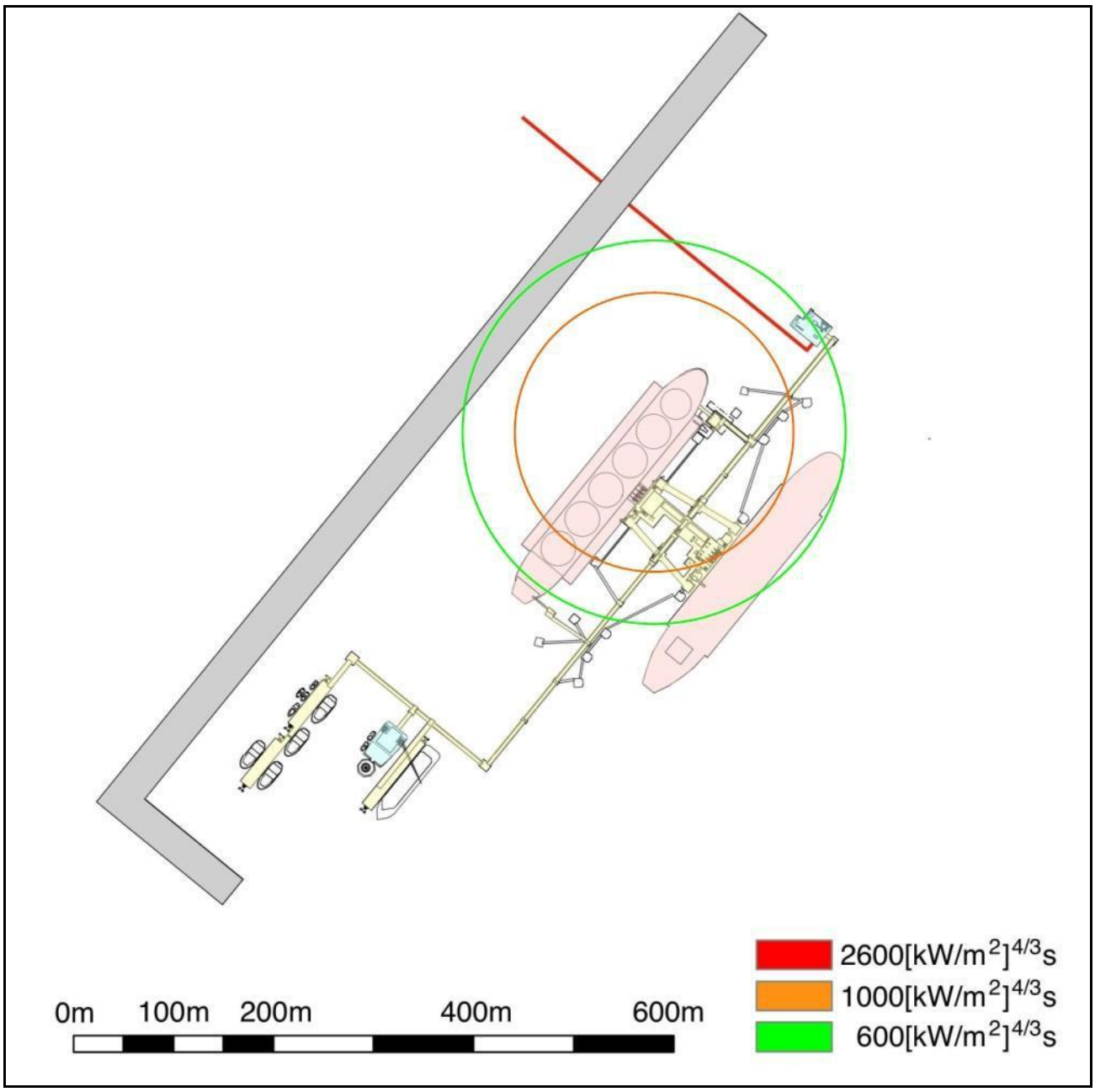
Une BLEVE peut survenir pour le MAE-12 en raison du contact du feu sur la cuve de réfrigérant et du réchauffement de l'éthylène ou du propane liquide. Une boule de feu fera suite à l'explosion - la courbe de niveau et les plages de risques pour la dose thermique due à la boule de feu sont illustrées dans la Figure 5-38 et le Tableau 5-52, pour la cuve d'éthylène et dans la Figure 5-39 et le Tableau 5-53 pour la cuve de propane.

Tableau 5-52 MAE N-12 Résultats de la boule de feu pour la BLEVE de cuve d'éthylène

Rayon de BLEVE (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
74	600	191
	1000	139
	2600	Non atteint

Tableau 5-53 MAE N-12 Résultats de boule de feu pour la BLEVE de cuve de propane

Rayon de BLEVE (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
87	600	243
	1000	181
	2600	49



REMARQUE : Le niveau de dose thermique plus élevé n'a pas été atteint.

Figure 5-38 MAE N-12 Courbe de niveau de boule de feu pour la BLEVE de cuve d'éthylène (échelle en mètres)

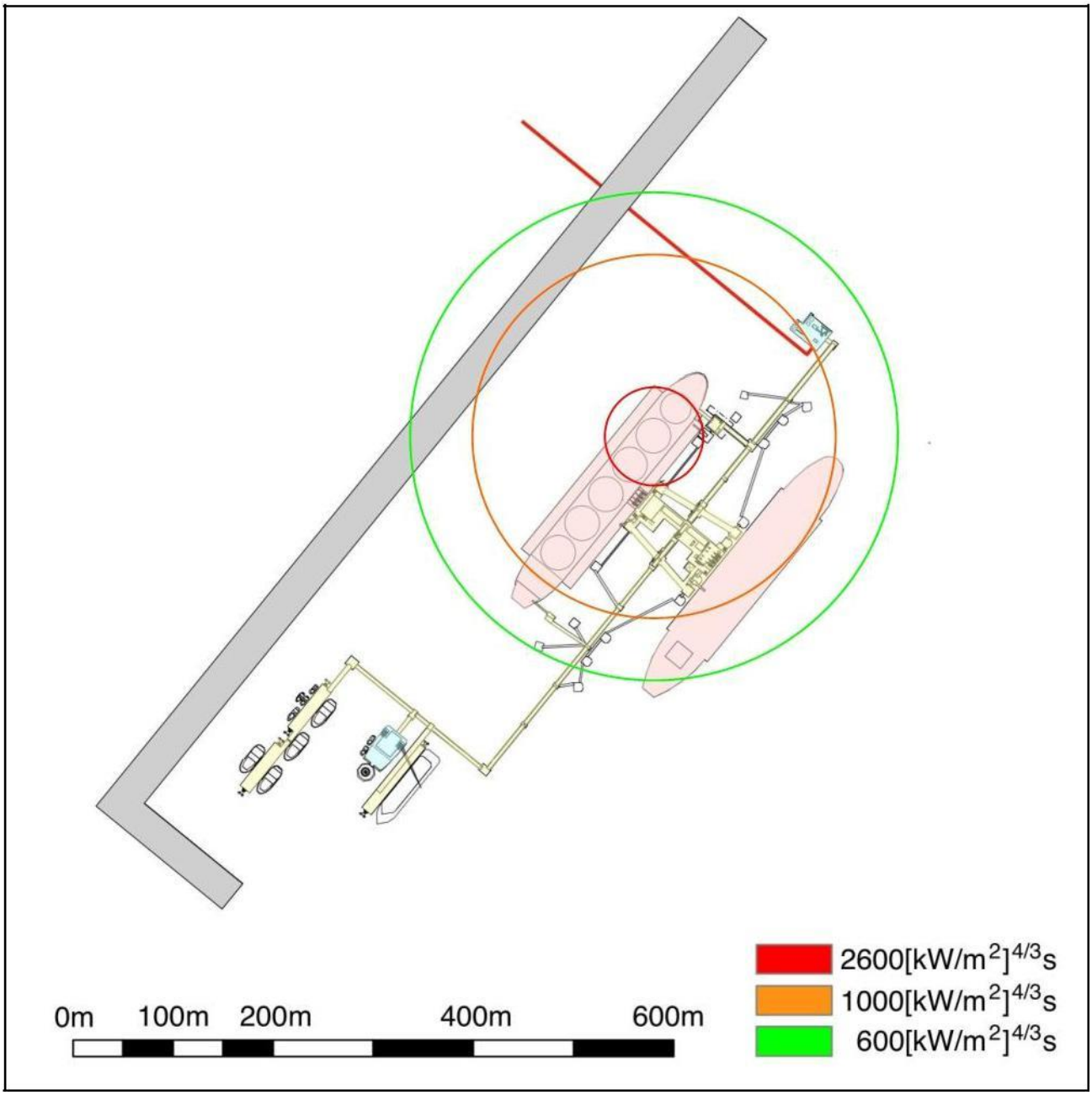


Figure 5-39 MAE N-12 Courbe de niveau de boule de feu pour la BLEVE de cuve de propane (échelle en mètres)

5.13. MAE N-13 : Fuite de gaz provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR (mélange unique de réfrigérants) du FLNG

5.13.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une fuite de gaz inflammable de la boucle de réfrigérant - un mélange d'éthylène, de propane et d'i-pentane. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Échangeur de liquéfaction principal (atmosphère intérieure)
- Ballon d'aspiration
- Compresseur de réfrigérant mélangé de stade 1
- Ballon inter-étage

La modélisation des incendies et des explosions pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-54 - le propane a été utilisé comme représentatif du réfrigérant.

Tableau 5-54 MAE N-13 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	-
Unité de traitement	Gaz d'évaporation
Matériel supposé	Propane
Pression (bar)	10,4
Température (°C)	45
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	1,75
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	5,4
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.13.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammé pour le MAE N-13. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-40 et au Tableau 5-55.

Tableau 5-55 MAE N-13 Résultats d'étendue de jet enflammé de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	44	61
	5	39	47
	10	34	33
	20	29	22
5/D	3.	43	61
	5	39	47
	10	35	32
	20	31	21

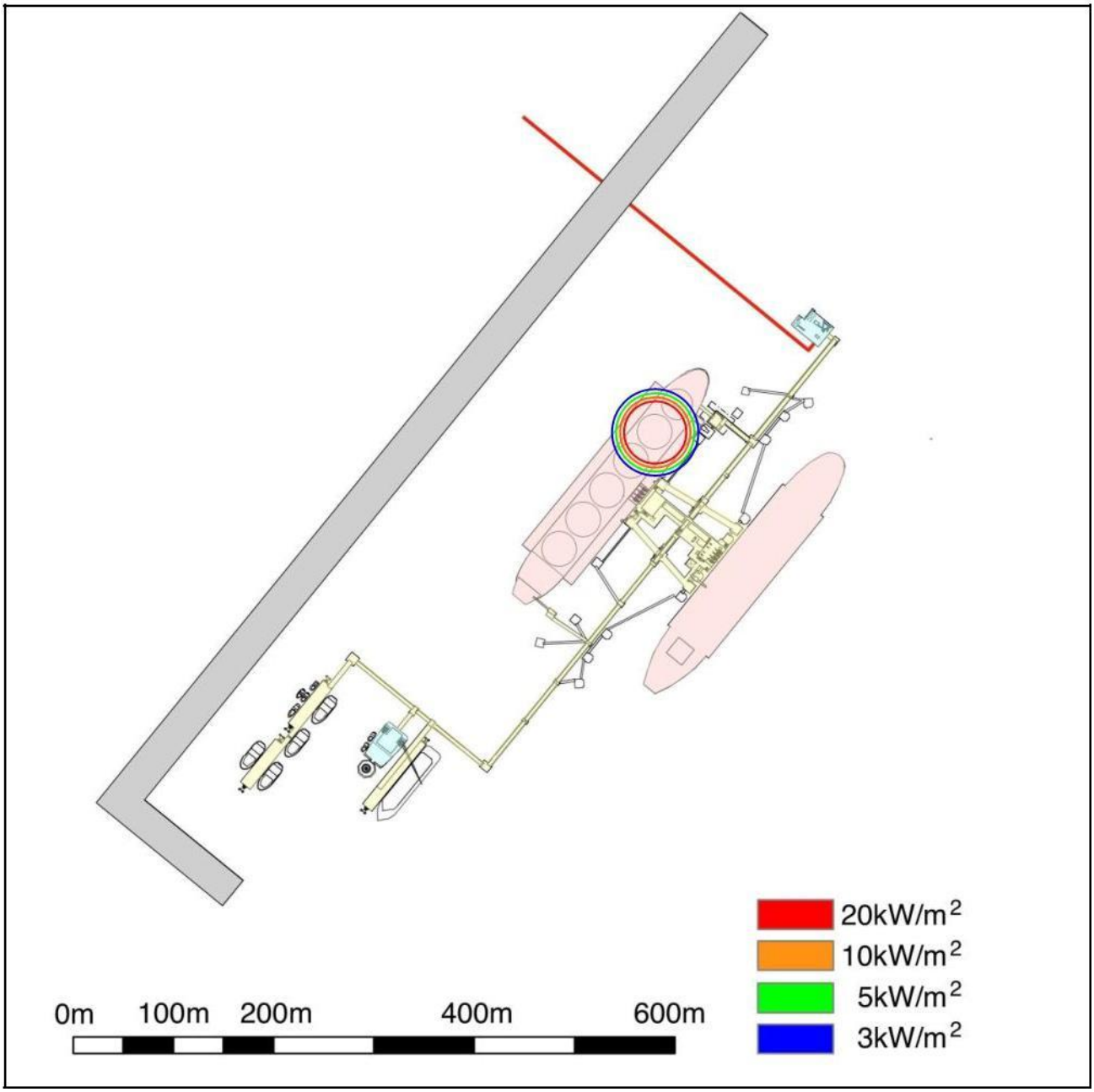
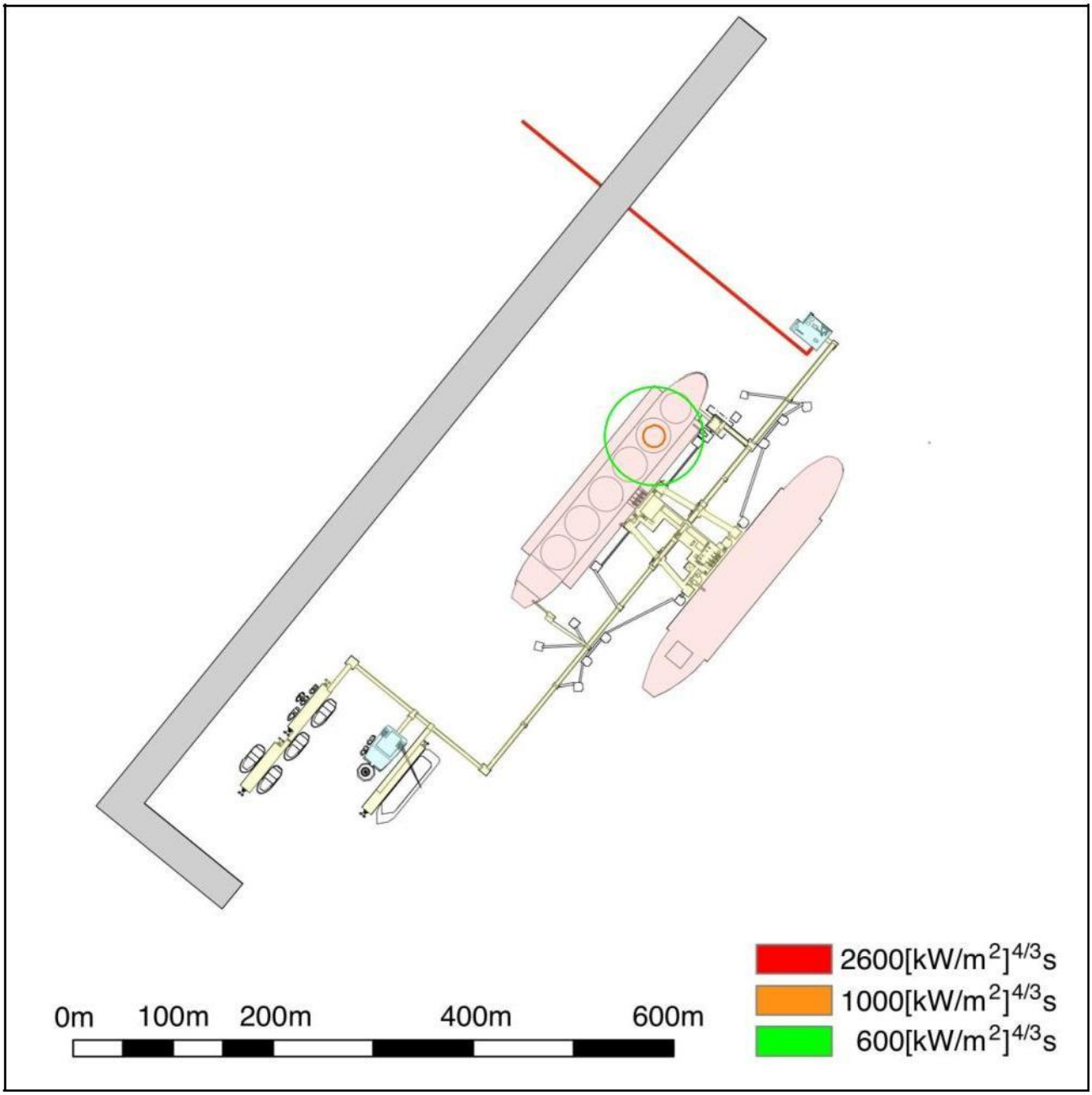


Figure 5-40 MAE N-13 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera une boule de feu pour le MAE N-13. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-41 et au Tableau 5-56.

Tableau 5-56 MAE N-13 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
37	600	49
	1000	11
	2600	Non atteint



REMARQUE : Les niveaux de dose thermique supérieurs n'ont pas été atteints.

Figure 5-41 MAE N-13 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.13.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone encombrée (flotteur bâbord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-13 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement la zone encombrée. La courbe de niveau et les risques de surpression associés à cette explosion sont illustrés à la Figure 5-42 et au Tableau 5-57{4} respectivement.

Tableau 5-57 MAE N-13 Résultats de l'explosion

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	1045
0,05	457
0,14	195
0,35	106

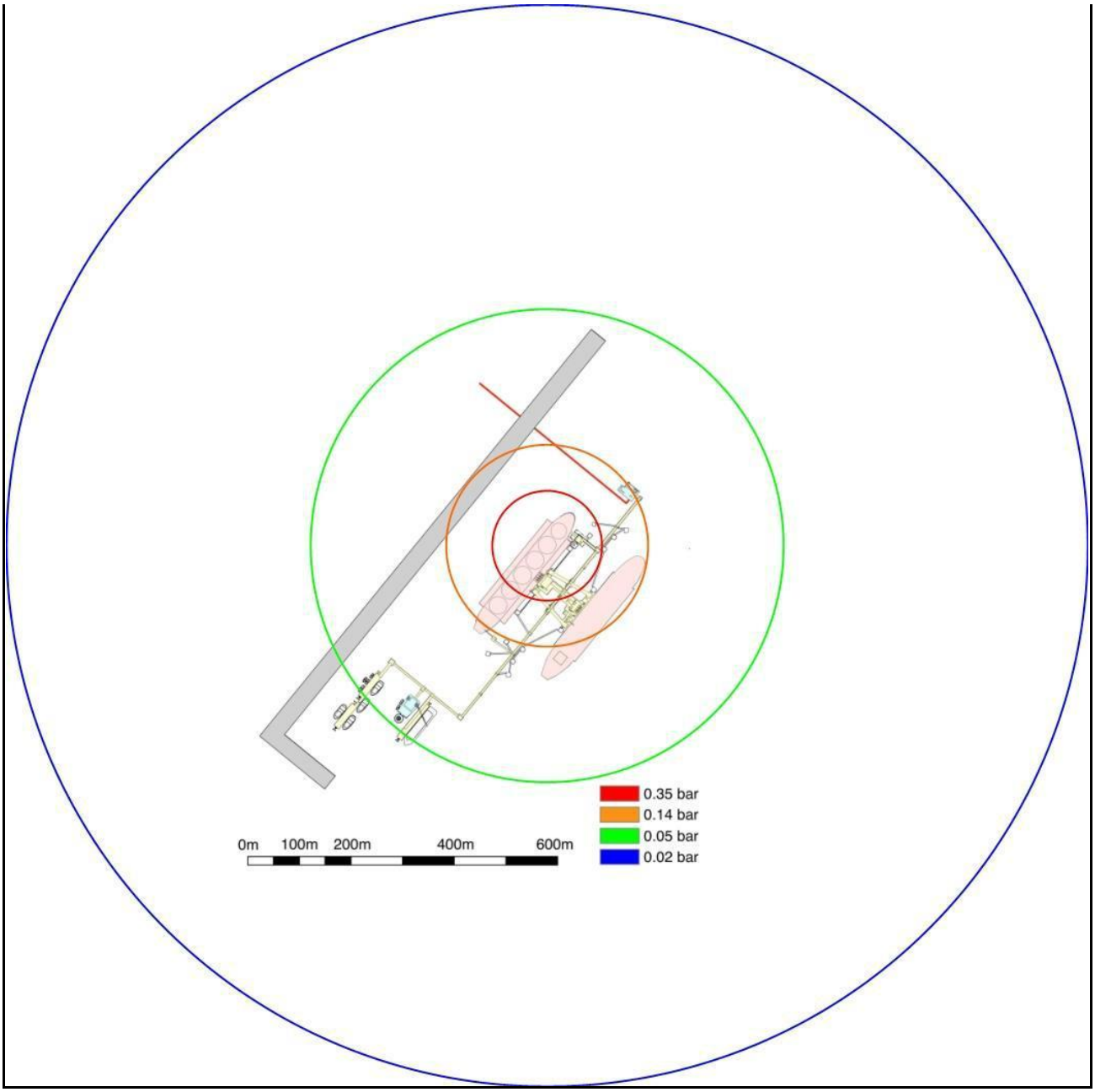


Figure 5-42 MAE N-13 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.14. MAE N-14 : Fuite liquide / à deux phases provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR du FLNG

5.14.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une fuite d'hydrocarbure liquide ou à deux phases de la boucle de réfrigérant - un mélange d'éthylène, de propane et d'i-pentane. La section comprend les principaux équipements suivants :

- Ballon inter-étage
- Compresseur de réfrigérant mélangé de stade 2
- Ballon de refoulement
- Échangeur de liquéfaction principal

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-58 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1]. Remarque : Le propane a été utilisé comme représentatif du réfrigérant.

Tableau 5-58 MAE N-14 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Préparation de propane
Unité de traitement	Train de GNL
Matériel supposé	Propane
Pression (bar)	40
Température (°C)	55
Phase	Hydrocarbure liquide/2 phases
Inventaire (kg)	15 624
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	75,3
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	1-5 min
Volume congestionné (m^3)	20,300

5.14.2. Résultats de l'incendie

Une fuite de réfrigérant liquide ou à 2 phases du MAE N-14 est susceptible de s'enflammer de manière instantanée suite à un défaut représentatif (50 mm) ou de former une pulvérisation de liquide. L'inflammation immédiate de cette fuite entraînera un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE N-14. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-4 et au Tableau 5-59.

Tableau 5-59 MAE N-14 Résultats d'étendue de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	177	259
	5	157	201
	10	136	146
	20	120	105
5/D	3.	163	261
	5	142	202
	10	120	143
	20	104	105

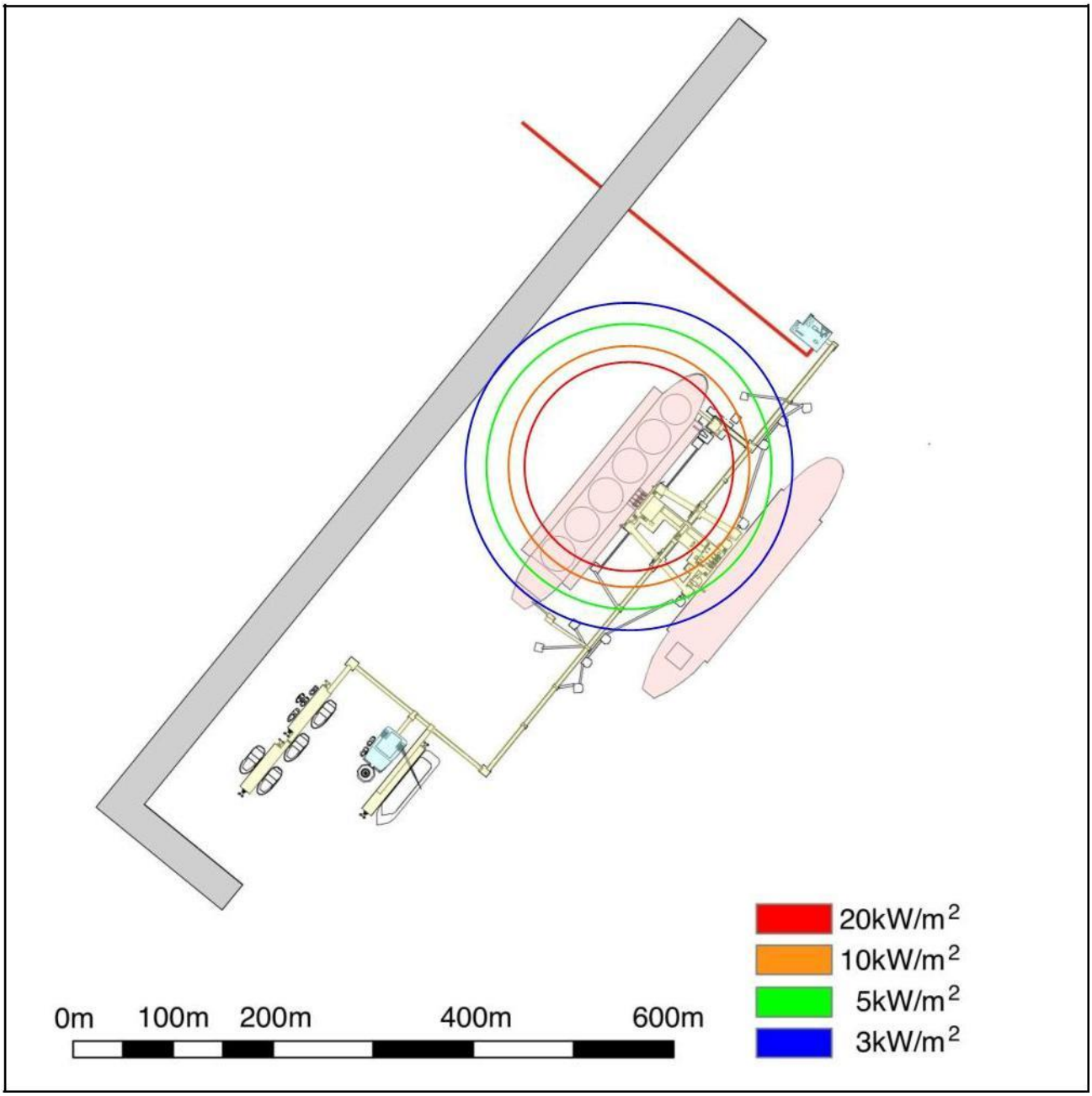


Figure 5-43 MAE N-14 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

Une fuite de réfrigérant mélangé provenant du MAE N-14 se vaporisera pour la plupart très probablement de manière instantanée suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) ou formera des gouttelettes de liquide en suspension dans l'air. L'inflammation suite à un défaut catastrophique pour le MAE N-14 est mieux représentée par une boule de feu. La courbe de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-44 et au Tableau 5-60.

Tableau 5-60 MAE N-14 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
75	600	217
	1000	163
	2600	56

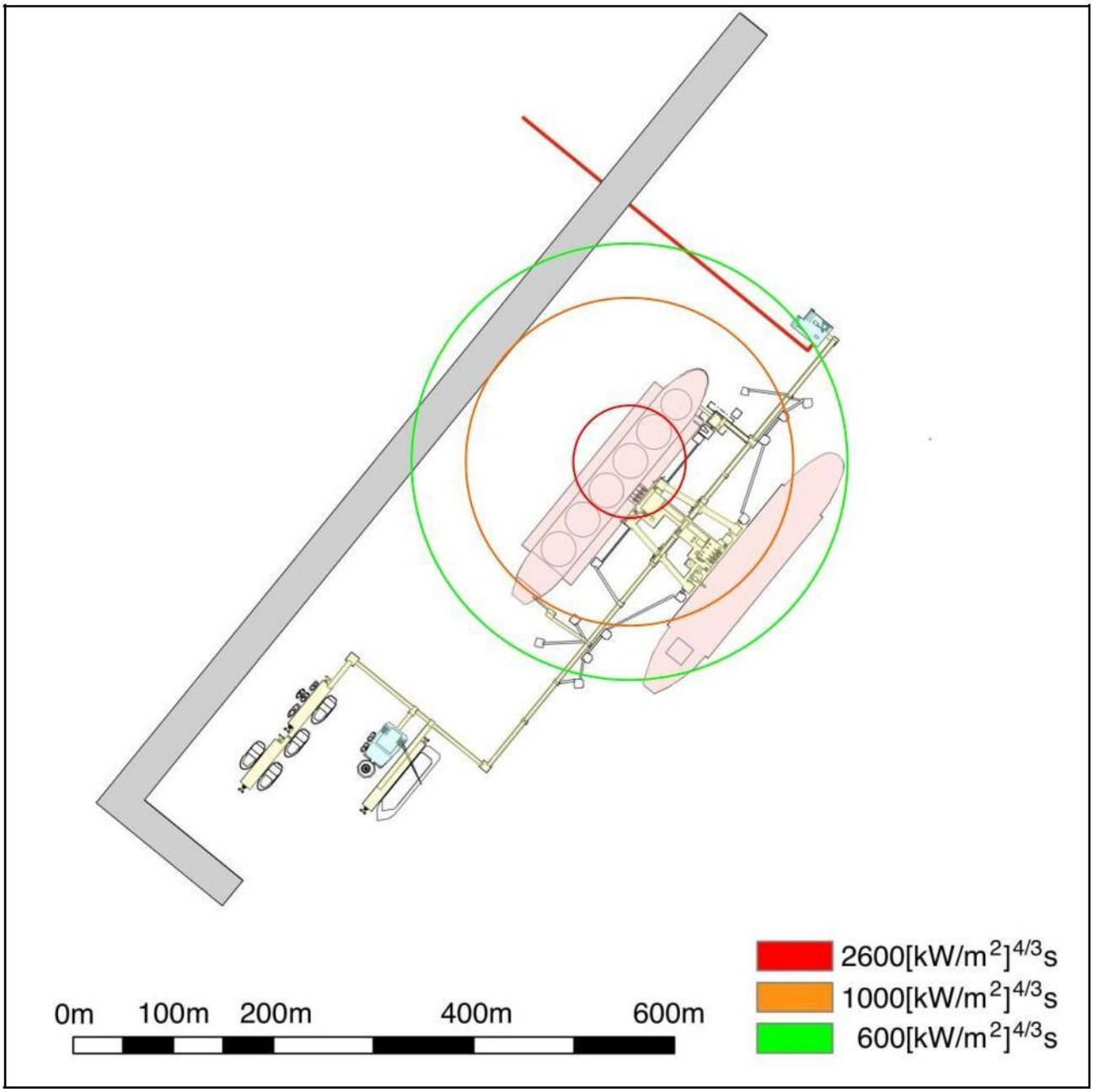


Figure 5-44 MAE N-14 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.14.3. Résultats du feu de type Flash

L'inflammation retardée de vapeur inflammable dispersée dans des zones non congestionnées entraînera des feux de type flash pour le MAE N-14. Les distances aux LFL (limites inférieures d'inflammabilité) 100 % sont présentées dans le Tableau 5-61 et le Tableau 5-62 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable). Les courbes de niveau aux LFL (limites inférieures d'inflammabilité) 100 % sont présentées dans le Tableau 5-45 et le Tableau 5-46 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable).

Tableau 5-61 MAE N-14 Résultats d'étendue de feu de type flash LFL 100 %, défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	282
5/D	158

Tableau 5-62 MAE N-14 Résultats d'étendue de boule de feux LFL 100 %, défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	543
5/D	280

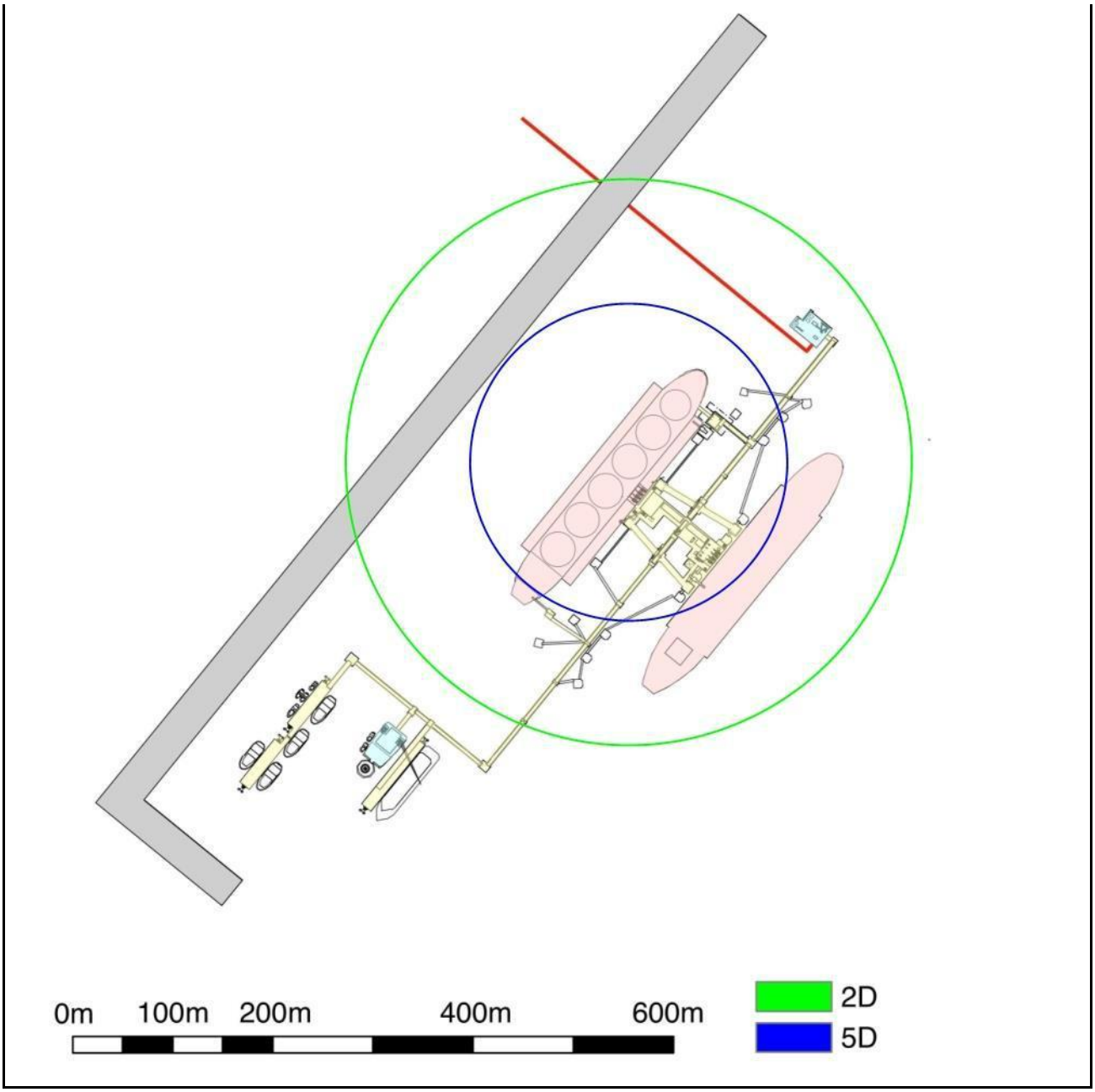


Figure 5-45 MAE N-14 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts de 50 mm (échelle en mètres)

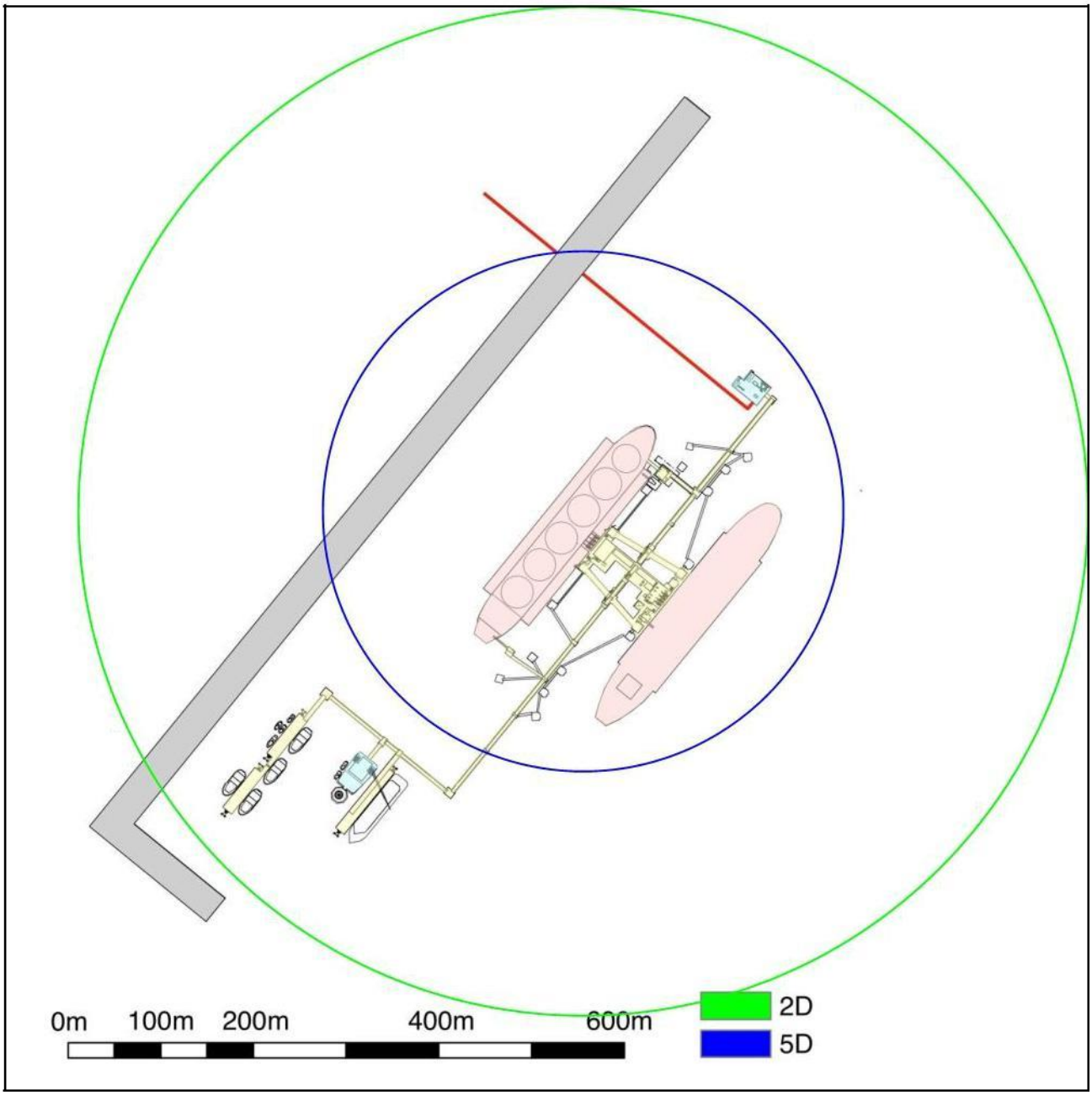


Figure 5-46 MAE N-14 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts catastrophiques (échelle en mètres)

5.14.4. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone congestionnée (flotteur bâbord) suite à la perte de confinement pour le MAE N-14 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable provenant du défaut représentatif (50 mm) et d'un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) remplira entièrement la zone congestionnée. La courbe de niveau et les risques de surpression sont illustrés à la Figure 5-47 et au Tableau 5-63.

Tableau 5-63 MAE N-14 Résultats de l'explosion

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	1045
0,05	457
0,14	195
0,35	106

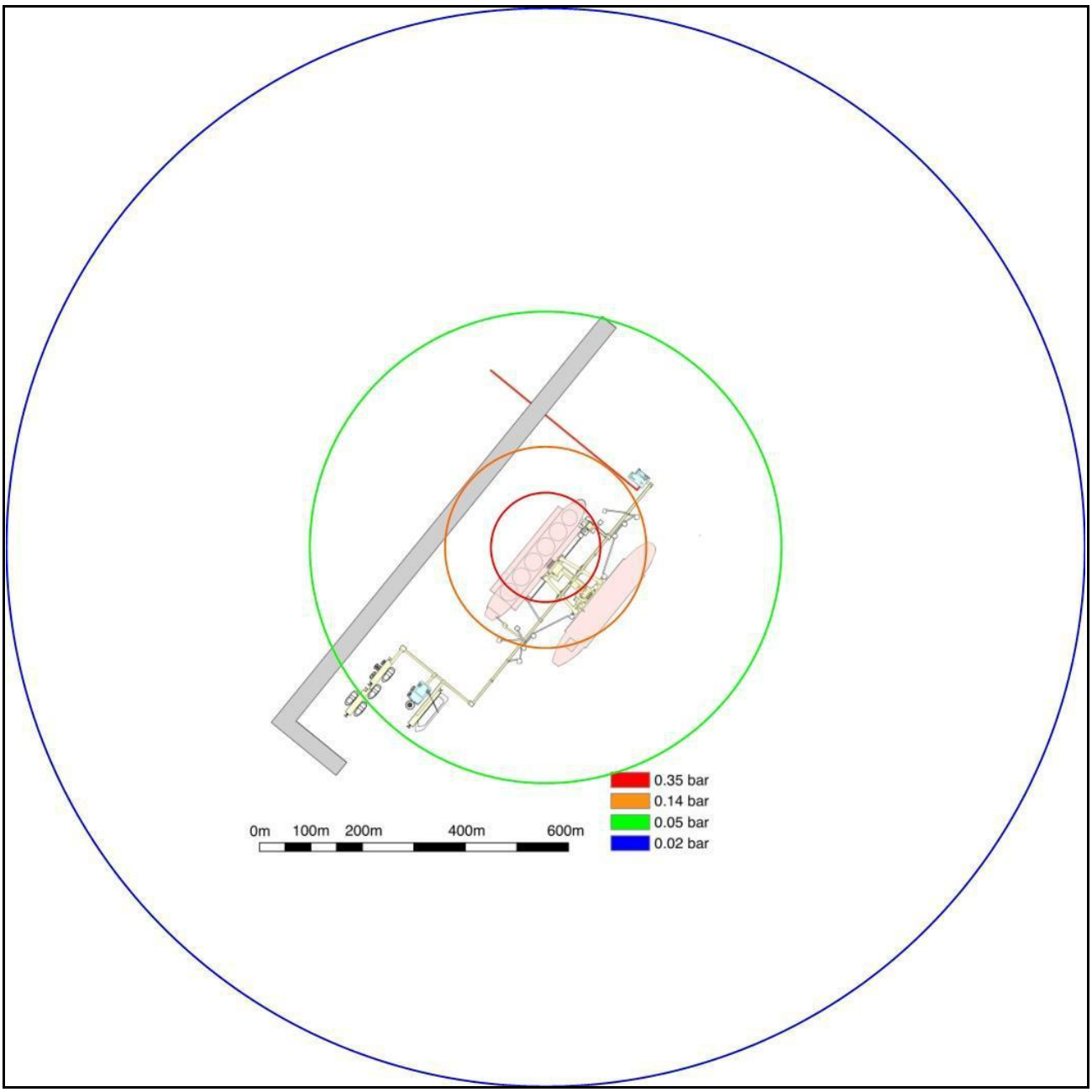


Figure 5-47 MAE N-14 Courbes de niveau d'explosion (échelle en mètres)

5.14.5. Résultats de déversements cryogéniques

L'étendue de nappe cryogénique a été déterminée pour une fuite représentative et crédible la plus défavorable associée au MAE N-14. Pour un défaut représentatif (50 mm), la nappe s'étend à un rayon de 20 m alors que pour un défaut de cuve catastrophique, elle s'étendra à 24 m.

La modélisation d'un déversement cryogénique a été effectuée à l'aide de propane, représentatif du SMR (mélange unique de réfrigérants). Il est à noter qu'une fuite de propane ne sera pas considérée comme une menace cryogénique, néanmoins, une fois mélangé à de l'éthylène à la suite du rejet, la température liquide peut chuter de manière significative, présentant un risque pour les structures, l'équipement et le personnel.

Tableau 5-64 MAE N-14 Résultats du déversement cryogénique

Scénario de fuite	Rayon de nappe m
Défaut représentatif (50 mm)	20
Défaut catastrophique (le pire cas crédible)	24

5.15. MAE N-15 : Fuite de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant du FLNG

5.15.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une perte de confinement d'une des trois cuves de stockage de réfrigérant - propane, éthylène et i-pentane.

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-65 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1]. L'analyse se base avant tout sur un défaut de la cuve de propane, puisqu'une perte de confinement de cette cuve est susceptible d'entraîner les dangers les plus élevés. Néanmoins, les calculs de surpression d'explosion sont également présentés pour une VCE (explosion de nuage de vapeur) d'éthylène due à la réactivité élevée de ce composé. La menace cryogénique du N-15 est évaluée en considérant une fuite d'éthylène - le danger cryogénique pour le propane et le pentane est écarté.

Tableau 5-65 MAE N-15 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée	Entrée
Inventaire MAR	Préparation de propane	Préparation d'éthylène
Unité de traitement	Train de GNL	Train de GNL
Matériel supposé	Propane	Éthylène
Pression (bar)	9	3
Température (°C)	25	-83
Phase	Liquides	Liquides
Inventaire (kg)	25 500	11 400
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	36,7	-
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min	-
Volume congestionné (m^3)	12,180	12,180

5.15.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE N-15. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-48 et au Tableau 5-66.

Tableau 5-66 MAE N-15 Résultats d'étendue de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	138	197
	5	122	153
	10	106	112
	20	94	80
5/D	3.	128	199
	5	111	153
	10	94	108
	20	81	80

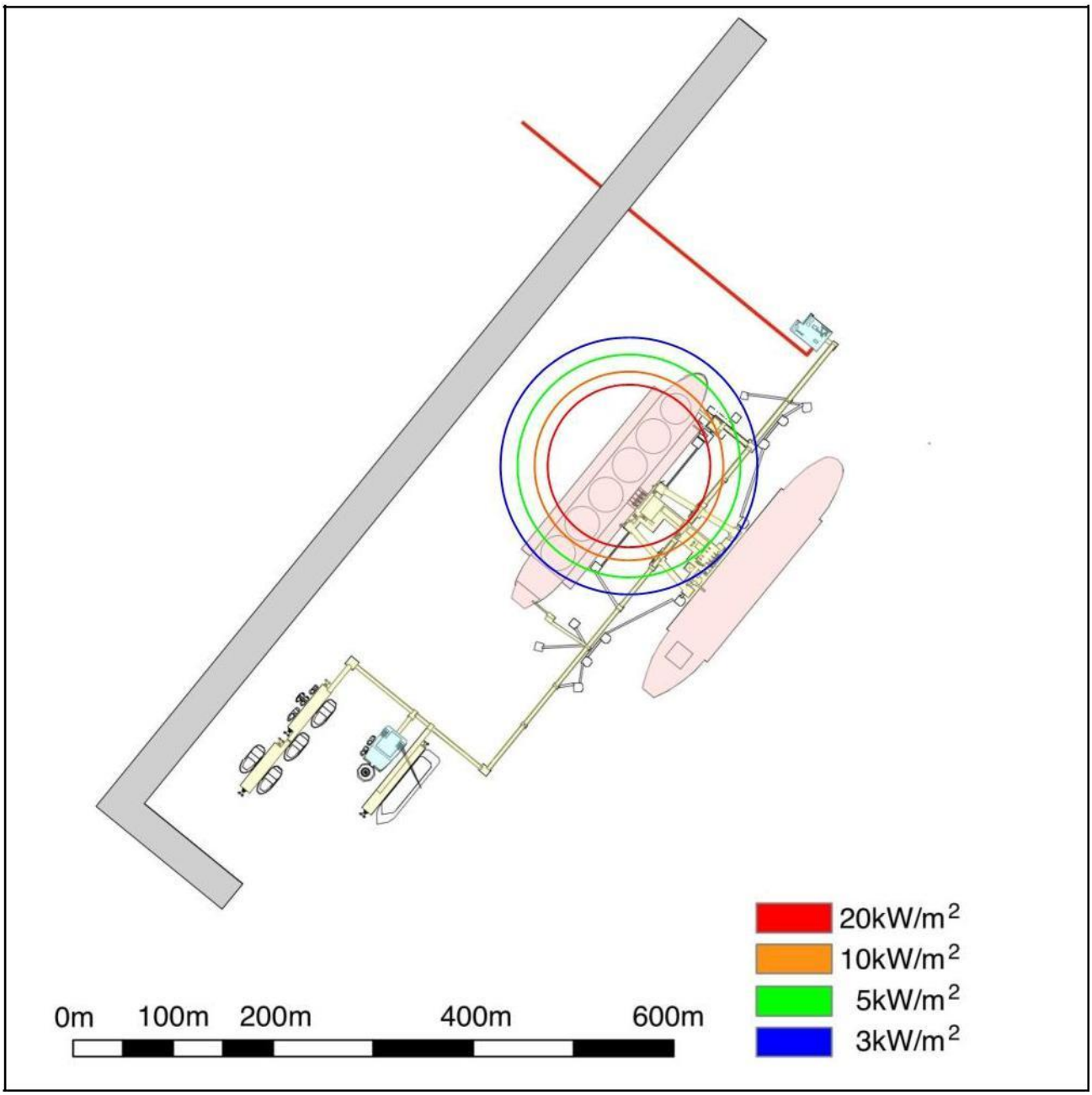


Figure 5-48 MAE N-15 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation suite à un défaut catastrophique pour le MAE N-15 est mieux représentée par une boule de feu. Les courbes de niveau d'explosion et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-49 et au Tableau 5-67.

Tableau 5-67 MAE N-15 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ([kW/m^2]$^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
75	600	281
	1000	205
	2600	10

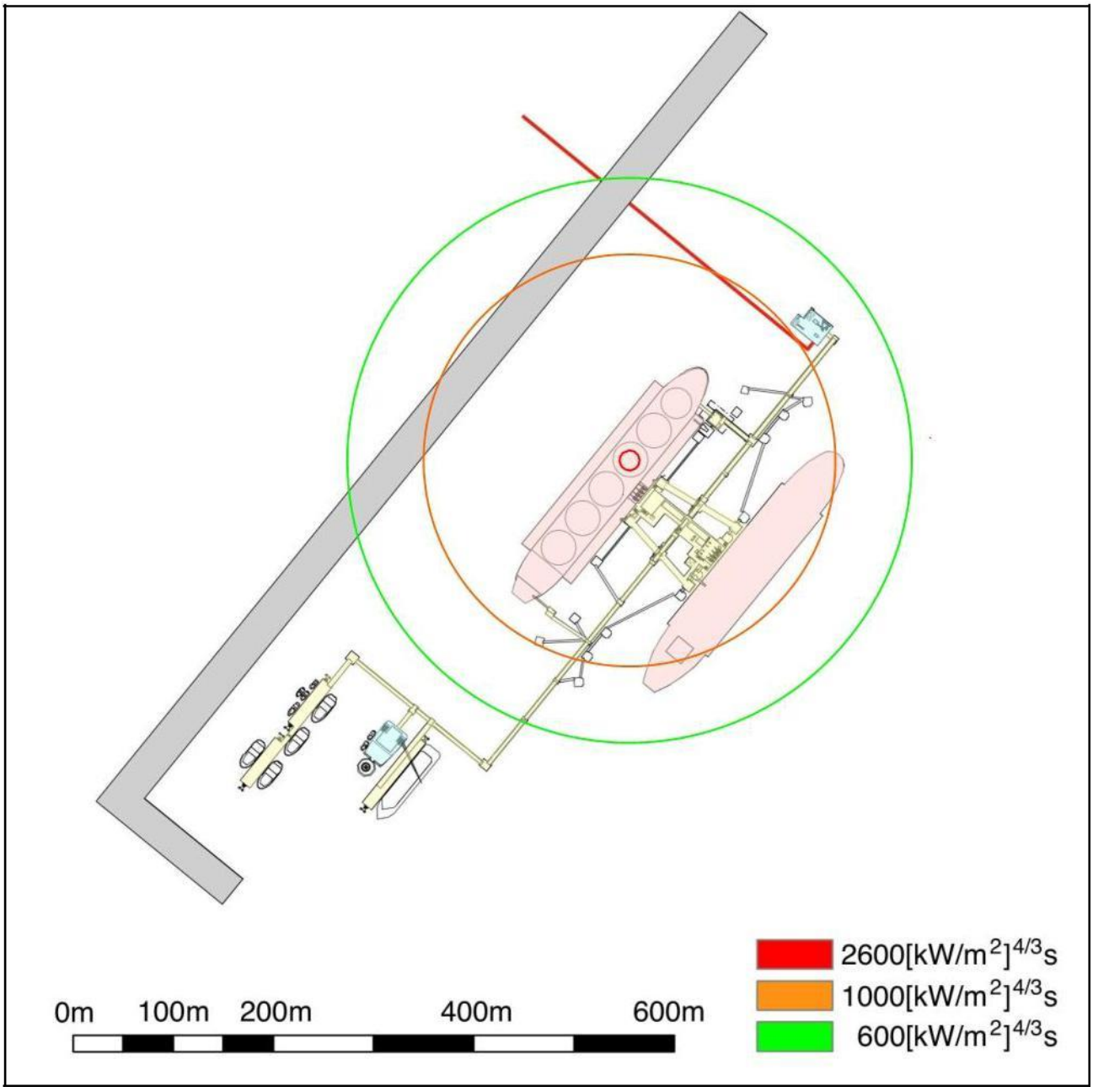


Figure 5-49 MAE N-15 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.15.3. Résultats du feu de type Flash

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans des zones non congestionnées suite à la perte de confinement pour le MAE N-15 entraînera des feux de type flash. Les distances aux LFL (limites inférieures d'inflammabilité) 100 % sont présentées dans le Tableau 5-68 et le Tableau 5-69 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le cas crédible le plus défavorable). Les courbes de niveau aux LFL (limites inférieures d'inflammabilité) 100 % sont présentées dans le Tableau 5-50 pour un défaut représentatif (50 mm) et le Tableau 5-51 pour un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable).

Tableau 5-68 MAE N-15 50mm LFL 100 % Résultats d'étendue de feu de type Flash (propane)

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	176
5/D	101

Tableau 5-69 MAE N-15 Résultats d'étendue de boule de feux LFL 100 %, défaut catastrophique (propane)

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	580
5/D	284

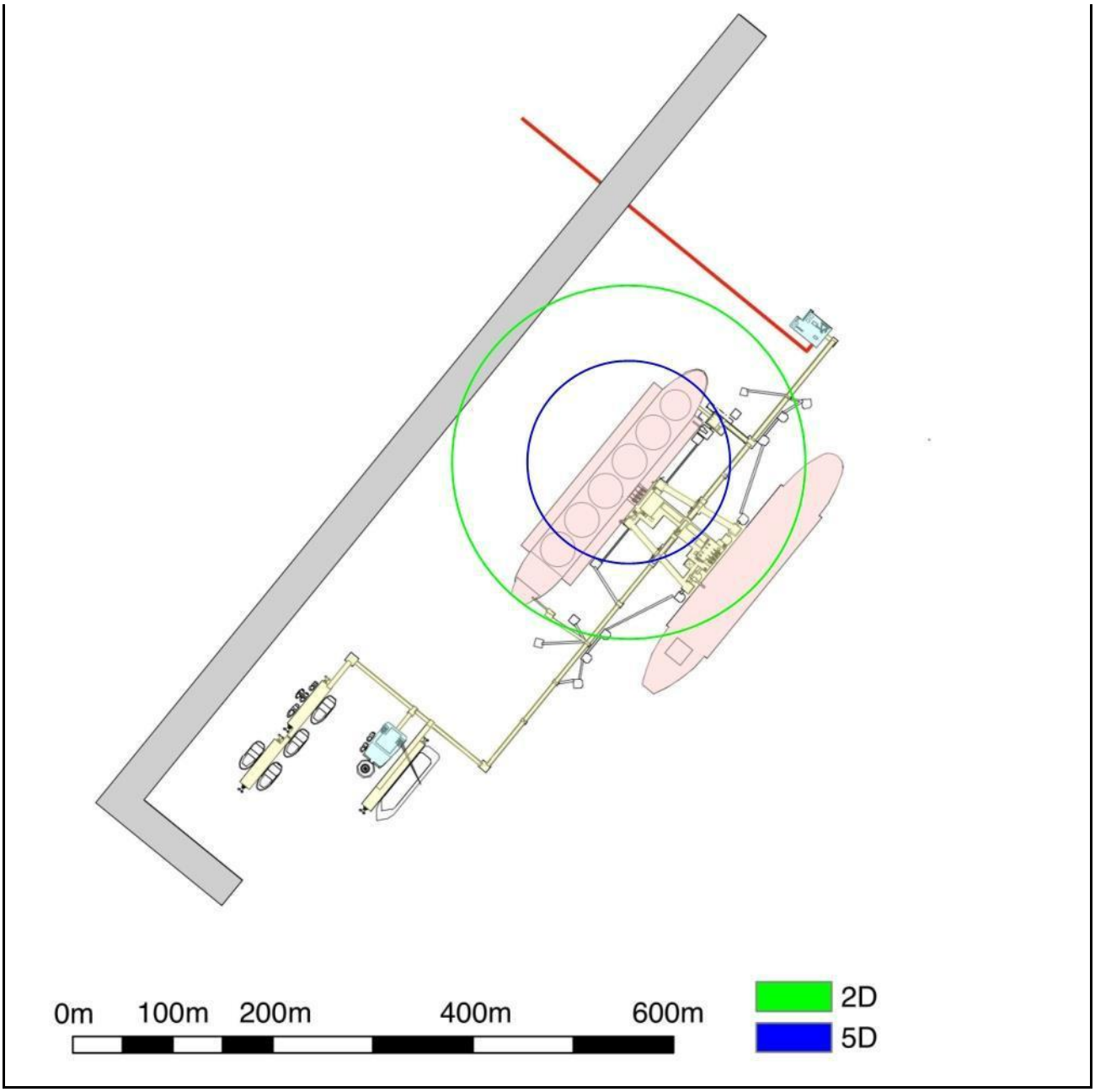


Figure 5-50 MAE N-15 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts de 50 mm (propane) (échelle en mètres)

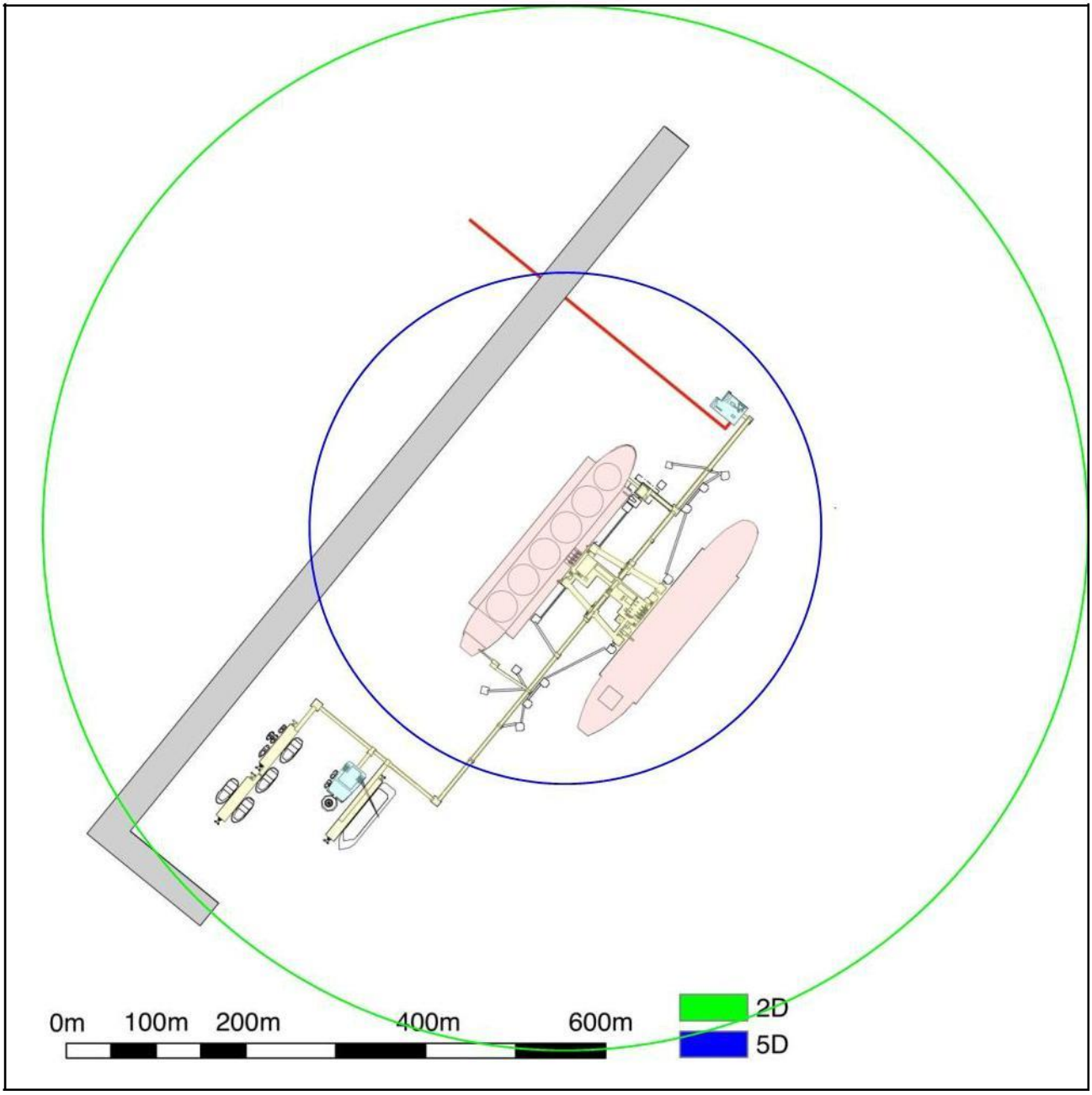


Figure 5-51 MAE N-15 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts catastrophiques (propane) (échelle en mètres)

5.15.4. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de vapeurs inflammables dispersées dans une zone congestionnée (flotteur bâbord) pour le MAE N-15 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Le gaz inflammable suite à un défaut représentatif (50 mm) et un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) est supposé atteindre la section inférieure du flotteur. La courbe de niveau et les risques de surpression sont illustrés à la Figure 5-52 et au Tableau 5-70 pour une explosion de propane et à la Figure 5-52 et au Tableau 5-70 pour une explosion d'éthylène.

Tableau 5-70 MAE N-15 Résultats de l'explosion (propane)

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	882
0,05	385
0,14	164
0,35	90

Tableau 5-71 MAE N-15 Résultats de l'explosion (éthylène)

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	893
0,05	390
0,14	166
0,35	91

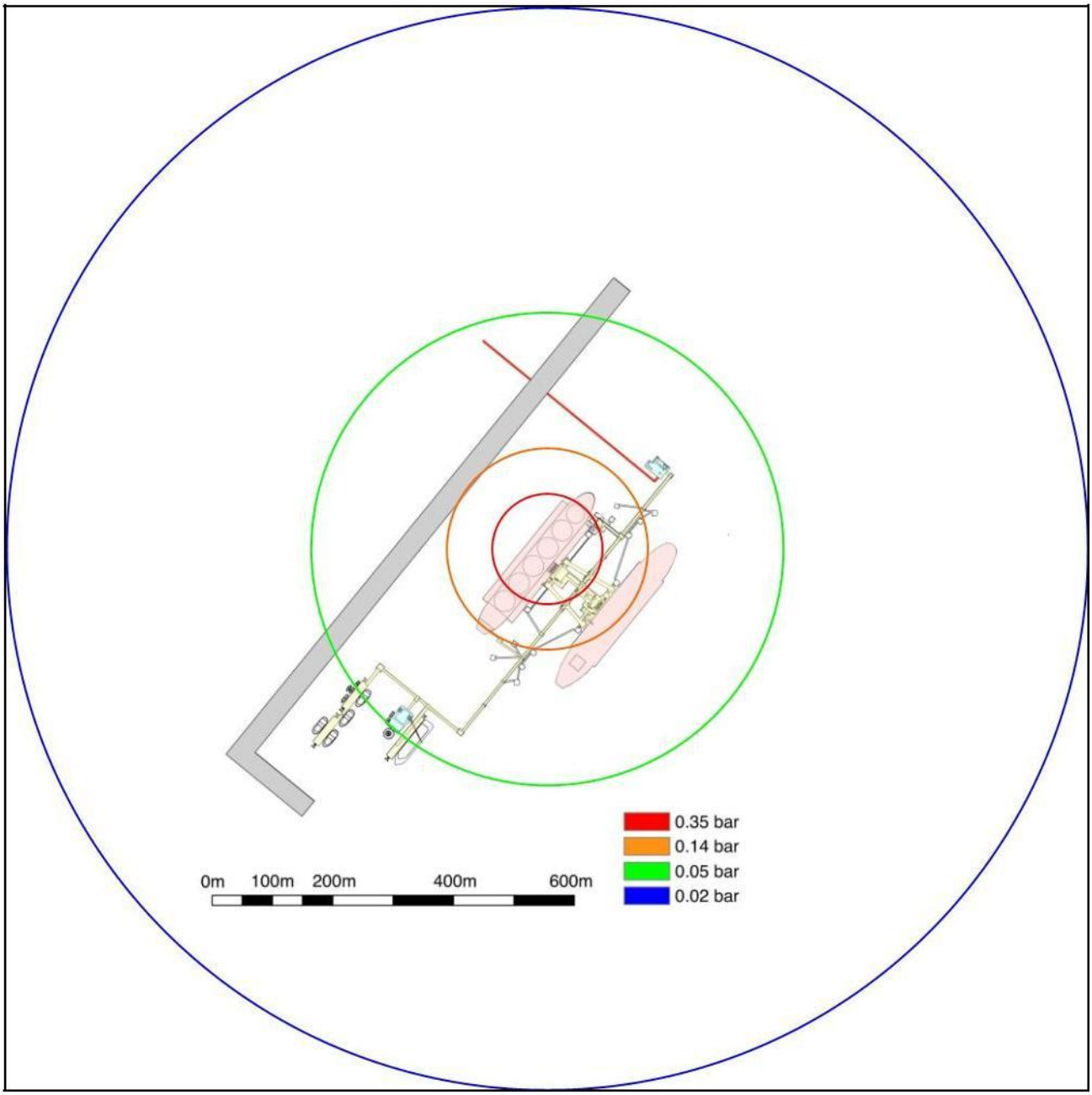


Figure 5-52 MAE N-15 : courbes de niveau d'explosion pour un remplissage 100 % du module de GNL (Propane) (échelle en mètres)

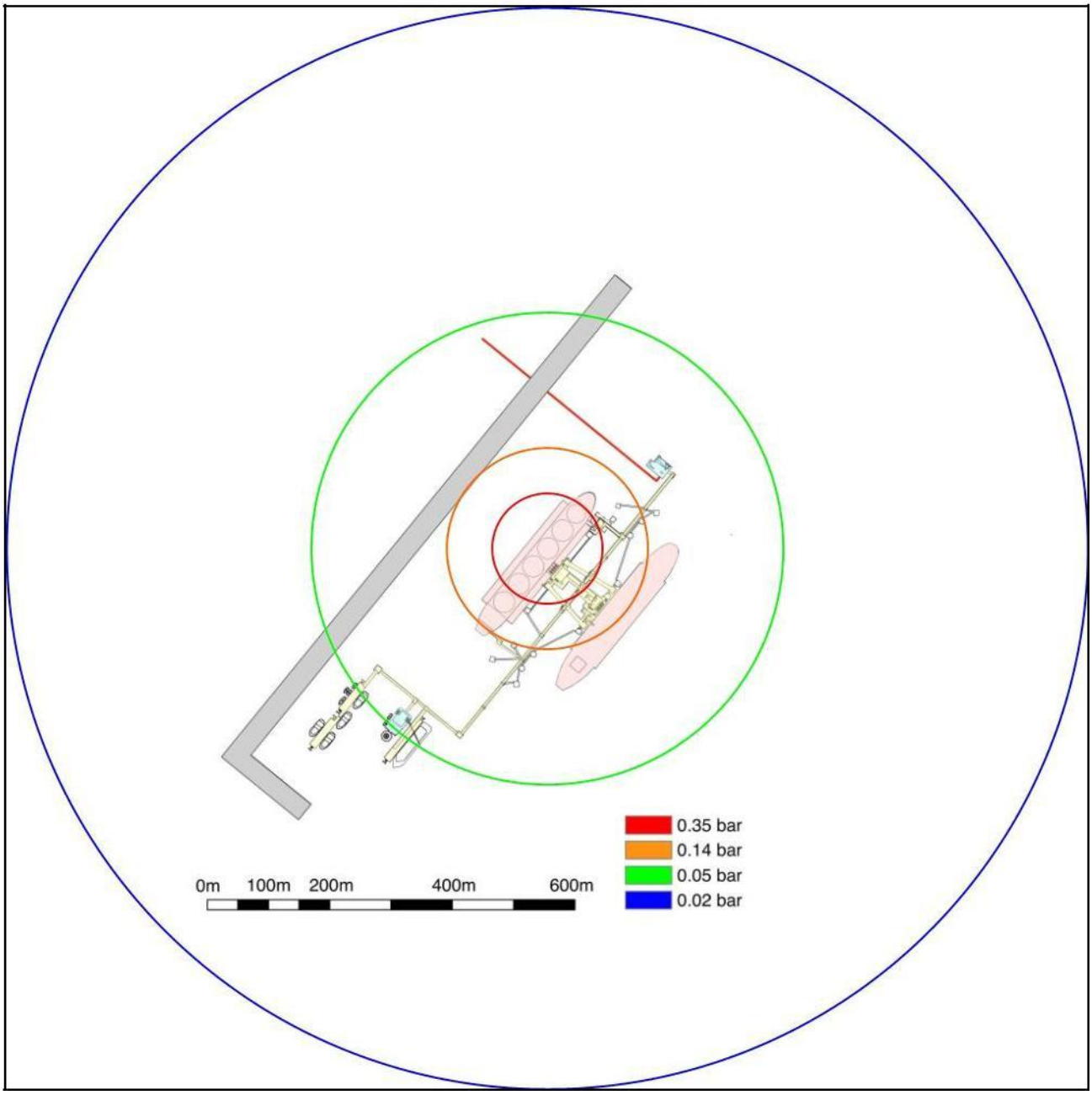


Figure 5-53 MAE N-15 : courbes de niveau d'explosion pour un remplissage total du module de GNL (éthylène) (échelle en mètres)

5.15.5. Résultats de déversements cryogéniques

L'étendue de nappe cryogénique a été déterminée pour une fuite représentative et crédible la plus défavorable associée au MAE N-15. Une fuite de la cuve de stockage d'éthylène est la principale menace cryogénique avec une température inférieure à -100 °C à la pression atmosphérique après rejet. Les fuites de propane et de pentane sont écartées pour la menace cryogénique.

Pour un défaut représentatif (50 mm), la nappe d'éthylène s'étend dans un rayon de 21 m alors que pour un défaut de cuve catastrophique, la nappe s'étend de 28 m, ce qui représente environ la moitié du pont du FLNG. Nous considérons que l'augmentation de la nappe sera limitée en raison des dispositions des hiloires et d'autres restrictions, ou tout déversement par-dessus bord sera également évité.

Tableau 5-72 MAE N-15 Résultats de la nappe cryogénique (éthylène)

Scénario de fuite	Rayon de nappe (m)
Défaut représentatif (50 mm)	21
Défaut catastrophique (le pire cas crédible)	28

5.16. MAE N-16 : Fuite de gaz (gaz de combustion) sur l'espace/zone de service de la plateforme QU

5.16.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne une fuite de gaz de combustion sur la plateforme QU.

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies au Tableau 5-73 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1].

Tableau 5-73 MAE N-16 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Gaz de combustion
Unité de traitement	Plateforme QU
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	38
Température (°C)	45
Phase	Gaz
Inventaire (kg)	95
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	11,0
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	<1 min
Volume congestionné (m^3)	500

5.16.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) entraînera des jets de gaz enflammé pour le MAE N-16. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-54 et au Tableau 5-74.

Tableau 5-74 MAE N-16 Résultats d'étendue de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	63	91
	5	56	71
	10	48	49
	20	42	33
5/D	3.	63	91
	5	56	70
	10	49	49
	20	44	33

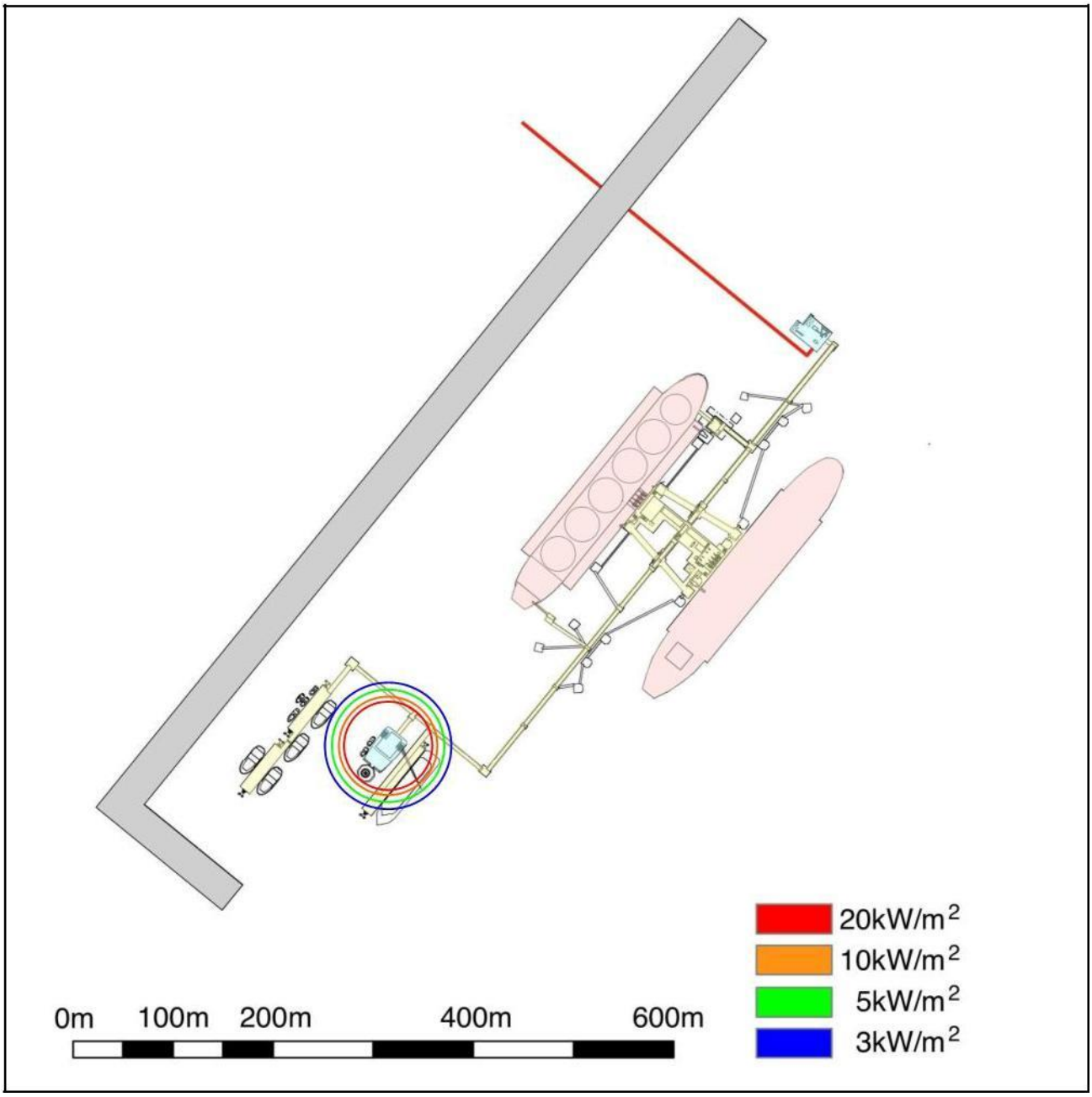
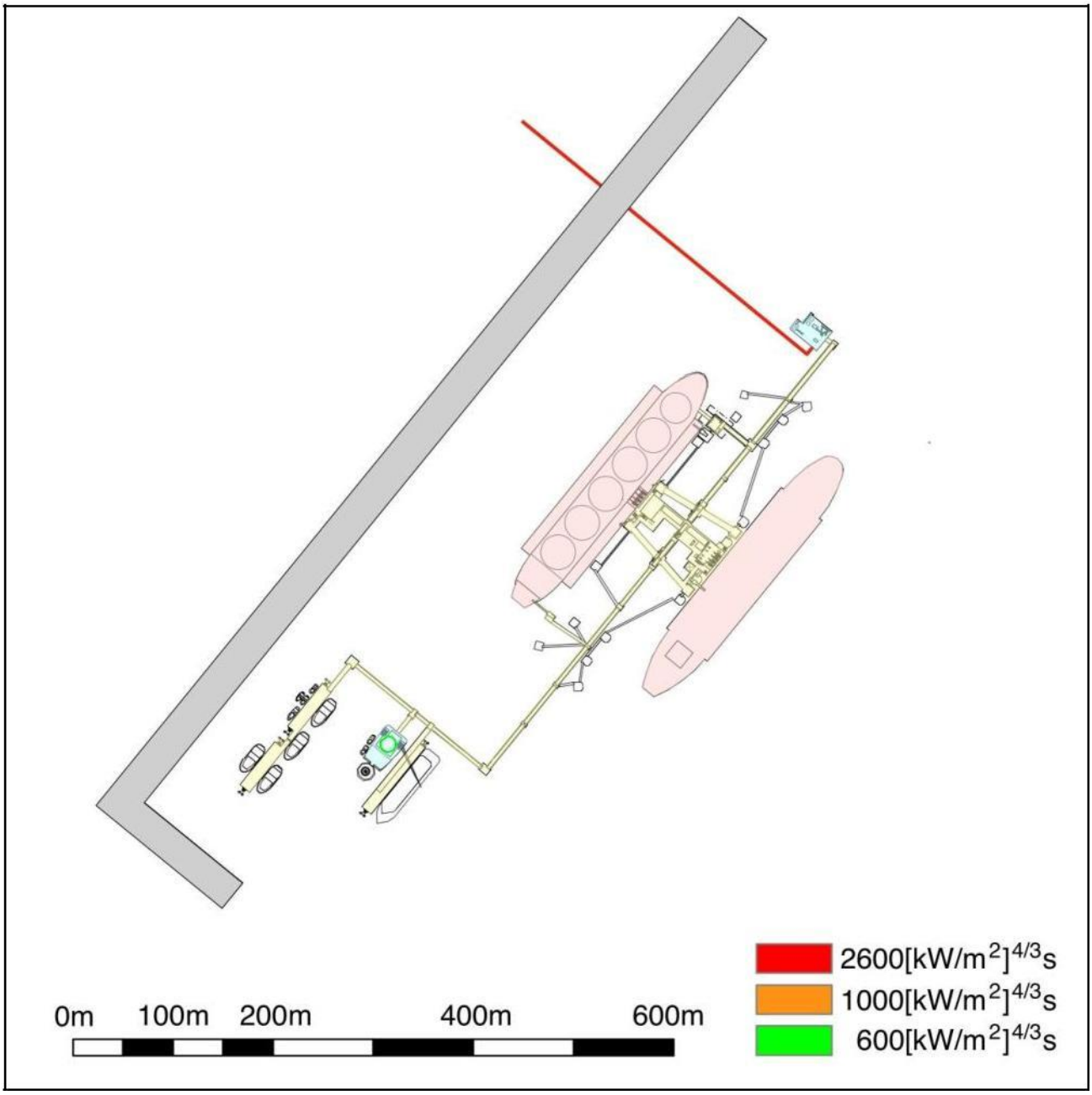


Figure 5-54 MAE N-16 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation suite à un défaut catastrophique pour le MAE N-16 est mieux représentée par une boule de feu. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à la dose thermique de la boule de feu associée sont illustrées à la Figure 5-55 et au Tableau 5-75. En raison de la taille réduite de l'inventaire de cette section, la durée de la boule de feu est également limitée. Il n'y aura aucun impact à des niveaux de dose thermique supérieurs.

Tableau 5-75 MAE N-16 Résultats de boule de feu suite à un défaut catastrophique

Rayon de la boule de feu (m)	Dose thermique ($[kW/m^2]^{4/3}$ s)	Distance du point de rejet (m)
15	600	8
	1000	Non atteint
	2600	Non atteint



Remarque : Les niveaux de dose thermique supérieurs n'ont pas été atteints.

Figure 5-55 MAE N-16 Courbes de niveau de boule de feu pour un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.16.3. Résultats de l'explosion

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé dans une zone congestionnée (plateforme QU) suite à la perte de confinement pour le MAE N-16 entraînera une explosion du nuage de vapeur. Les vapeurs inflammables d'une explosion suite à un défaut représentatif (50 mm) et un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) sont limitées par la masse totale de cette section. La courbe de niveau et les risques de surpression sont illustrés à la Figure 5-56 et au Tableau 5-76.

Tableau 5-76 MAE N-16 Résultats de l'explosion

Surpression de pression (bar)	Étendue maximale (m)
0,02	295
0,05	129
0,14	55
0,35	30

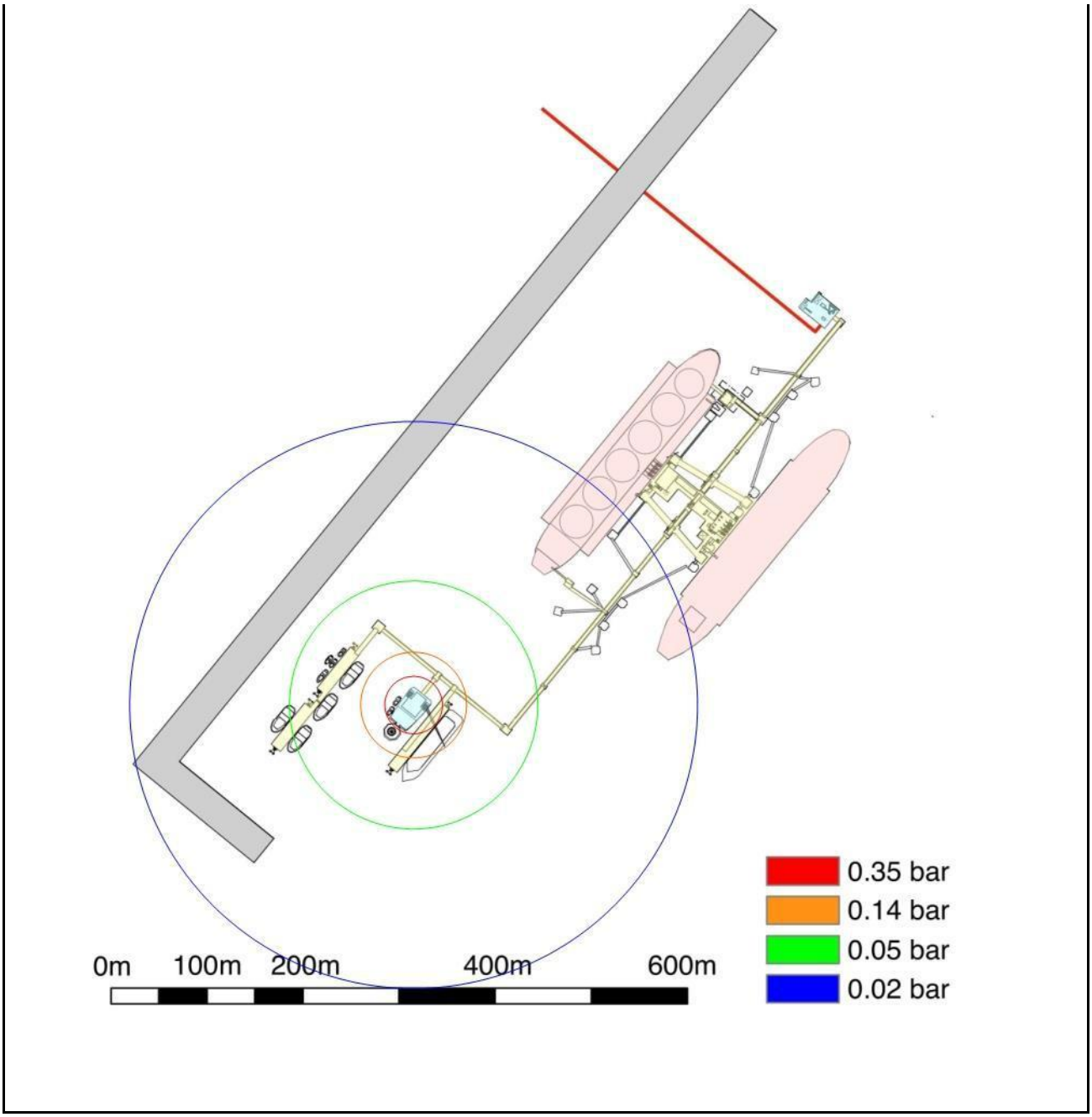


Figure 5-56 MAE N-16 Courbes de niveau d'explosion pour un remplissage 100 % de la plateforme QU (échelle en mètres)

5.17. MAE N-17 : Fuite de GNL des réservoirs de stockage du FLNG / méthanier

5.17.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne un défaut de réservoir de GNL sur un méthanier ou le FLNG.

La modélisation des incendies et de la dispersion de gaz pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies au Tableau 5-77 qui sont extraites de l'étude MAR [Annexe B.1.1]. Le GNL est stocké à pression atmosphérique, mais les calculs de fuite ont été effectués pour la pression hydrostatique en raison de la charge hydrostatique, qui devrait être de 17 m.

Tableau 5-77 MAE N-17 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Réservoir 1 de stockage de GNL
Unité de traitement	Stockage de GNL
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	1,8
Température (°C)	-158
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	9 791 667

5.17.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate consécutive à une rupture du réservoir de cargaison (le cas crédible le plus défavorable) de 750 mm entraînera un feu de nappe sans restriction à la surface de l'eau pour le MAE N-17. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-57 et au Tableau 5-78.

Tableau 5-78 MAE F-17 Résultats de feu de nappe suite à un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale(m)
2/D	3.	543	976
	5	434	752
	10	313	510
	20	212	322
5/D	3.	566	971
	5	460	756
	10	350	524
	20	259	343

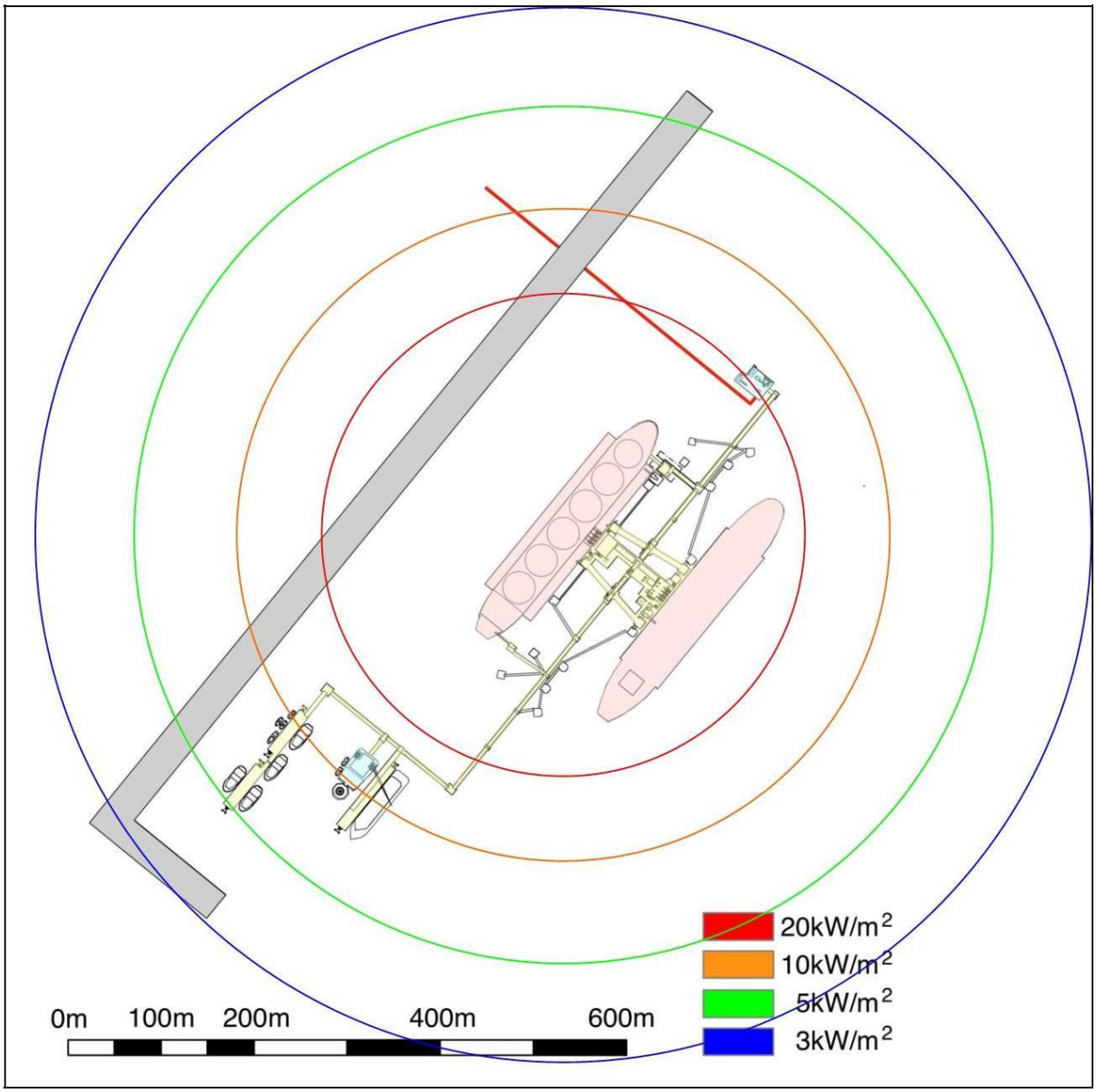


Figure 5-57 MAE N-17 Courbes de rayonnement de feu de nappe suite à un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.17.3. Résultats du feu de type Flash

L'inflammation retardée d'un nuage de gaz inflammable à la surface de l'eau suite à une rupture de 750 mm d'un réservoir de cargaison entraînera un feu de type flash pour le MAE N-17. Les courbes de niveau et les distances de risque aux LFL (limites inférieures d'inflammabilité) intégrales sont présentées dans le Tableau 5-79 et à la Figure 5-58.

Tableau 5-79 MAE N-17 Résultats d'étendue de feu de type flash, LFL 100 %, le pire cas crédible

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	1056
5/D	1076

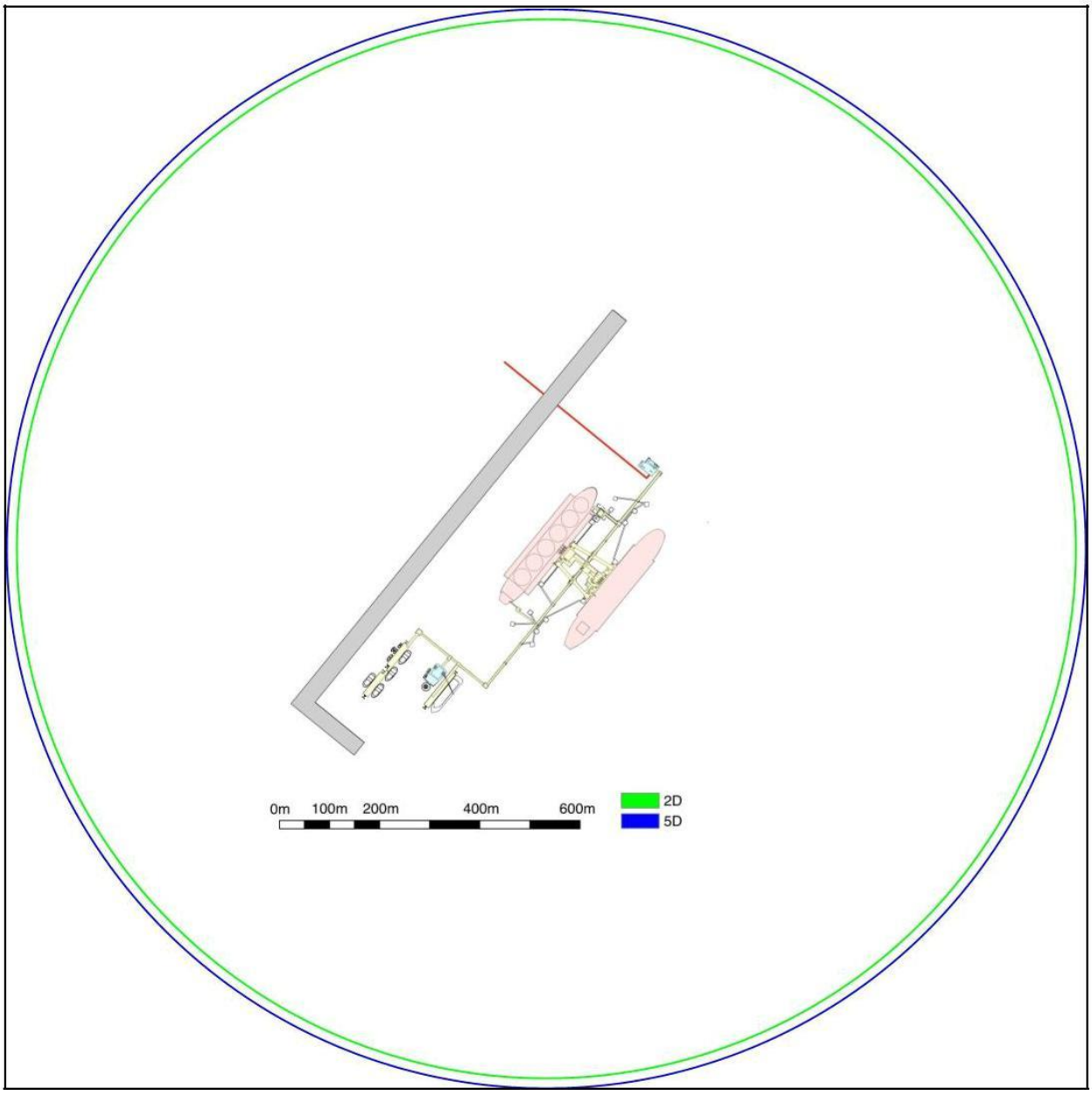


Figure 5-58 MAE N-17 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour des défauts catastrophiques (échelle en mètres)

5.17.4. Résultats de déversements cryogéniques

L'étendue de nappe cryogénique a été déterminée pour une fuite de type « le pire cas crédible » associée au MAE N-17, illustrée au Tableau 5-80. Il s'agit d'un déversement sans restriction à la surface de l'eau.

Tableau 5-80 MAE N-17 Résultats du déversement cryogénique

Scénario de fuite	Rayon de nappe (m)
Défaut catastrophique (le pire cas crédible)	63

5.18. MAE N-18 : Fuite de GNL au cours du chargement de méthanier

5.18.1. Description d'évènement

Ce MAE concerne un défaut des bras de chargement au cours du transfert du FLNG au méthanier.

La modélisation des incendies pour ce MAE a été effectuée à l'aide des données d'entrée comme définies dans le Tableau 5-81 qui sont extraites de l'Inventaire MAR 1 (Annexe B.1.1).

Tableau 5-81 MAE N-18 Paramètres de flux

Paramètre	Entrée
Inventaire MAR	Exportations de GNL
Unité de traitement	Chargement de méthanier
Matériel supposé	Méthane
Pression (bar)	7
Température (°C)	-158
Phase	Liquides
Inventaire (kg)	18 800
Taux d'écoulement pour la rupture typique (50 mm) (kg/s)	28,5
Durée estimée des fuites pour la rupture typique (50 mm)	15-30 min
Taux de chargement (m^3/h)	5 000 (Bras de chargement unique)
Volume congestionné (m^3)	-

5.18.2. Résultats de l'incendie

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) peut entraîner un jet enflammé de liquide pulvérisé pour le MAE N-18, si la fuite est dirigée horizontalement dans un espace ouvert et dégagé (par exemple hors-bord de la FPSO). Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-59 et au Tableau 5-82.

Tableau 5-82 MAE N-18 Résultats d'étendue de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	149	168
	5	133	134
	10	117	97
	20	105	63
5/D	3.	134	167
	5	118	130
	10	101	96
	20	89	68

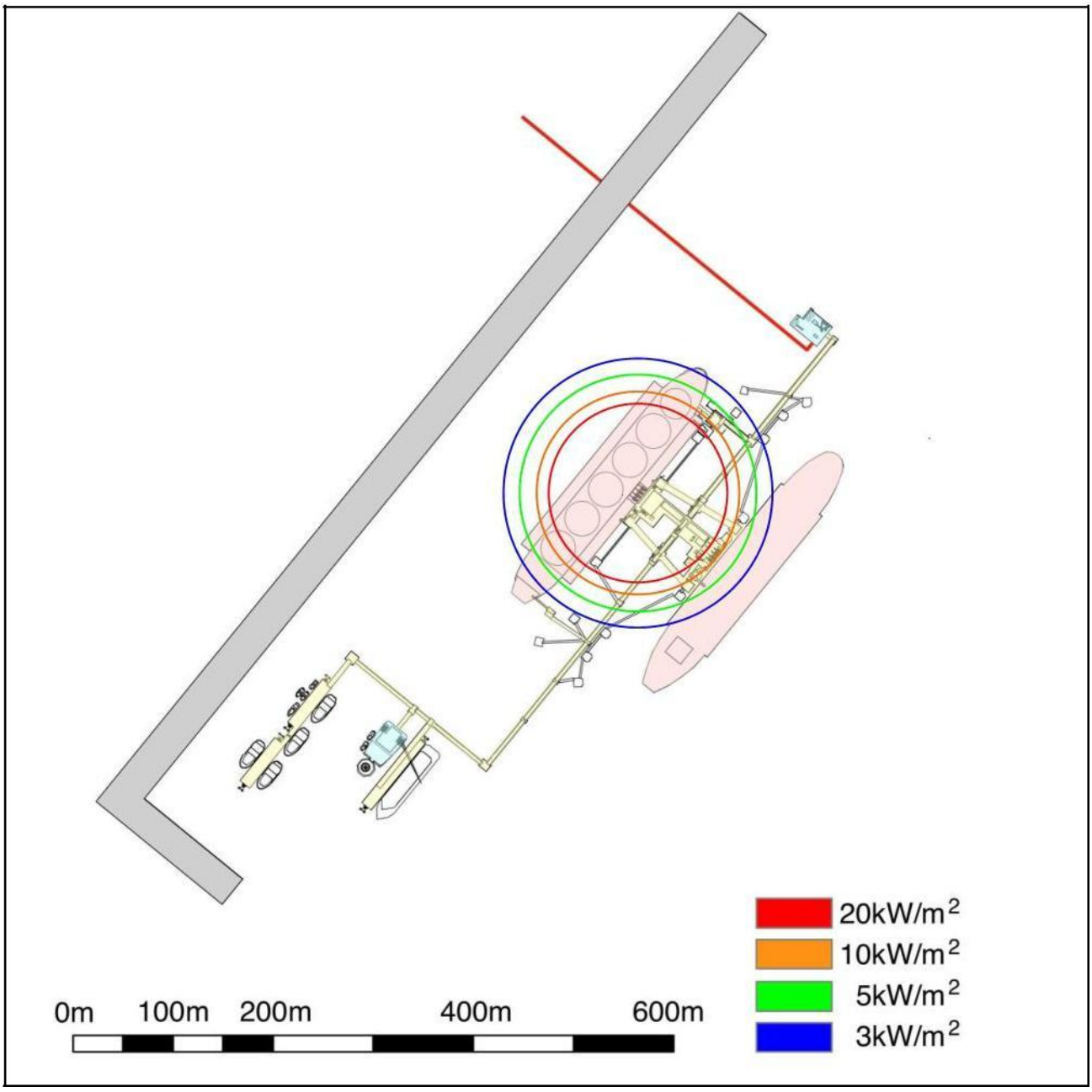


Figure 5-59 MAE N-18 Portée de rayonnement de jet enflammé suite à un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à la perte de confinement provenant d'un défaut représentatif (50 mm) peut aussi entraîner un feu de nappe liquide pour le MAE N-18 si la fuite est dirigée vers le bas et la cinétique du rejet supprimé. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-60 et au Tableau 5-83.

Tableau 5-83 MAE N-18 Résultats d'incendie de nappe liquide suite à un défaut de 50 mm

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3	83	138
	5	67	104
	10	33	41
	20	20	27
5/D	3	86	136
	5	71	104
	10	42	44
	20	27	29

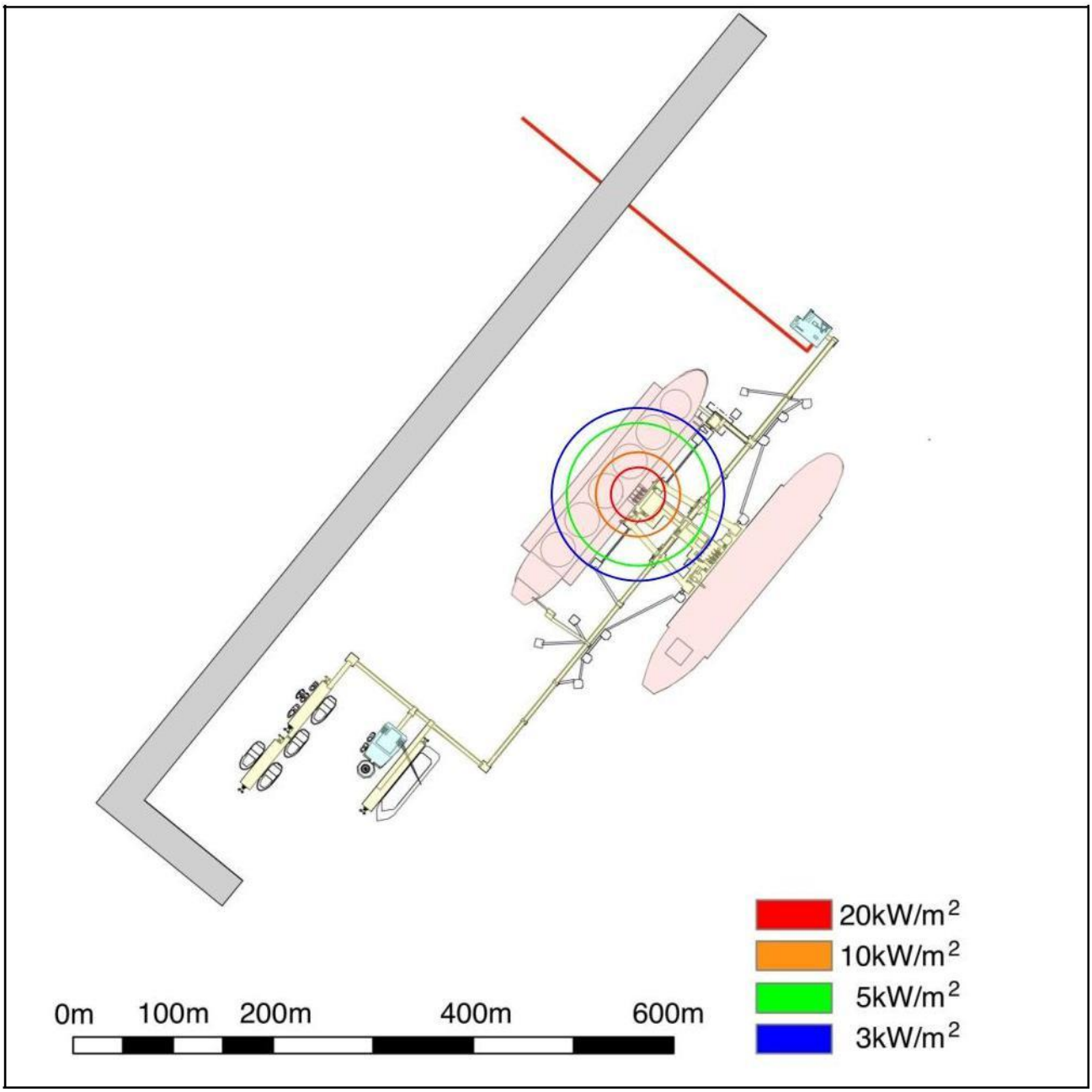


Figure 5-60 MAE N-18 Courbes de rayonnement d'incendie de nappe suite à défaut de 50 mm (échelle en mètres)

L'inflammation immédiate suite à un défaut catastrophique (le cas crédible le plus défavorable) entraînera un feu de nappe liquide pour le MAE N-18. Les courbes de niveau et les plages de risque dues à un impact à rayonnement thermique sont illustrées à la Figure 5-61 et au Tableau 5-84.

Tableau 5-84 MAE N-18 Résultats d'incendie de nappe suite à un défaut catastrophique

Conditions météorologiques	Rayonnement thermique (kW/m^2)	Vent arrière étendue maximale (m)	Vent de travers étendue maximale (m)
2/D	3.	359	667
	5	289	522
	10	215	368
	20	155	249
5/D	3.	366	658
	5	299	519
	10	227	372
	20	175	259

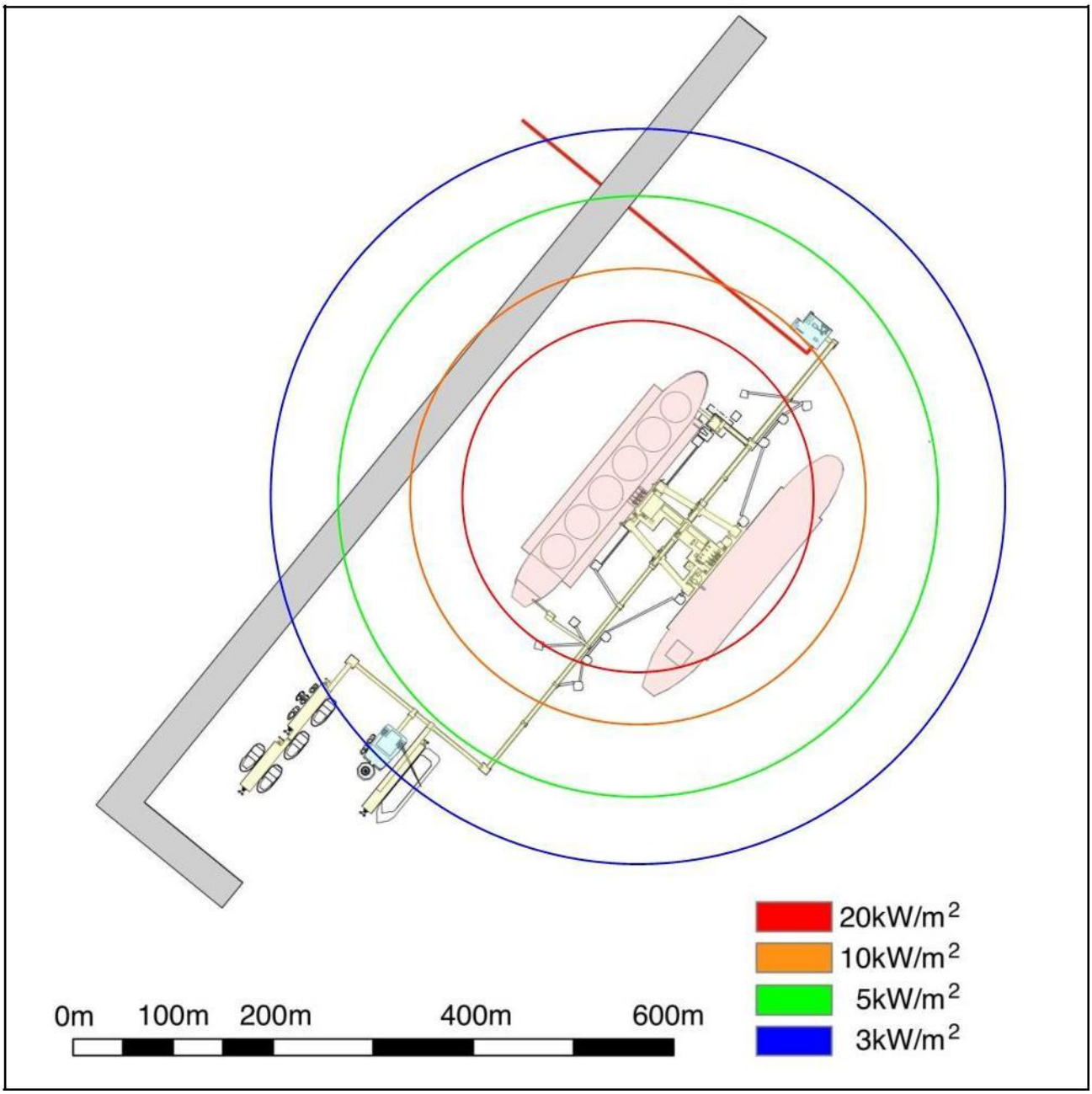


Figure 5-61 MAE N-18 Courbes de rayonnement de feu de nappe suite à un défaut catastrophique (échelle en mètres)

5.18.3. Résultats du feu de type Flash

L'inflammation retardée de gaz inflammable dispersé à la surface de l'eau entraînera un feu de type flash pour le MAE N-18. Les distances aux LFL 100 % (limites inférieures d'inflammabilité) sont présentées dans le Tableau 5-85 et le Tableau 5-86 pour un défaut représentatif (50 mm) et catastrophique (le pire crédible le plus défavorable) (rupture des bras de chargement). Les courbes de niveau aux LFL 100 % sont présentées à la Figure 5-62 et la Figure 5-63 pour un défaut représentatif (50 mm) et de type « le pire cas crédible ».

Tableau 5-85 MAE N-18 Résultats d'étendue de feu de type flash LFL 100 %, 50 mm

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	117
5/D	76

Tableau 5-86 MAE N-18 FBR Résultats d'étendue de feu de type flash LFL 100 %, pour une rupture complète du cylindre

Conditions météorologiques	Distance maximale (m)
2/D	223
5/D	159

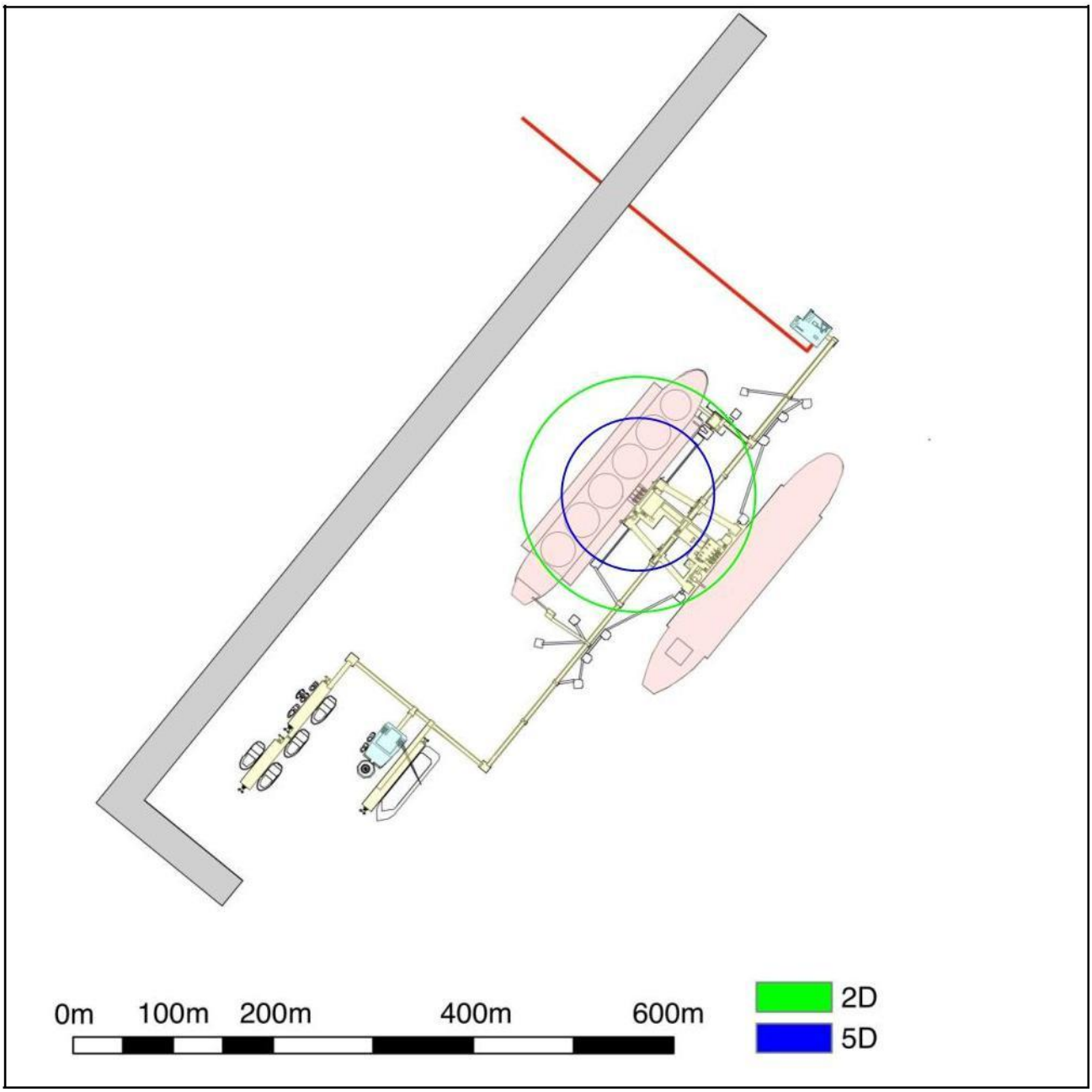


Figure 5-62 MAE N-18 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour un défaut de 50 mm (échelle en mètres)

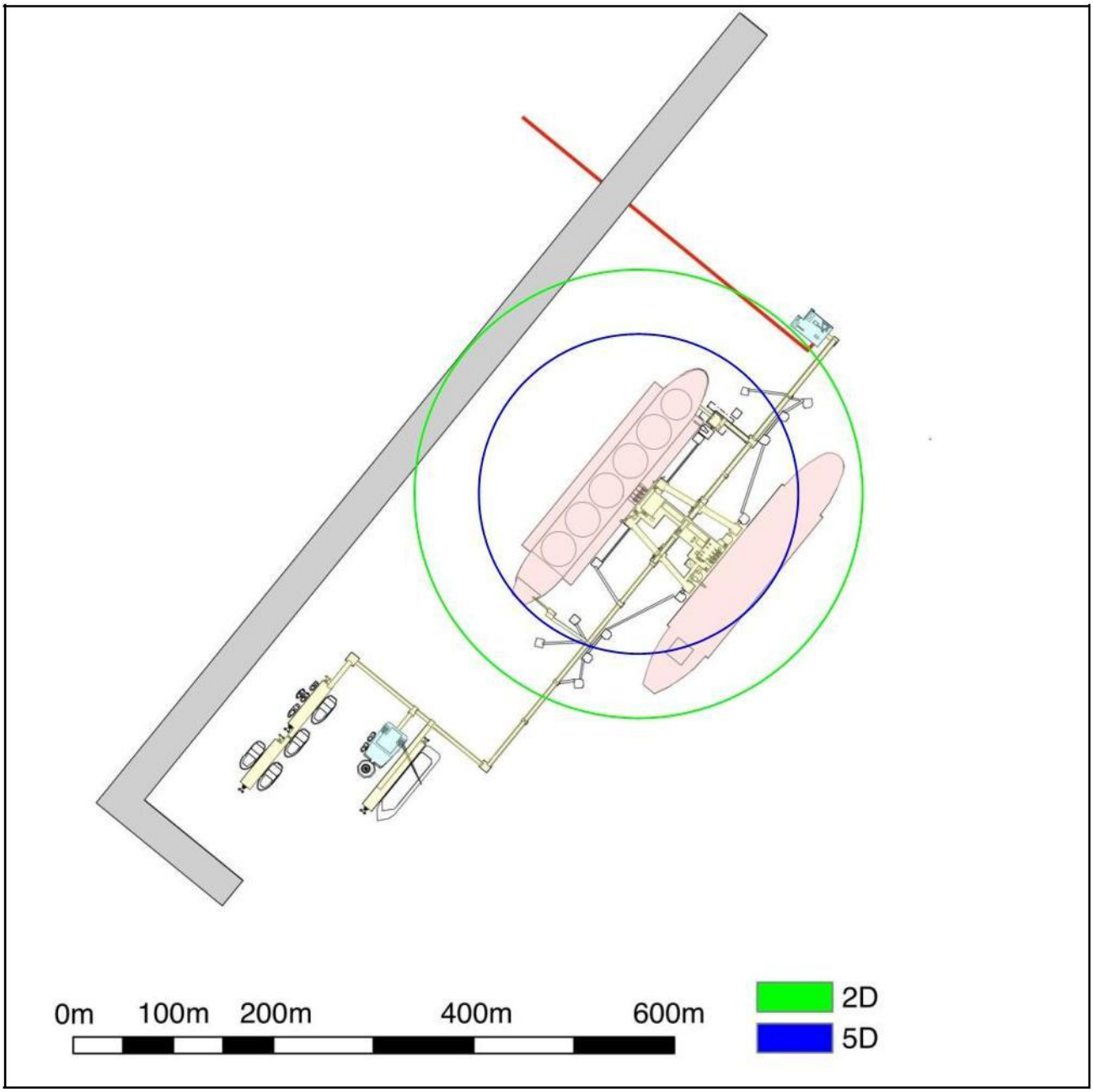


Figure 5-63 MAE N-18 Étendue de feu de type flash LFL 100 % pour une rupture complète du cylindre (échelle en mètres)

5.18.4. Résultats de déversements cryogéniques

L'étendue de nappe cryogénique a été déterminée pour une fuite représentative et de type « le pire cas crédible », associée au MAE N-18. Pour un défaut représentatif (50 mm), la nappe s'étend d'un rayon de 19 m alors que pour un défaut de cuve catastrophique, elle s'étendra dans un rayon de 43 m.

Tableau 5-87 MAE N-18 Résultats du déversement cryogénique

Scénario de fuite	Rayon de nappe m
Défaut représentatif (50 mm)	19
Défaut catastrophique (le pire cas crédible)	43

5.19. Tableaux récapitulatifs de scénario de défaillance de NSH (hub à proximité des côtes)

Cette section résume le potentiel de défaillance de diverses provisions EER (évacuation et sauvetage – Evacuation Escape Rescue en anglais) sur des équipements du NSH (hub à proximité des côtes) - plateforme avec tubes prolongateurs, FLNG, plateforme QU, qui disposent de RT (refuges temporaires) et d'équipements d'évacuation à proximité - voir la Figure 1-2. Elle prend également en compte l'impact potentiel des effets néfastes au-delà d'une zone de sécurité de 500 m autour du NSH.

Le potentiel de défaillance des provisions EER et de la zone de sécurité est basé sur les mêmes critères et la même approche que pour la FPSO. Si le tableau ci-dessous contient une ✓, une défaillance des provisions EER / zone de sécurité est possible sur la base des critères et des hypothèses indiquées dans la section 4.14.

ID d'évènement : **N-01 Fuite de gaz au niveau du tube prolongateur de gaz d'importation**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	✓	×	×	×
Boule de feu	✓	×	×	×
Discussion	En raison du volume important de l'inventaire contenu dans le tube prolongateur et la conduite de gaz d'importation, la durée de l'évènement sera considérable (plus d'une heure) à la fois pour une fuite représentative (50 mm) et une rupture complète de cylindre (pour lesquelles la boule de feu initiale fera place à un jet enflammé longue durée). Les niveaux élevés de rayonnement thermique provenant des jets enflammés et des boules de feu pourraient causer un nombre significatif de décès immédiats sur la plateforme de tubes prolongateurs et le personnel non affecté serait potentiellement dans l'incapacité de rejoindre la plateforme QU.L'évènement se trouve suffisamment à distance pour écarter un impact sur le RT et l'incendie n'ira pas au-delà de la zone de sécurité. Il n'est pas prévu que des équipements d'évacuation soient obligatoires, ils ne sont néanmoins pas défaillants.			

ID d'évènement : **N-02 Fuite de gaz au niveau de la ligne de production/tuyau de gaz sur quai mobile vers le FLNG**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Discussion	Le défaut représentatif (50 mm) durera approximativement entre 1 à 5 minutes. Le rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu pourrait impacter les itinéraires d'évacuation principaux de la plateforme des tubes prolongateurs, du FLNG et du méthanier menant à la plateforme QU mais uniquement pour un laps de temps limité, la défaillance est ainsi écartée. L'évènement se trouve suffisamment à distance pour écarter une défaillance du RT et l'incendie n'ira pas au-delà de la zone de sécurité. Le potentiel d'aggravation du problème est limité et il n'est pas prévu que les équipements d'évacuation soient nécessaires sur la plateforme QU.			

ID d'évènement : **N-03 Fuite de gaz de la conduite de gaz de combustion du quai mobile raccordée à la plateforme QU (quartiers et services).**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Discussion	En raison de la pression élevée de la fuite et du volume relativement faible de l'inventaire, l'évènement sera très court (moins de 1 minute). Le rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu pourrait impacter temporairement les itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs, du FLNG et du méthanier menant à la plateforme QU. Néanmoins, dans tous les cas, le personnel pourra attendre la fin de l'évènement sur n'importe quelles installations avant de rejoindre le RT. L'impact au-delà de la zone de sécurité et une défaillance du RT sont écartés. On ne prévoit pas d'aggravation significative du problème ou l'obligation d'évacuer.			

ID d'évènement : **N-04 Fuite de gaz Au niveau de l'unité de comptage d'entrée et du traitement aux amines du FLNG**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	✓	×	×	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Discussion	La fuite pour un défaut représentatif (50 mm) durera environ 30 minutes. Les niveaux élevés de rayonnement thermique provenant des jets enflammés seront une menace pour le personnel du FLNG et en fonction de la direction de la fuite, pourrait causer la défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs et du FLNG, empêchant ainsi le personnel de rejoindre la plateforme QU. L'évènement pourra s'aggraver sur le FLNG, mais s'ils sont nécessaires, les équipements d'évacuation ne seront pas défaillants. Les niveaux de rayonnement thermique des boules de feu pourraient impacter le personnel intervenant sur la plateforme des tubes prolongateurs et les deux navires, l'impact sera néanmoins de courte durée et le personnel survivant pourra t atteindre la plateforme QU après un court délai. L'impact sur le RT et au-delà de la zone de sécurité est écarté à la fois pour les jets enflammés et les boules de feu. Les surpressions élevées des explosions peuvent causer la défaillance de l'itinéraire d'évacuation. Le RT sur la plateforme QU peut être impacté par des surpressions faibles, mais elles ne seront pas assez élevées pour causer une défaillance. L'évènement pourra s'aggraver sur le FLNG, mais les équipements d'évacuation ne seront pas défaillants. Les plages de risques des surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante.			

ID d'évènement : **N-05 Fuite de gaz du module de déshydratation et de régénération du FLNG**		**Potentiel de défaillance**		
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	✓	×	×	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Discussion	Un défaut représentatif (50 mm) durera environ 20 minutes. Les niveaux élevés de rayonnement thermique provenant des jets enflammés seront une menace pour le personnel du FLNG, et en fonction de la direction de la fuite, pourrait causer une défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme de tubes prolongateurs et du FLNG / méthanier, et empêcher le personnel de revenir à la plateforme QU, présentant ainsi un risque d'aggravation. Les niveaux de rayonnement thermique des boules de feu pourraient impacter le personnel intervenant sur le FLNG et le méthanier, l'impact sera de courte durée et le personnel survivant pourra atteindre la plateforme après un court délai. Un 'impact du RT, des équipements d'évacuation et au-delà de la zone de sécurité est écarté à la fois en cas de jets enflammés et de boules de feu. Les surpressions élevées des explosions peuvent causer la défaillance de l'itinéraire d'évacuation. Le RT de la plateforme QU peut être impacté par des surpressions faibles, mais elles ne seront pas assez élevées pour causer une défaillance. Une aggravation peut être causée par des dommages dus à l'explosion, mais les équipements d'évacuation ne seront pas menacés. Les plages de dangers des surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante.			

ID d'évènement : **N-06 Fuite de gaz au niveau de la compression du gaz d'évaporation / vaporisé du FLNG**		**Potentiel de défaillance**		
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	×	×	N/A	×
Discussion	En raison de l'inventaire minime associé à cet évènement, les fuites seront brèves (moins d'une minute) dans tous les cas, le potentiel de défaillance est limité et le personnel survivant à l'incendie/explosion initial sera en mesure de s'échapper via l'itinéraire principal menant à la plateforme QU. Le potentiel d'aggravation sera probablement limité et l'évacuation ne sera pas nécessaire.			

ID d'évènement : **N-07 Fuite de gaz de combustion du système de gaz de combustion HP du FLNG**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	×	×	N/A	×
Discussion	En raison de l'inventaire minime associé à cet évènement, les fuites seront brèves (moins d'une minute) dans tous les cas, le potentiel de défaillance est limité et le personnel survivant à l'incendie/explosion initial sera en mesure de se réfugier sur n'importe quelles installations ou s'échapper via l'itinéraire d'évacuation principal menant à la plateforme QU. Il est prévu que le potentiel d'aggravation soit limité et l'évacuation ne devrait pas être requise.			

ID d'évènement : **N-08 Fuite de gaz au niveau de l'unité de fractionnement du FLNG**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	×	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Discussion	Un défaut représentatif (50 mm) durera environ 15 minutes. Les niveaux élevés de rayonnement thermique des jets enflammés rendront défaillants la poupe du FLNG ou l'itinéraire d'évacuation le long du quai mobile. En raison de la nature directionnelle du jet enflammé, la défaillance simultanée de tous les itinéraires menant à la plateforme QU est écartée et le personnel sera en mesure de rejoindre le RT soit par l'itinéraire d'évacuation du pont mobile soit à bâbord du FLNG. Le RT ne sera pas affecté, mais il y aura potentiel d'aggravation. Si nécessaire, une évacuation en ordre peut être effectuée. Le rayonnement thermique des boules de feu pourrait impacter le personnel intervenant sur le FLNG et le méthanier, l'impact sera néanmoins de courte durée et le personnel survivant pourra atteindre la plateforme QU après un court délai. Un impact du RT et au-delà de la zone de sécurité est écarté et il n'est pas prévu que l'évacuation soit nécessaire. Les explosions pourraient également causer la défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs, du FLNG et du méthanier et une partie du personnel sera contraint d'attendre les secours. L'évènement pourra s'aggraver, néanmoins alors que les surpressions faibles de l'explosion pourraient atteindre le RT et les équipements d'évacuation de la plateforme QU, elles ne seront pas assez élevées pour causer une défaillance. Les plages de dangers des surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante.			

ID d'évènement : **N-09 Fuite liquide d'hydrocarbure léger provenant de l'unité de fractionnement du FLNG**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Incendie par pulvérisation	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Gaz inflammables	×	✓	×	×
Discussion	La durée de cette fuite sera courte (moins de 5 minutes). Alors que des niveaux élevés de rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu pourraient atteindre le FLNG et le méthanier, ces courtes durées signifient que dans tous les cas, le personnel survivant sera en mesure d'attendre les secours sur l'une des navires ou de s'échapper vers la plateforme QU en empruntant l'itinéraire d'évacuation. Les surpressions des explosions seront suffisamment élevées pour causer la défaillance de l'itinéraire d'évacuation principal menant à la plateforme QU, une partie du personnel survivant étant contraint d'attendre les secours. L'évènement pourra s'aggraver, néanmoins alors que les surpressions faibles de l'explosion pourraient atteindre le RT sur la plateforme QU, elles ne seront pas assez élevée pour causer une défaillance. Les plages de dangers des surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante. La dispersion de nuages de gaz inflammable pourrait causer des concentrations de gaz élevées sur le méthanier et la plateforme QU ainsi que au niveau du FLNG, mais la durée de cette fuite est courte et donc la défaillance de l'évacuation est écartée. L'entrée de gaz inflammable si les trappes ne se ferment pas à la demande pourrait rendre défaillant le RT bien que la fréquence de cet évènement soit très faible.			

ID d'évènement : **N-10 Fuite de GNL du procédé de liquéfaction du FLNG**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Incendie par pulvérisation	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Gaz inflammables	×	×	N/A	×
Déversement cryogénique	×	×	×	×
Discussion	Alors que des niveaux élevés de rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu pourraient atteindre le FLNG et le méthanier, les courtes durées des évènements signifient que dans tous les cas le personnel pourra attendre la fin de l'incendie avant de s'échapper vers le RT de la plateforme QU et attendre la fin de l'accident - il n'y aura aucune nécessité d'évacuation. Les surpressions des explosions seront suffisamment élevées pour causer la défaillance de l'itinéraire d'évacuation menant à la plateforme QU. Le personnel survivant pourrait devoir attendre les secours. L'évènement pourrait s'aggraver, néanmoins bien que les surpressions faibles de l'explosion pourraient atteindre le RT, elles ne seront pas assez élevées pour causer sa défaillance. Les plages de dangers des surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité est considérée comme défaillante. La dispersion de nuages de gaz inflammable pourrait causer des concentrations de gaz élevées à la fois au niveau du FLNG et du méthanier, mais pas au-delà. La durée de cette fuite sera limitée et donc la défaillance de l'évacuation est écartée. Un déversement cryogénique pourrait se propager sur le FLNG et impacter les itinéraires d'évacuation à bâbord et/ou à tribord du FLNG, mais le personnel sera en mesure d'atteindre le RT via l'itinéraire d'évacuation sur le quai mobile. L'impact cryogénique peut aggraver la situation mais la fuite n'impactera pas le RT, les équipements d'évacuation ou la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **N-11 Fuite de GNL au niveau du ballon de gaz vaporisé du FLNG**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Incendie par pulvérisation	✓	×	×	×
Feu de nappe	✓	×	×	×
Explosions	✓	×	×	✓
Gaz inflammables	✓	×	N/A	×
Déversement cryogénique	×	×	×	×
Discussion	La fuite pour un défaut représentatif (50 mm) durera environ 20 minutes et les niveaux élevés de rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu pourraient donc causer la défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs, du FLNG, et du méthanier menant à la plateforme QU. Le personnel qui survivra à l'incendie initial devra attendre la fin de l'évènement sur l'une des navires. Les feux de nappe provenant d'un défaut catastrophique auraient propagé l'incident au NSH ; une partie du personnel survivant ne serait pas en mesure de rejoindre directement le RT. Le RT et les équipements d'évacuation seraient impactés à des niveaux de rayonnement plus faibles, mais ces niveaux ne seront pas suffisants pour causer une défaillance Les explosions pourraient également causer une défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme de la plateforme des tubes prolongateurs et du FLNG et du méthanier. À l'instar des incendies, le personnel survivant devra attendre les secours sur l'une des navires. L'évènement pourra s'aggraver, néanmoins bien que les faibles surpressions de l'explosion pourraient atteindre le RT de la plateforme QU, elles ne seront pas assez élevées pour causer une défaillance. Les plages de dangers des surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante. En fonction de la direction du vent, la dispersion des nuages de gaz inflammables pourrait entraîner des concentrations de gaz élevées le long de l'itinéraire d'évacuation sur le quai mobile, empêchant le personnel de rejoindre le RT. Le gaz inflammable ne se propage pas à la plateforme QU et donc une défaillance du RT est écartée. Il n'y aura pas d'obligation d'évacuer. Un déversement cryogénique pourrait se propager sur le FLNG et impacter les itinéraires d'évacuation à bâbord et à tribord du FLNG, mais le personnel sera en mesure d'atteindre le RT via l'itinéraire d'évacuation sur le quai mobile. L'impact cryogénique peut aggraver la situation mais la fuite n'impactera pas le R, les équipements d'évacuation ou la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **N-12 BLEVE de cuve du FLNG contenant du réfrigérant**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
BLEVE	×	×	N/A	×
Discussion	Les niveaux de rayonnement thermique des BLEVE pourraient impacter les itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs, du FLNG et du méthanier menant à la plateforme QU. Néanmoins, les boules de feu sont de courte durée et les équipements EER ne seront pas défaillants. Une BLEVE serait probablement causée par un contact avec les flammes à partir du feu initial. L'explosion aura lieu après une période d'engloutissement/contact limitant les décès et permettant au personnel de s'échapper.			

ID d'évènement : **N-13 Fuite de gaz provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR du FLNG**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Discussion	La durée des évènements liés à un défaut représentatif (50 mm) durera moins de 5 minutes. Le rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu sera limité aux environs de la fuite et le personnel survivant aux jets enflammés et à la boule de feu pourra atteindre le RT et s'y réfugier en toute sécurité une fois la fuite terminée. Une 'obligation d'évacuer n'est pas anticipée. Les explosions pourraient causer une défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs, et du méthanier empêchant le personnel de rejoindre le RT - Il sera contraint d'attendre les secours. L'évènement pourra s'aggraver, mais bien que les surpressions de l'explosion initiale pourraient atteindre le RT sur la plateforme QU, elles ne seront pas élevées assez élevée pour causer une défaillance. Les surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité est donc considérée comme défaillante.			

ID d'évènement : **N-14 Fuite liquide / à deux phases provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR du FLGN**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Incendie par pulvérisation	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Gaz inflammables	×	✓	×	×
Déversement cryogénique	×	×	×	×
Discussion	L'incendie durera moins de 5 minutes dans tous les cas. Alors que des niveaux élevés de rayonnement thermique des jets enflammés et des boules de feu pourraient atteindre le FLNG et le méthanier, les courtes durées des évènements signifient que dans tous les cas, une défaillance est écartée. Les surpressions des explosions seront suffisamment élevées pour causer une défaillance des itinéraires d'évacuation principaux menant à la plateforme QU. Le personnel survivant de la plateforme des tubes prolongateurs et du méthanier devra attendre les secours. L'évènement pourra s'aggraver, néanmoins bien que les surpressions de l'explosion initiale pourraient atteindre la plateforme QU; elles ne devraient pas être assez élevées pour causer une défaillance du RT ou des équipements d'évacuation. Les surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante. La dispersion de nuages de gaz inflammable pourrait causer des concentrations de gaz élevées sur le méthanier et la plateforme QU ainsi que sur le FLNG, cependant la durée de cette fuite est courte et donc une défaillance de l'évacuation est écartée. Du gaz inflammable pourrait pénétrer le RT en cas de fuite catastrophique par vent faible si les trappes ne se ferment pas à la demande, bien que la probabilité de cet évènement soit très faible. En raison de cette fuite de courte durée, une défaillance des équipements d'évacuation est écartée. Un déversement cryogénique pourrait se propager sur le FLNG et impacter les itinéraires d'évacuation à bâbord et à tribord du FLNG, mais le personnel serait encore en mesure d'atteindre le RT par l'itinéraire d'évacuation du pont mobile. L'impact cryogénique peut aggraver la situation mais la fuite n'impactera pas le RT, les équipements d'évacuation ou la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **N-15 Fuite de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant du FLNG**		Potentiel de défaillance		
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Incendie par pulvérisation	✓	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	×	✓
Gaz inflammables	✓	✓	×	×
Déversement cryogénique	×	×	N/A	×
Discussion	Les événements liés à un défaut représentatif (50 mm) dureront environ 20 minutes. Les niveaux élevés de rayonnement thermique des jets enflammés pourraient causer une défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs, du FLNG et du méthanier menant à la plateforme QU. Le personnel ayant survécu à l'évènement initial devra attendre la fin de l'accident. Les boules de feu sont des évènements de courte durée et la défaillance des itinéraires d'évacuation est donc écartée. Des surpressions d'explosion élevées peuvent causer une défaillance des itinéraires d'évacuation du FLNG et du quai mobile. Le personnel intervenant sur la plateforme des tubes prolongateurs et sur le méthanier pourra devoir attendre les secours. L'évènement pourra s'aggraver, néanmoins bien que les surpressions de l'explosion initiale pourraient atteindre la plateforme QU, elles ne seront pas assez élevées pour causer une défaillance du RT ou des équipements d'évacuation. Les surpressions les plus faibles dépasseront 500 m et la zone de sécurité sera considérée comme défaillante. En fonction de la direction du vent, une dispersion de gaz inflammable suite à un défaut de 50 mm pourrait causer une défaillance des itinéraires d'évacuation menant à la plateforme QU. Il y a également une possibilité d'entrée de gaz suite à un défaut catastrophique si les trappes ne se ferment pas à la demande, bien que la probabilité de cet évènement soit faible. Les équipements d'évacuation ne seront pas considérés comme défaillants. Seule la dispersion de gaz provenant d'une fuite catastrophique par vent faible peut atteindre cette zone, mais la fuite sera brève et la défaillance est donc écartée. Un déversement cryogénique pourrait impacter les itinéraires d'évacuation à proximité de la fuite sur le FLNG, mais le personnel pourrait toujours rejoindre le RT par un itinéraire alternatif. L'impact cryogénique peut aggraver la situation, mais la fuite n'impactera pas le RT, les équipements d'évacuation ou la zone de sécurité.			

ID d'évènement : **N-16 Fuite de gaz de combustion sur l'espace/zone de services de la plateforme QU**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Jet enflammé	×	×	N/A	×
Boule de feu	×	×	N/A	×
Explosions	✓	×	N/A	×
Discussion	En raison de l'inventaire minime associé à cet évènement, la durée de l'incendie sera brève (moins d'une minute), le potentiel de défaillance suite à un jet enflammé ou une boule de feu est par conséquent écarté.Les explosions sur la plateforme QU peuvent empêcher le personnel d'accéder au RT, mais n'endommageront pas la structure du Rt en elle-même qui est conçue pour supporter les surpressions de cet évènement. S'il est impossible d'accéder au RT le personnel sera donc dans l'obligation de se rassembler ailleurs sur le NSH, mais une évacuation sera peu probable.Une aggravation de la situation sera limitée et il ne devrait donc avoir aucune obligation d'évacuation.			

ID d'évènement : **N-17 Fuite de GNL des réservoirs de stockage du FLNG / méthanier**	Potentiel de défaillance			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Feu de nappe	✓	×	✓	✓
Gaz inflammables	✓	✓	✓	✓
Déversement cryogénique	✓	×	×	×
Discussion	Les fuites provenant du pire cas de défaut (rupture de 750 mm) dureront plus d'une heure en raison du volume important d'un réservoir de cargaison. Le rayonnement thermique des feux de nappe entraînera des décès immédiats en nombre et, pour celles ou ceux non impactés, causera une défaillanc des itinéraires d'évacuation menant à la plateforme QU. Bien que l'impact de l'incendie soit long, le rayonnement thermique au niveau du RT sera suffisamment faible pour que l'intégrité du RT ne devrait pas être directement menacée. Les équipements d'évacuation seraient défaillants et les niveaux les plus faibles de rayonnement auront des effets au-delà de la zone de sécurité.La dispersion du gaz inflammable peut causer une défaillance de tous les équipements EER du NSH, et se prolonger au-delà de la zone de sécurité de 500 m. Le RT devrait être défaillant si les trappes de HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) ne se ferment pas à la demande, bien que la probabilité de cet évènement soit faible. Le diamètre de la nappe sera supérieur à 100 m, au-delà, le potentiel de défaillance des équipements EER dépendra du sens du vent. Un déversement cryogénique empêchera le personnel non impacté par la fuite initiale de rejoindre le RT, mais n'atteindra pas la plateforme QU pour impacter le RT lui-même ou les équipements d'évacuation.			

ID d'évènement : **N-18 Fuite de GNL au cours du Chargement de méthanier**	**Potentiel de défaillance**			
	Itinéraires d'évacuation	**RT**	**Évacuation**	**Zone de sécurité**
Incendie par pulvérisation	✓	×	×	×
Feu de nappe	✓	×	×	×
Gaz inflammables	×	×	N/A	×
Déversement cryogénique	×	×	×	×
Discussion	Les évènements liés à un défaut représentatif (50 mm) dureront environ 15 minutes. Les jets enflammés et les feux de nappe pourraient causer une défaillance des itinéraires d'évacuation de la plateforme des tubes prolongateurs du FLNG et du méthanier menant à la plateforme QU. Les feux de nappe provenant de défauts catastrophiques sont de courte durée et le personnel survivant pourra attendre la fin de l'évènement avant de rejoindre le RT. Le TR ne sera pas impacté par les jets enflammés ou les feux de nappe liés à un défaut de 50 mm ; un feu de nappe provenant d'une rupture complète de cylindre aura des conséquences à des niveaux de rayonnement inférieurs pendant une courte durée, mais ces niveaux ne seront pas suffisants pour causer une défaillance La dispersion de gaz inflammable suite à une rupture complète du cylindre pourrait, en fonction de la direction de la fuite, impacter les itinéraires menant au RT. Néanmoins, ce sera uniquement pour une courte période et la défaillance est donc écartée. Une dispersion de gaz inflammable provenant d'une fuite de 50 mm n'empêchera pas le personnel d'évacuer. La défaillance du RT pour toutes les fuites est donc écartée, puisque le gaz inflammable n'atteindra pas la plateforme QU et il n'y aura pas d'obligation d'évacuer. Un déversement cryogénique pourrait impacter les itinéraires d'évacuation à proximité de la fuite, mais le personnel pourra toujours rejoindre le RT par un itinéraire alternatif. La fuite ne s'étend pas suffisamment pour impacter le RT, les équipements d'évacuation ou la zone de sécurité.			

6. Conclusions

6.1. Récapitulatif d'impact de type « cas crédible le plus défavorable»

6.1.1. Jet enflammé

Les plus graves jets de gaz enflammé du FPSO proviennent d'un défaut de 50 mm sur le tube prolongateur de production (MAE F01) alors que pour le NSH, la plus grande menace est liée à un défaut sur le tube prolongateur d'importation de gaz (MAE N-01). Les jets enflammés deux phase gaz / liquide pulvérisé sont dus à une fuite de 50 mm du côté des liquides des récupérateurs de bouchons sur le FPSO (MAE F-04) ou du côté liquide de l'unité de fractionnement sur le navire de GNL flottant (MAE N-09).

La portée maximale du rayonnement thermique dû aux jets enflammés sur le FPSO et le NSH est illustrée à la Figure 6-1 et la Figure 6-2.

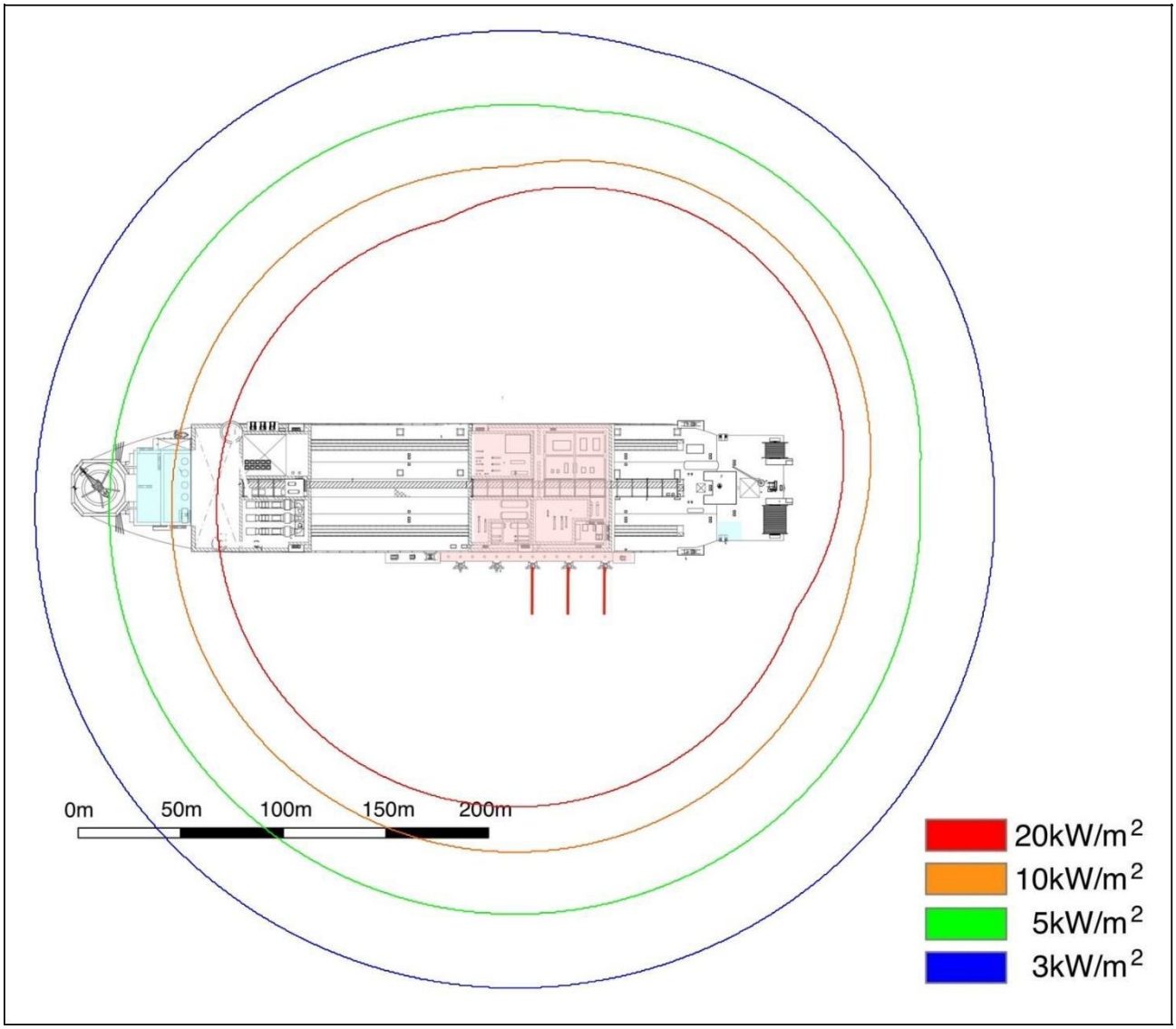


Figure 6-1 Portée maximale du rayonnement thermique provenant des jets enflammés sur le FPSO

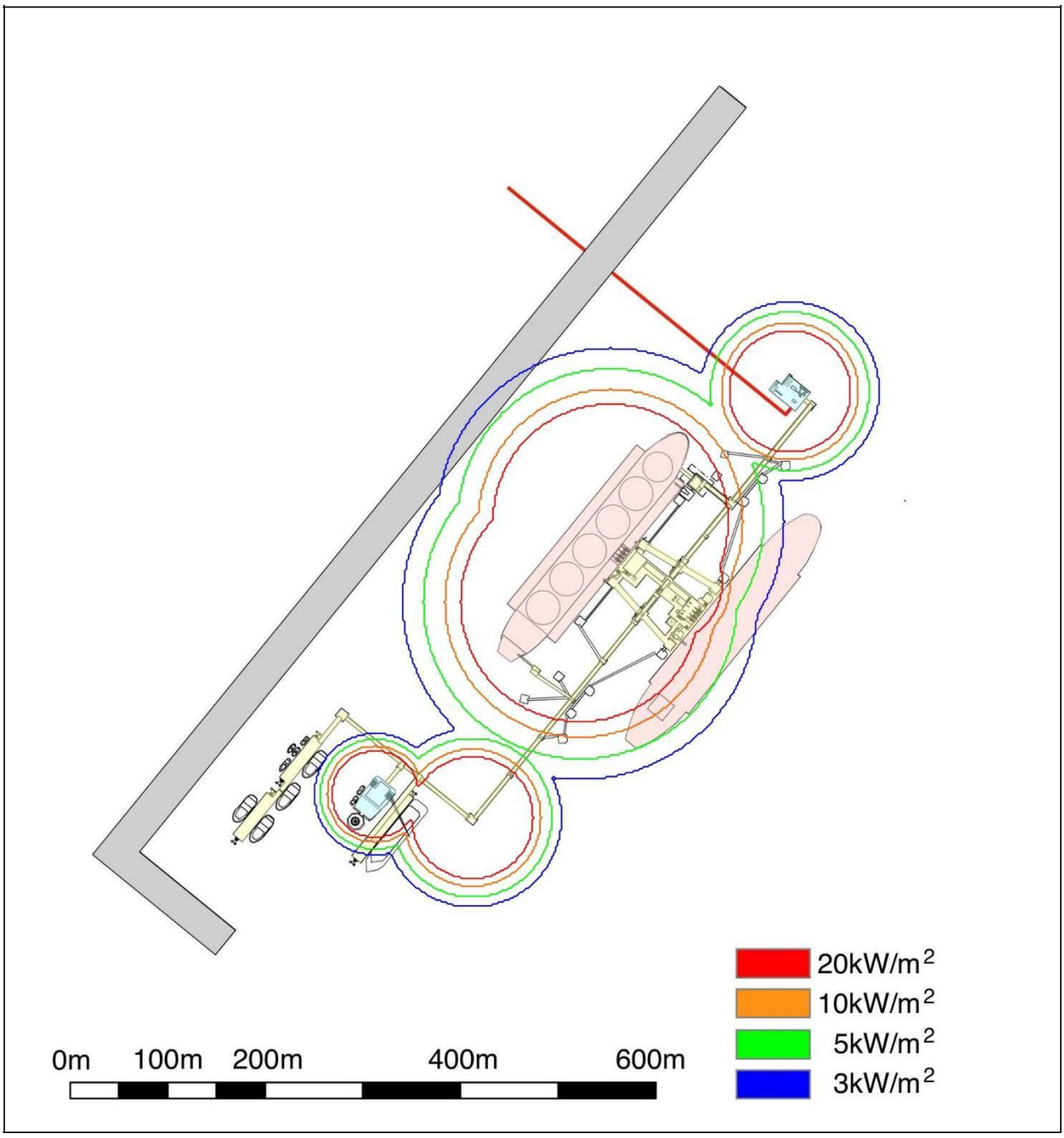


Figure 6-2 Portée maximale du rayonnement thermique provenant des jets enflammés sur le NSH

6.1.2. Feux de nappe

L'impact le plus grave dû au rayonnement thermique associé à un feu de nappe sur le FPSO est consécutif à une fuite d'hydrocarbure liquide associée au séparateur MP (MAE F-07). Concernant le NSH, le feu de nappe le plus important provient d'un déversement sans restriction à la surface de l'eau suite à un défaut du réservoir de stockage/cargaison du FLNG / méthanier (MAE N-17).

La portée maximale du rayonnement thermique dû aux feux de nappe sur le FPSO et le NSH est illustrée à la Figure 6-3 et la Figure 6-4.

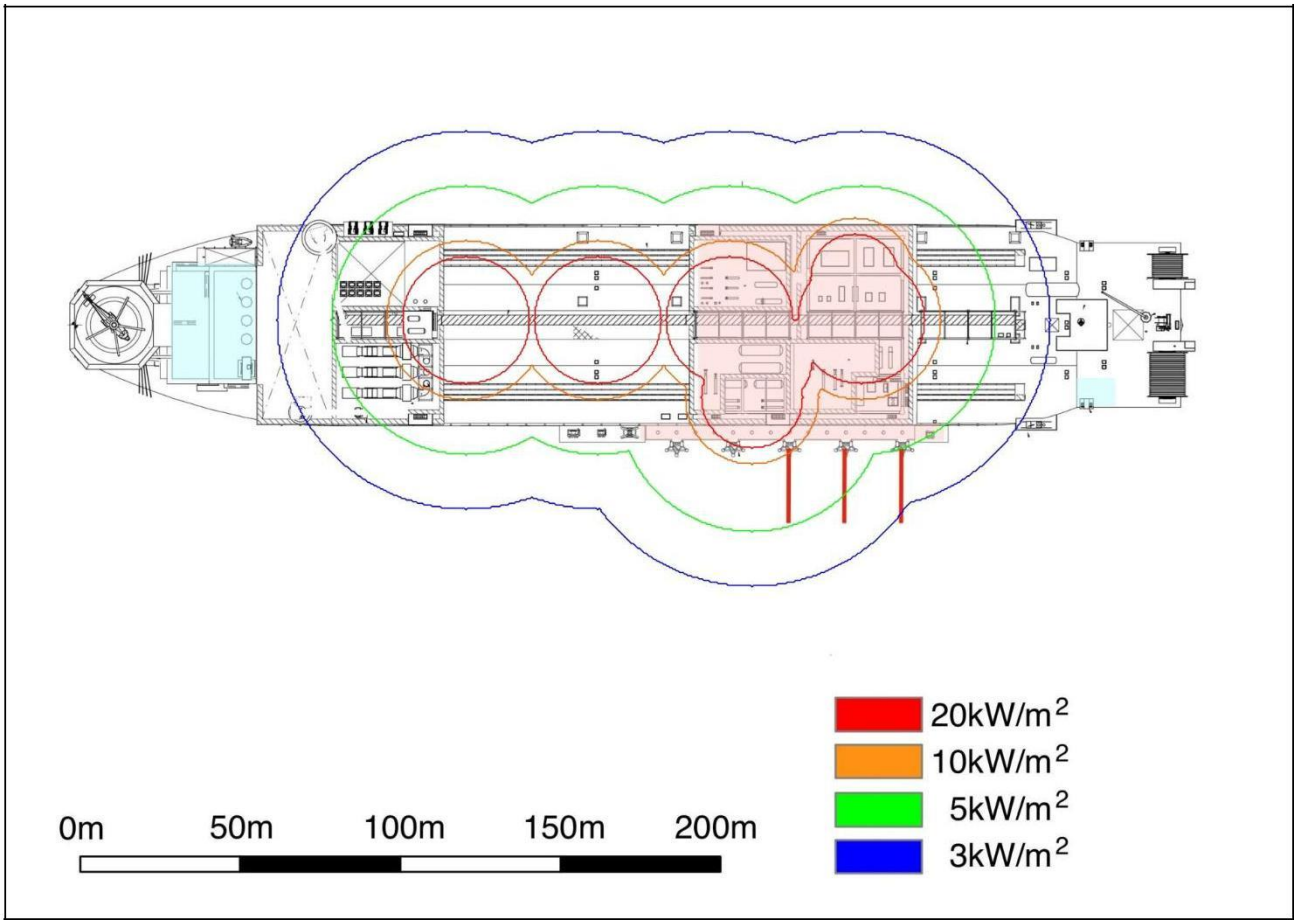


Figure 6-3 Portée maximale du rayonnement thermique provenant des feux de nappe sur le FPSO

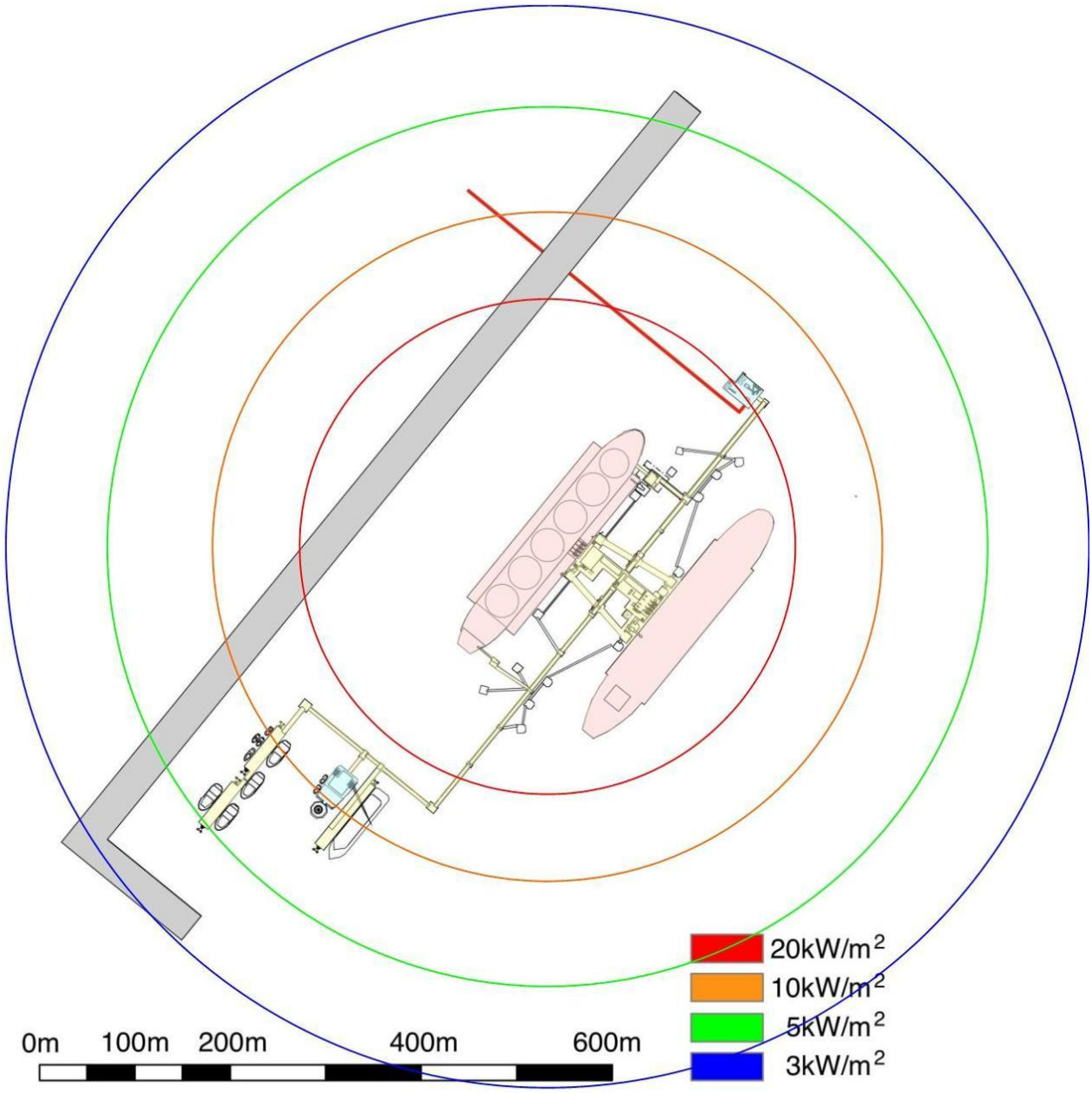


Figure 6-4 Portée maximale du rayonnement thermique provenant des feux de nappe sur le NSH

6.1.3. Boules de feu et BLEVE

La boule de feu la plus importante sur le FPSO provient d'une rupture du tube prolongateur de production (MAE F-01). Pour le NSH, la boule de feu la plus importante est consécutive à un défaut de type « le cas crédible le plus défavorable» provient d'une rupture du tube prolongateur de gaz d'importation (MAE N-01). Les boules de feu sont également envisagées dans les BLEVE des cuves de stockage de réfrigérant (MAE N-12) dont la portée la plus importante est consécutive à un BLEVE de cuve de propane.

La portée maximale de la dose thermique due aux boules de feu sur le FPSO et le NSH est illustrée à la Figure 6-5 et la Figure 6-6.

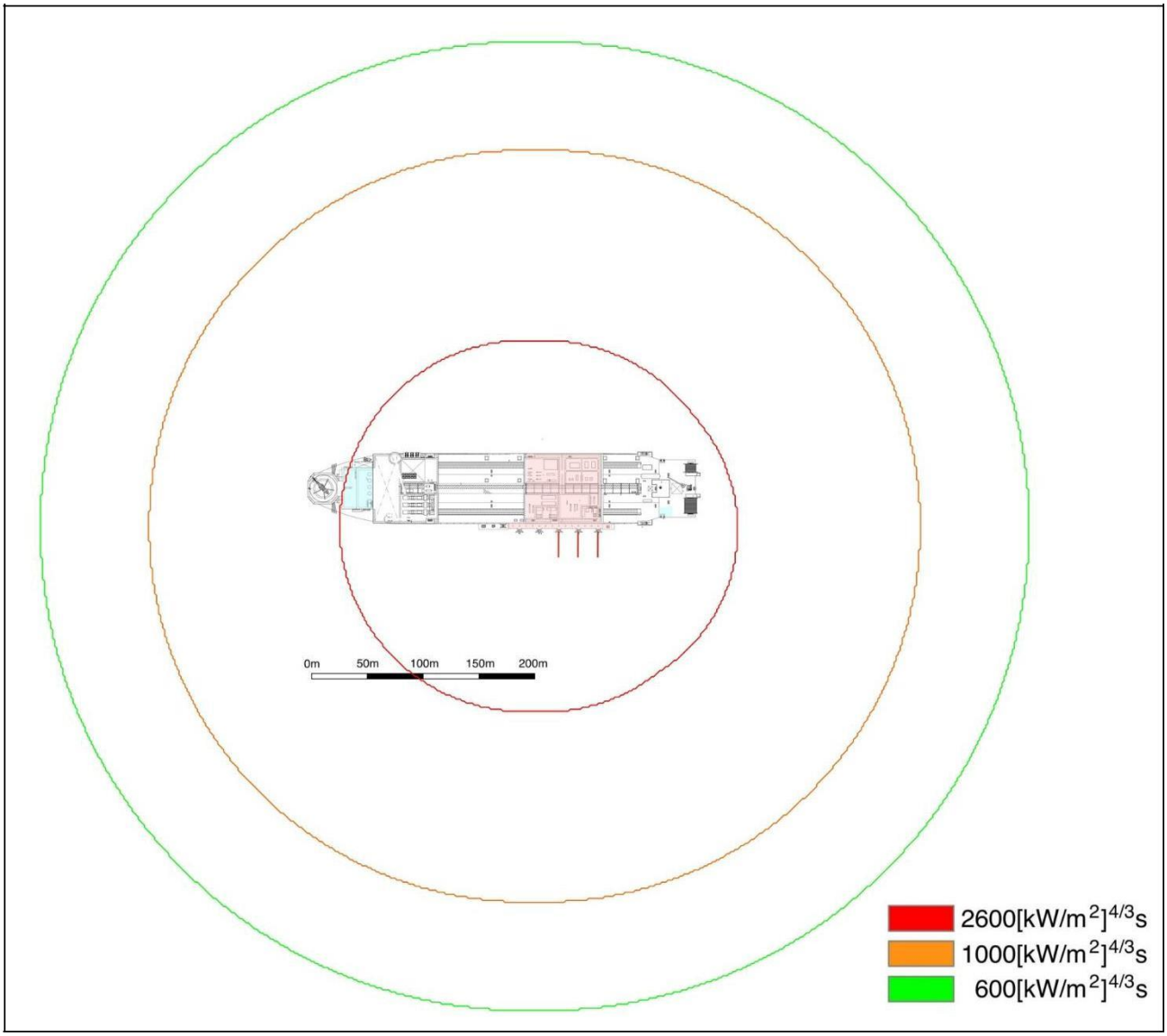


Figure 6-5 Portée maximale de la dose thermique provenant des boules de feu sur le FPSO

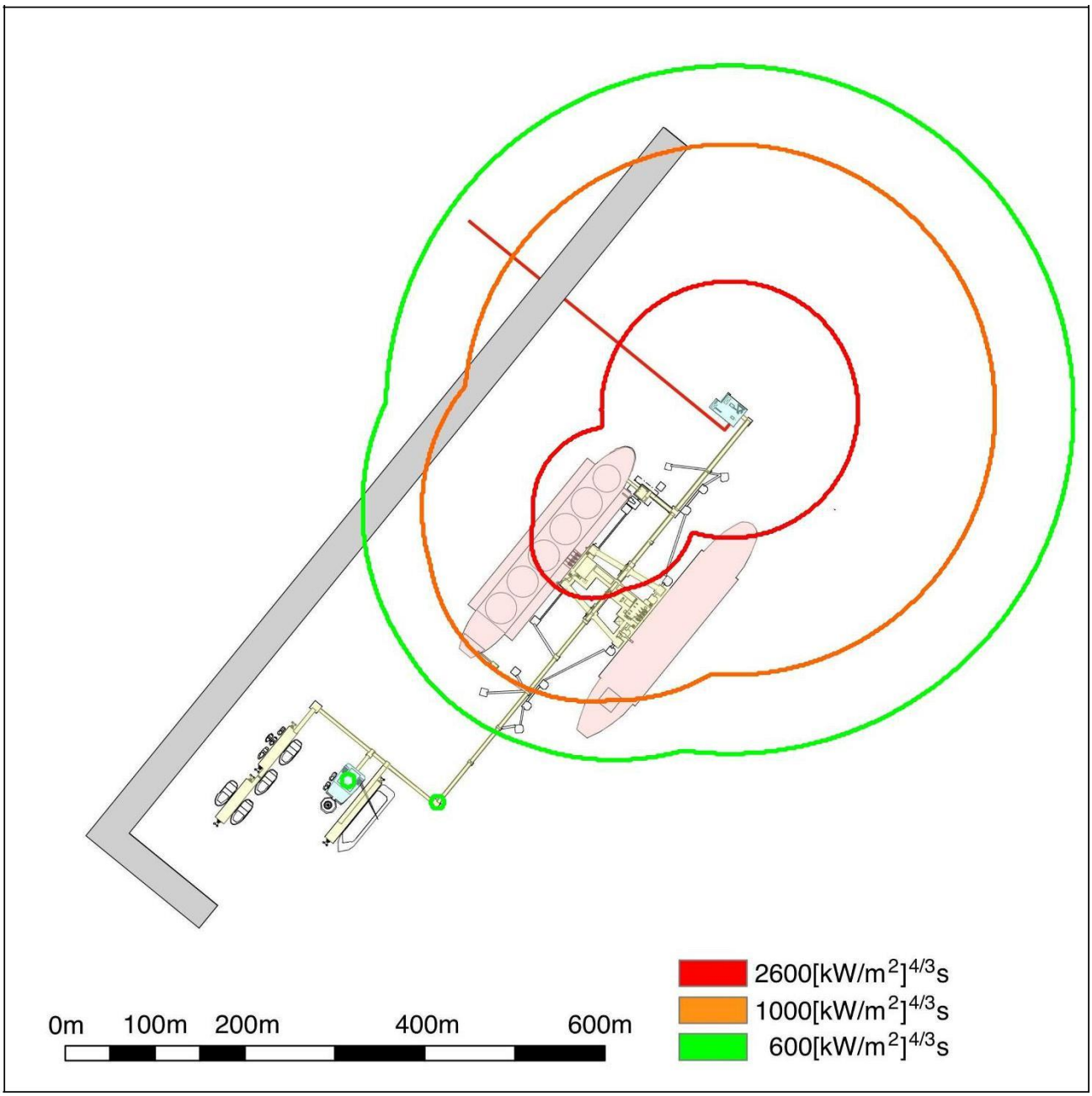


Figure 6-6 Portée maximale de la dose thermique provenant des boules de feu sur le NSH

6.1.4. Feu de type flash

Le plus large nuage de gaz inflammable provient d'un déversement sans restriction consécutif à un défaut catastrophique du réservoir de cargaison du FLNG / du méthanier (MAE N-17). La portée maximale du gaz inflammable sur le NSH est illustrée dans la Figure 6-7.

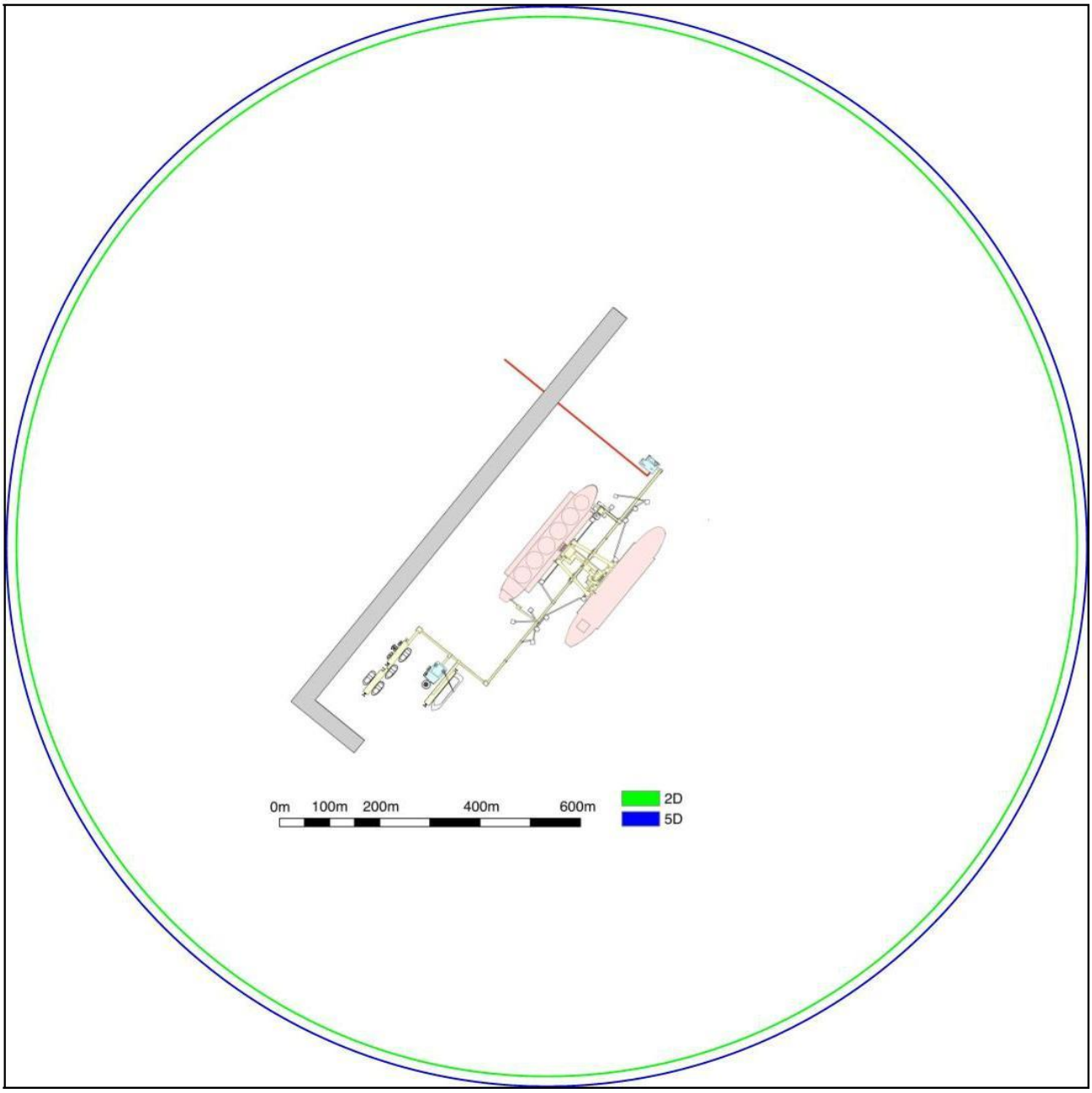


Figure 6-7 Portée maximale de la dispersion de gaz inflammable sur le NSH

Explosions

Les explosions les plus importantes du FPSO proviennent des vapeurs à inflammation instantanée d'une fuite liquide du séparateur BP (MAE F-08). Pour le navire de GNL flottant, les explosions les plus importantes sont dues à une fuite de gaz de l'unité de liquéfaction (MAE N-09) ou à une fuite depuis les circuits réfrigérants (MAE N-13 et N-14) des trains de GNL.

La portée maximale de la surpression due aux VCE (explosion du nuage de vapeur) sur le FPSO ou le NSH est illustrée à la Figure 6-8 et la Figure6-9.

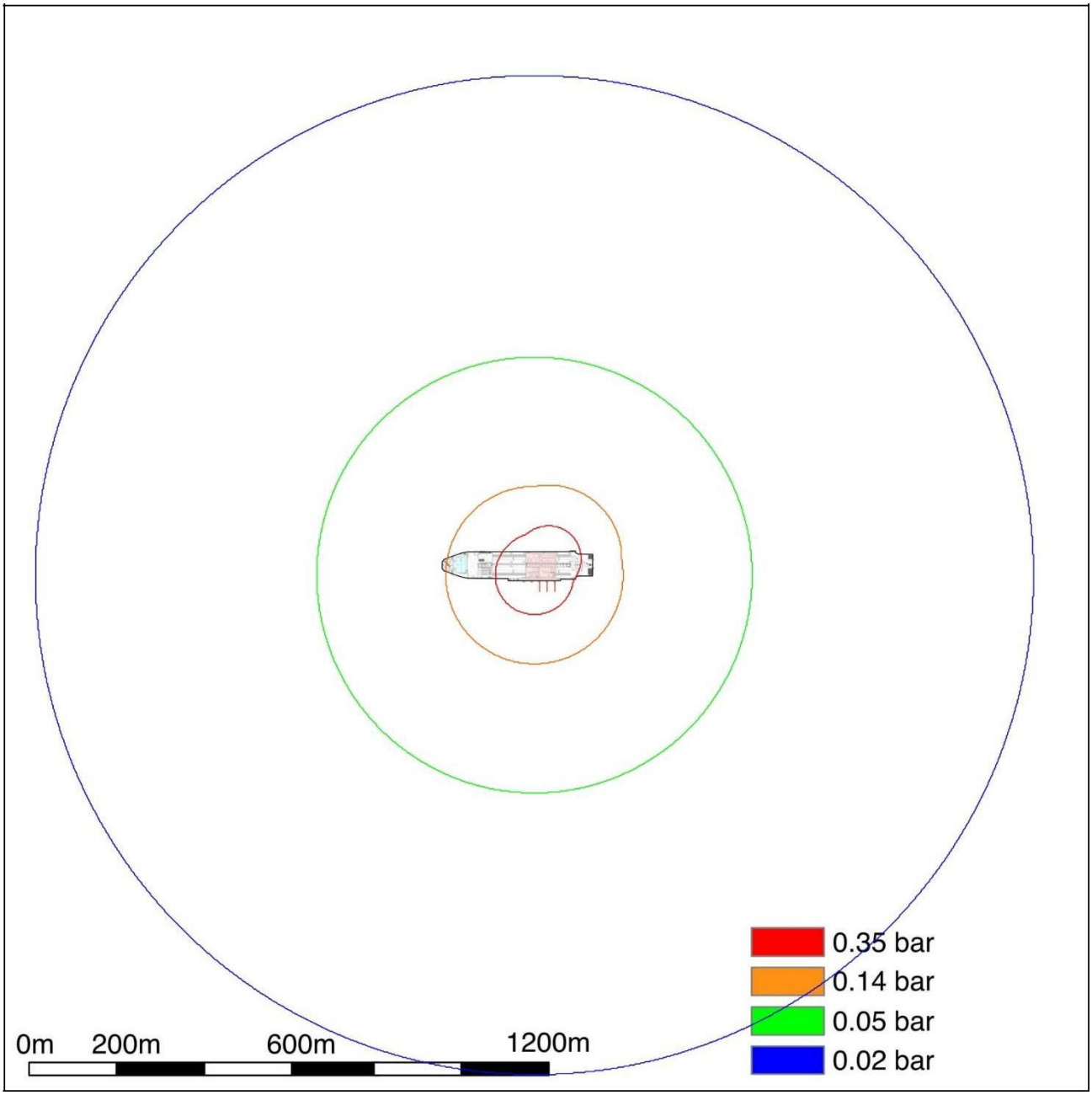


Figure 6-8 Portée maximale de la surpression provenant des VCE sur le FPSO

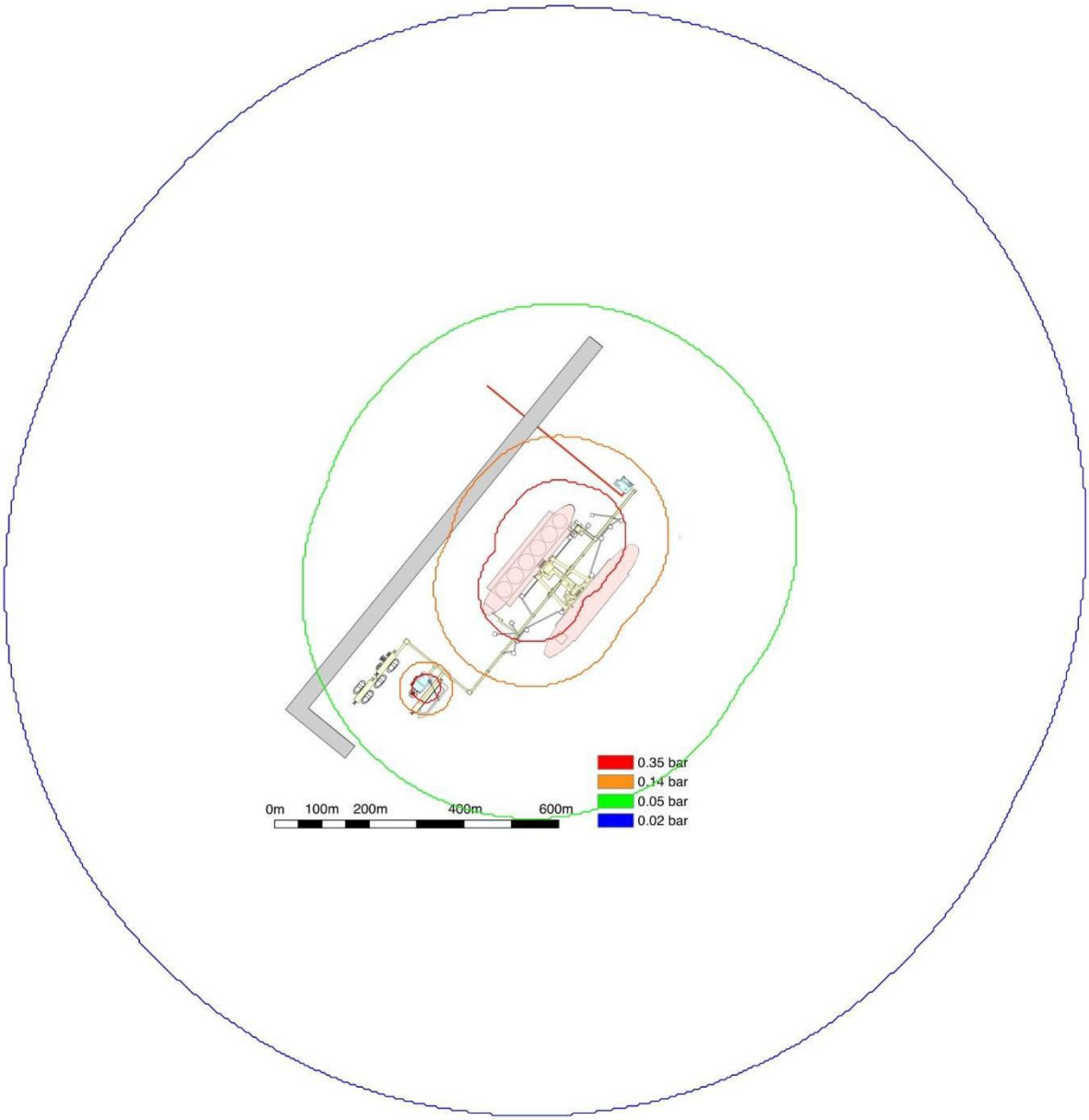


Figure 6-9 Portée maximale de la surpression provenant des VCE sur le NSH

Déversements cryogéniques

Les déversements cryogéniques les plus importants du FLNG proviennent de défauts catastrophiques du ballon de gaz vaporisé GNL (MAE N-11) et de la cuve de stockage de réfrigérant d'éthylène (MAE N-15). Le déversement le plus important à la surface de l'eau provient d'un déversement sans restriction suite à un défaut du réservoir de stockage/cargaison du FLNG / méthanier (MAE N-17).

6.2. Recommandations pour analyse ultérieure

Nous recommandons d'effectuer une analyse supplémentaire des effets dangereux des MAE d'hydrocarbure au cours de la phase FEED du projet Ahmeyim/Guembeul. Sur la base de l'analyse dans cette étude, les domaines suivants ont été identifiés pour considération :

- Modélisation de l'explosion du nuage de vapeur : La modélisation des VCE s'est limitée à la déflagration, néanmoins l'éthylène a un potentiel de dénotation qui peut entraîner des surpressions significativement supérieures, bien que les durées d'impulsion soient légèrement plus faibles. Il est recommandé que l'évaluation de la détonation de l'éthylène soit considérée dans la prochaine étape de la conception.
- Évaluation des pulvérisations cryogéniques : la modélisation des fuites cryogéniques a tenu compte de la portée des nappes cryogéniques sur le pont de process / la coque du FLNG, néanmoins, les fuites à pression élevée des unités de liquéfaction et de réfrigération sont susceptibles d'entraîner des pulvérisations à même de menacer les structures et le personnel des modules de process. L'évaluation de ce risque devrait être effectuée à la prochaine étape de la conception.
- Évaluation du risque d'effet domino aggravant : Une analyse détaillée du risque d'effet domino aggravant devrait être effectuée pour déterminer la probabilité de défaillance de l'équipement et des structures menant à une aggravation significative de l'évènement initial, par exemple, un incendie de réservoir de cargaison ou une rupture de tube prolongateur. De tels scénarios peuvent menacer l'intégrité du Rt ou du FPSO/ FLNG, et nécessiter une évacuation. L'aggravation peut être causée par un impact de surpression, engloutissement dans les flammes sur une certaine durée ou fragilisation des structures due à l'impact cryogénique. L'analyse de des effets dominos aggravants peut également permettre de déterminer l'avantage de la protection contre les incendies, les explosions ou les déversements cryogéniques pour les structures clés.
- Position des cuves de stockage de réfrigérant : Un incendie engouffrant les cuves de réfrigérant entraînera un BLEVE, générant une surpression significative et une importante boule de feu (comme illustrée dans le MAE N12). Nous recommandons de tenir compte de la position des cuves de réfrigérant pour minimiser l'effet domino aggravant.
- Inclure les SSIV : la modélisation des défauts de tube prolongateurs sur le FPSO a été effectuée en supposant que des SSIV seraient installées sur le tube prolongateur d'exportation et de production. La modélisation du tube prolongateur d'importation au niveau du NSH a été effectuée en supposant qu'il n'y avait pas de SSIV. Nous recommandations d'effectuer une analyse des avantages de SSIV sur le tube prolongateur d'importation. Elle permettra de limiter la durée de la fuite et de réduire ainsi l'effet domino aggravant.

7. Références

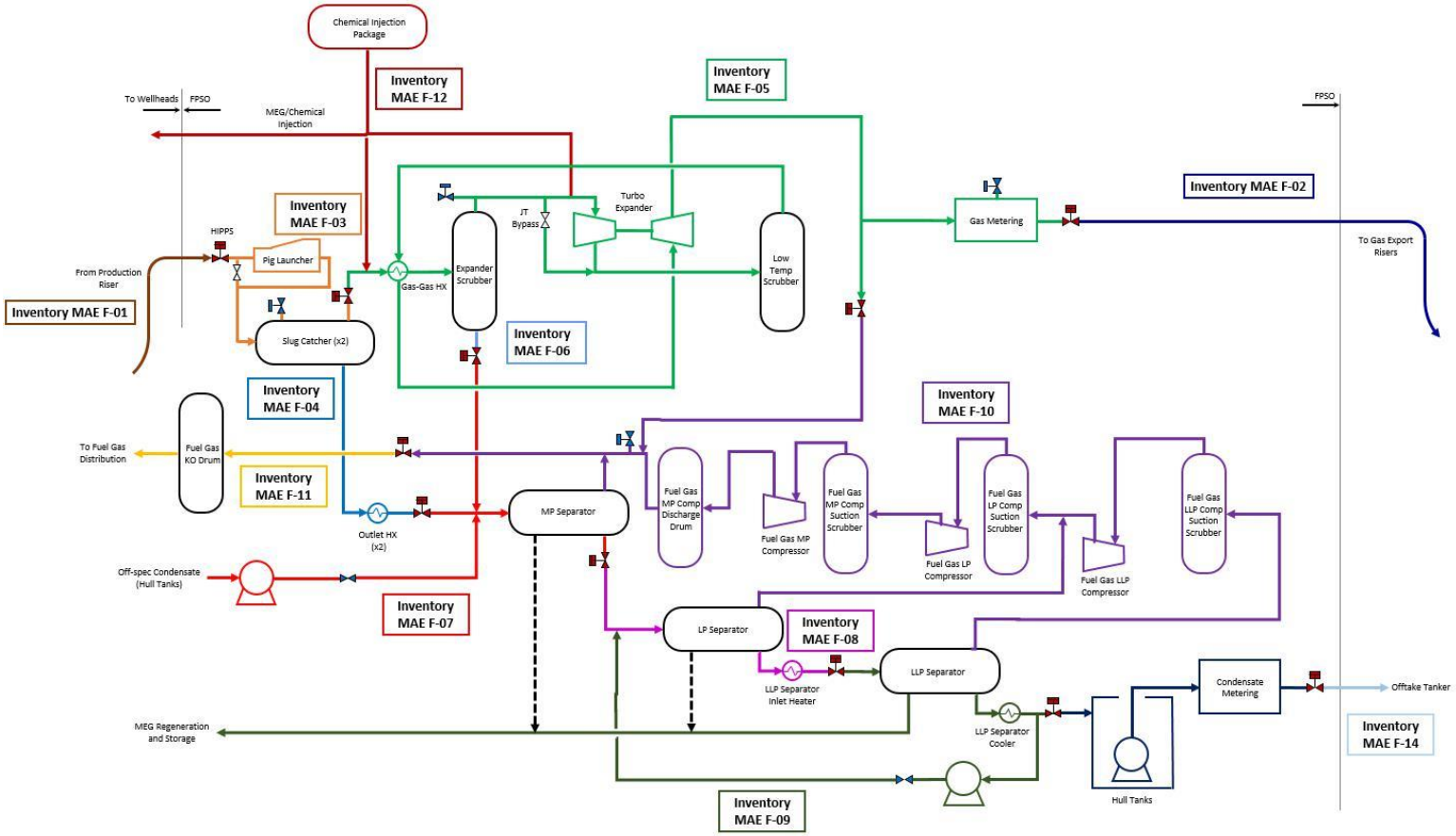
1. Équilibre entre chaleur et matériau, Phase 1A, projet interne BP, MS002-PR-LST-010-03004 (Rév. A01), octobre 2017.
2. ACDS (1991), Risques majeurs du transport de marchandises dangereuses : Rapport et annexes, Comité consultatif sur les substances dangereuses, H.M Stationery Office, HSE Books, 1991.
3. Pitblado, Documents du CCPS, Conséquence des incidents de GNL en mer, 18 juillet 2004.
4. SANDIA, Recommandations sur l'analyse de risque et implications de sécurité des déversements importants de gaz naturel liquéfié (GNL) en mer, 2004.
5. CPR 18E - Directives pour l'évaluation de risque quantitatif (« Purple Book »), série de publications sur les substances dangereuses (PGS 3), VROM, décembre 2005
6. Guide d'étude de risque, Ministère de l'environnement et de la protection de la nature, Département de l'environnement et des établissements classifiés, République du Sénégal, octobre 2005

Contient des informations *privées*

Annexes

Annexe A. Schémas simplifiés de procédé

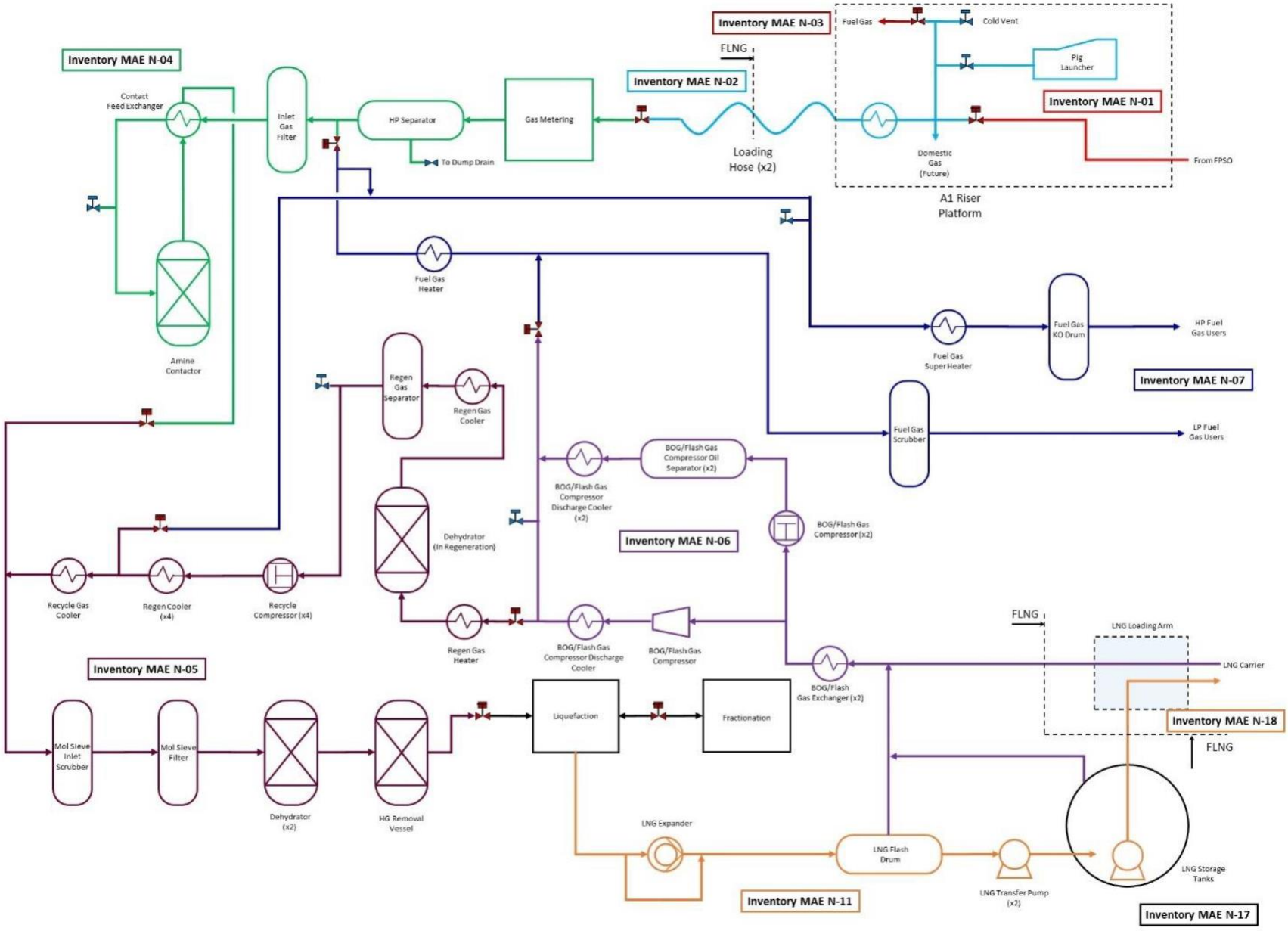
A.1. FPSO



To Wellheads	Vers les têtes de puits
FPSO	FPSO
Chemical injection Package	Ensemble d’injection chimique
MEG/Chemical Injection	MEG/Injection chimique
Inventory MAE F-12	Inventaire MAE F-12
Inventory MAE F-05	Inventaire MAE F-05
FPSO	FPSO
Inventory MAE F-02	Inventaire MAE F-02
Inventory MAE F-03	Inventaire MAE F-03
HIPPS	HIPPS
From Production Riser	À partir du tube prolongateur de production
Inventory MAE F-01	Inventaire MAE F-01
Pig Launcher	Lanceur de racleur
Slug Catcher (x2)	Récupérateur de bouchon liquide (x2)
Gas-Gas HX	Échangeur thermique Gaz-Gaz
Expander Scrubber	Épurateur de détendeur
JT Bypass	Soupape de dérivation JT
Turbo Expander	Détendeur à turbine
Low Temp Scrubber	Épurateur à basse température
Inventory MAE F-06	InventaireMAE F-06
Inventory MAE F-04	Inventaire MAE F-04
Fuel Gas KO Drum	Ballon séparateur de gaz de combustion
To Fuel Gas Distribution	Vers la distribution de gaz de combustion
Inventory MAE F-11	Inventaire MAE F-11
Off-spec Condensate (Hull Tanks)	Condensat non conforme (réservoirs à double paroi)
Inventory MAE F-07	Stockage MAE F-07
Outlet HX (x2)	Échangeur thermique de sortie (x2)
Gas Metering	Comptage de gaz
To Gas Export Risers	Vers les tubes prolongateurs de gaz d’exportation
Inventory MAE F-10	Stockage MAE F-10
MP Separator	Séparateur MP
Fuel Gas MP Comp Discharge Drum	Ballon de refoulement de compression MP de gaz de combustion

Fuel Gas MP Compressor	Compresseur MP de gaz de combustion
Fuel Gas MP Comp Suction Scrubber	Épurateur d'aspiration de compression MP de gaz de combustion
Fuel Gas BP Compressor	Compresseur BP de gaz de combustion
Fuel Gas BP Comp Suction Scrubber	Épurateur d'aspiration de compression BP de gaz de combustion
Fuel Gas TBP Compressor	Compresseur TBP de gaz de combustion
Fuel Gas TBP Comp Suction Scrubber	Épurateur d'aspiration de compression TBP de gaz de combustion
BP Separator	Séparateur BP
Inventory MAE F-08	Inventaire MAE F-08
TBP Separator Inlet Heater	Réchauffeur d'entrée de séparateur TBP
TBP Separator	Séparateur TBP
TBP Separator Cooler	Refroidisseur d'entrée de séparateur TBP
Inventory MAE F-09	Inventaire MAE F-09
Hull Tanks	Réservoirs à double paroi
Condensate Metering	Comptage de condensats
Offtake Tanker	Navire-citerne de déchargement
Inventory MAE F-14	Inventaire MAE F-14
MEG Regenaration and Storage	Régénération et stockage de MEG

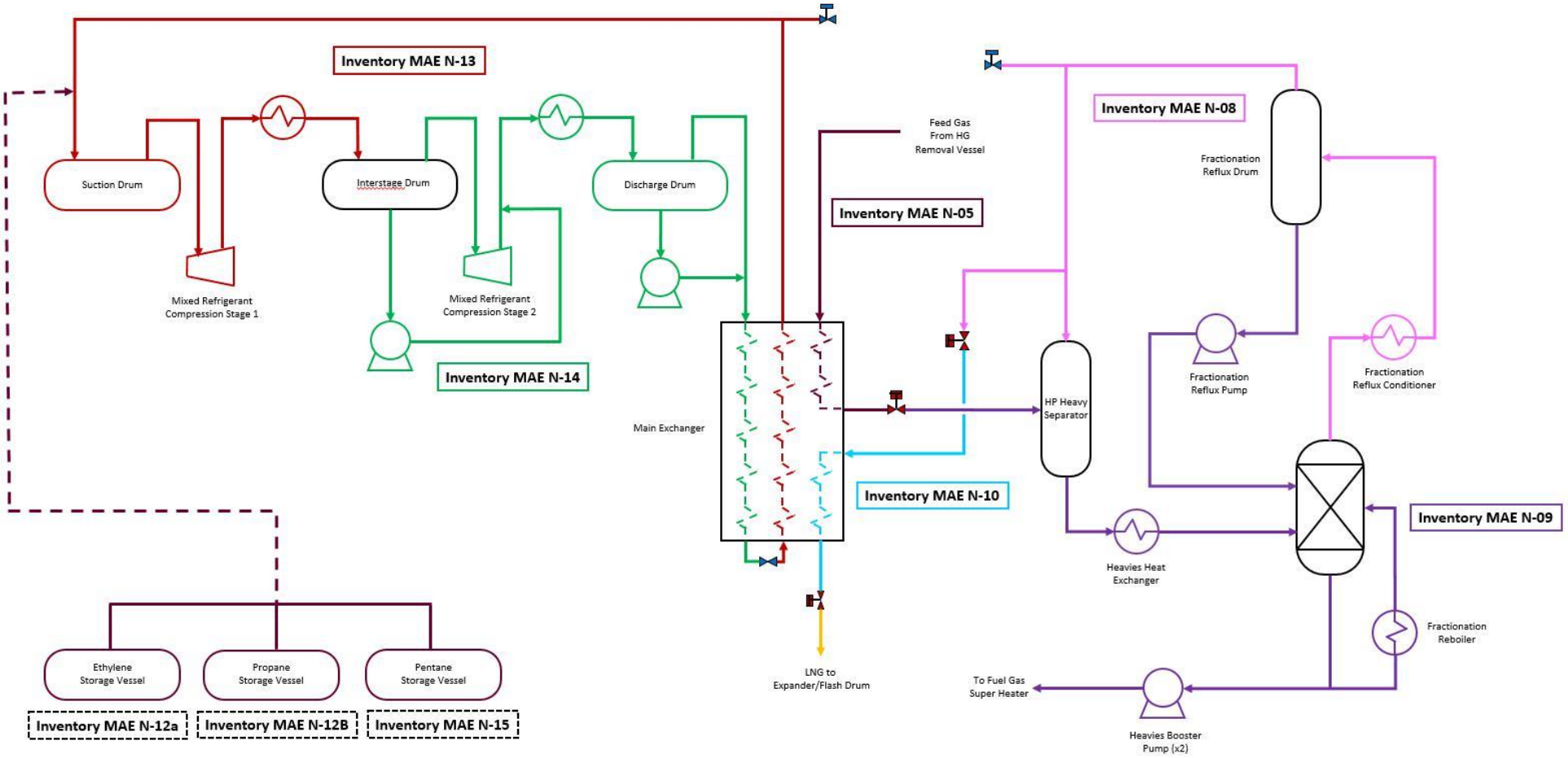
A.2. FLNG


Inventory MAE N-03
Fuel Gas
Cold Vent
FLNG
Pig Launcher
Inventory MAE N-04
Inventory MAE N-02
Inventory MAE N-01
Contact Feed Exchanger
Inlet Gas Filter
HP Separator
Gas Metering
To Dump Drain
Loading Hose (x2)
Domestic Gas (Future)
From FPSO
A1 Riser Platform
Fuel Gas Heater
Fuel Gas Super Heater
Fuel Gas KO Drum
HP Fuel Gas Users
Amine Contactor
Regen Gas Separator
Regen Gas Cooler
Inventory MAE N-07
Fuel Gas Scrubber
LP Fuel Gas Users
BOG/Flash Gas Compressor Oil Separator (x2)
BOG/Flash Gas Compressor Discharge Cooler (x2)
Dehydrator (In Regeneration)
Inventory MAE N-06
BOG/Flash Gas Compressor (x2)
Recycle Gas Cooler
Regen Cooler (x4)
Recycle Compressor (x4)
Regen Gas Heater
BOG/Flash Gas Compressor Discharge Cooler
BOG/Flash Gas Compressor
FLNG
LNG Loading Arm
LNG Carrier
Inventory MAE N-05
BOG/Flash Gas Exchanger (x2)
Inventory MAE N-18
FLNG
Mol Sieve Inlet Scrubber
Mol Sieve Filter
Liquefaction
Fractionation
Dehydrator (x2)
HG Removal Vessel
LNG Expander
LNG Flash Drum
LNG Transfer Pump (x2)
LNG Storage Tanks
Inventory MAE N-11
Inventory MAE N-17

Inventory MAE N-04	Inventaire MAE N-04
Contact Feed Exchanger	Échangeur d'alimentation de contacteur
Inlet Gas Filter	Filtre de gaz d'entrée
HP Separator	Séparateur HP
To Dump Drain	Vers la conduite de décharge
Gas Metering	Comptage de gaz
Inventory MAE N-02	Inventaire MAE N-02
FLNG	FLNG
Loading Hose (x2)	Flexible de chargement (x2)
Inventory MAE N-03	Inventaire MAE N-03
Fuel Gas	Gaz de combustion
Cold Vent	Évent froid
Pig Launcher	Lanceur de racleur
Domestic Gas (Future)	Gas intérieur (future)
Inventory MAE N-01	Inventaire MAE N-01
From FPSO	De la FPSO
A1 Riser Platform	Plateforme A1 de tubes prolongateur
Amine Contactor	Unité de traitement d'amines
Fuel Gas Heater	Réchauffeur de gaz de combustion
Fuel Gas Super Heater	Super-réchauffeur de gaz de combustion
Fuel Gas KO Drum	Ballon séparateur de gaz de combustion
HP Fuel Gas Users	Utilisateurs de gaz de combustion HP
Inventory MAE N-07	Inventaire MAE N-07
BP Fuel Gas Users	Utilisateurs de gaz de combustion BP
Fuel Gas Scrubber	Épurateur de gaz de combustion
Regen Gas Separator	Séparateur de gaz (régeneration)
Regen Gas Cooler	Refroidisseur de gaz (régeneration)
BOG/Flash Gas Compressor Discharge Cooler (x2)	Refroidisseur de rejet de compresseur BOG/Flash (x2)
BOG/Flash Gas Compressor Oil Separator (x2)	Séparateur d'huile de compresseur BOG/Flash (x2)
BOG/Flash Gas Compressor (x2)	Compresseur de gaz BOG/Flash (x2)

Recycle Gas Cooler	Refroidisseur de gaz du recycleur
Regen Cooler (x4)	Refroidisseur de régen. (x4)
Recycle Compressor (x4)	Compresseur de recyclage (x4)
Dehydrator (In Regeneration)	Déshydrateur (dans régénération)
Regen Gas Heater	Réchauffeur de gaz (régeneration)
Inventory MAE N-06	Inventaire MAE N-06
BOG/Flash Gas Compressor Discharge Cooler	Refroidisseur de refoulement de compresseur BOG/Flash
BOG/Flash Gas Compressor	Compresseur de gaz BOG/Flash
BOG/Flash Gas Exchanger (x2)	Échangeur de gaz BOG/Flash (x2)
FLNG	FLNG
LNG Loading Arm	Bras de chargement de GNL
LNG Carrier	Méthanier
Inventory MAE N-18	Inventaire MAE N-18
Inventory MAE-05	Inventaire MAE-05
Mol Sleve Inlet Scrubber	Épurateur d’entrée à tamis moléculaire
Mol Sleve Filter	Filtre à tamis moléculaire
Dehydrator (x2)	Déshydrateur x2
HG Removal Vessel	Cuve d’élimination de mercure
Liquefaction	Liquéfaction
Fractionation	Fractionnement
LNG Expander	Détendeur de GNL
Inventory MAE N-11	Inventaire MAE N-11
LNG Flash Drum	Ballon de gas vaporisé de GNL
LNG Transfer Pump (x2)	Pompe de transfert de GNL (x2)
LNG Storage Tanks	Cuves de stockage de GNL
Inventory MAE N-17	Inventaire MAE N-17

A.3. FLNG – Liquéfaction/Fractionnement



Inventory MAE N-13	Inventaire MAE N-13
Suction Drum	Ballon d’aspiration
Mixed Refrigerant Compression Stage 1	Stade 1 de compression de réfrigérant mélangé
Interstate Drum	Ballon inter-étage
Mixed Refrigerant Compression Stage 2	Stade 2 de compression de réfrigérant mélangé
Inventory MAE N-14	Inventaire MAE N-14
Discharge Drum	Ballon de refoulement
Main Exchanger	Échangeur principal
Ethylene Storage Vessel	Cuve de stockage d’éthylène
Inventory MAE N-12a	Inventaire MAE N-12a
Propane Storage Vessel	Cuve de stockage de propane
Inventory MAE N-12B	Inventaire MAE N-12B
Pentane Storage Vessel	Cuve de stockage de pentane
Inventory MAE N-15	Inventaire MAE N-15
Feed Gas From HG Removal Vessel	Gaz d’alimentation provenant de la cuve d’élimination de mercure
Inventory MAE N-05	Inventaire MAE N-05
Inventory MAE N-10	Inventaire MAE N-10
LNG to Expander/Flash Drum	Gaz naturel liquéfié vers le détendeur/ballon de flash
Inventory MAE N-08	Inventaire MAE N-08
Fractionation Reflux Drum	Ballon de reflux de fractionnement
HP Heavy Separator	Séparateur lourd HP
Fractionation Reflux Pump	Pompe de reflux de fractionnement
Fractionation Reflux Conditioner	Conditionneur de reflux de fractionnement
Heavies Heat Exchange	Réchauffeur de fractions lourdes
Inventory MAE N-09	Inventaire MAE N-09
To Fuel Gas Super Heater	Vers le super-réchauffeur de gaz de combustion
Fractionation Reboiler	Rebouilleur de fractionnement
Heavies Booster Pump (x2)	Pompe booster de fractions lourdes (x2)

Annexe B. Inventaires et listes MAE du projet Ahmeyim/Guembeul

B.1.1. Inventaires MAR du FLNG

Emplacement	MAE ID	Accident majeur	Type de fuite	Produit	Pression (bar)	Température (°C)	Volume m^3	Masse kg
FLNG	N-01	Rejet de gaz provenant du tube prolongateur de gaz d'importation (S5)	Gaz	Méthane	74	16	15 733	1 101 329
FLNG	N-02	Fuite de gaz de ligne de production/tuyau de gaz du quai mobile vers le FLNG (S4)	Gaz	Méthane	74	16	46	2 919
FLNG	N-03	Fuite de gaz de ligne de production sur quai mobile vers plateforme QU (S4)	Gaz	Méthane	74	16	2.	95
FLNG	N-04	Fuite de gaz au niveau du comptage d'entrée et traitement aux amines de FLNG (S4)	Gaz	Méthane	60	44	-	28 670
FLNG	N-05	Fuite de gaz de l'unité de déshydratation et de régénération de du FLNG (S4)	Gaz	Méthane	60	40	-	19 962
FLNG	N-06	Fuite de gaz de la compression de gaz vaporisé / gaz d'évaporation du FLNG (S4)	Gaz	Méthane	60	36	-	131
FLNG	N-07	Fuite de gaz du système de gaz de combustion HP du FLNG (S4)	Gaz	Méthane	38	45	4.	191
FLNG	N-08	Fuite de gaz de fractionnement du FLNG (S4)	Gaz	Méthane	30	-40	290	7 250
FLNG	N-09	Fuites liquides d'hydrocarbure léger du système de fractionnement du FLNG (S4)	Liquides	Propane	30	20	20	12 000
FLNG	N-10	Fuite de GNL suite au procédé de liquéfaction du FLNG (S4)	Liquides	Méthane	18	-109	25	11 750
FLNG	N-11	Fuite de GNL d'un ballon de gaz vaporisé du FLNG (S4)	Liquides	Méthane	6	-158	64	30 143
FLNG	N-12	BLEVE de cuve du FLNG contenant du réfrigérant (S4)	Liquides	Éthylène	3.	-83	20	11 400
FLNG	N-12	BLEVE de cuve du FLNG contenant du réfrigérant (S4)	Liquides	Propane	9	25	50	25 500

Emplacement	MAE ID	Accident majeur	Type de fuite	Produit	Pression (bar)	Température (°C)	Volume m^3	Masse kg
à l'équipement de FLNG	N-12	BLEVE de cuve du FLNG contenant du réfrigérant (S4)	Liquides	Pentane	1,5	48	75	46 200
à l'équipement de FLNG	N-13	Fuite de gaz provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR dut FLNG (S4)	Gaz	Propane	10,4	45	115	1,75
à l'équipement de FLNG	N-14	Fuite liquide / à deux phases provenant de la boucle fermée de réfrigérant SMR du FLNG (S5)	Liquides	Propane	40	55	33	15 624
à l'équipement de FLNG	N-15	Fuite de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant de du FLNG (S5)	Liquides	Propane	9	25	50	25 500
à l'équipement de FLNG	N-15	Fuite de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant du FLNG (S5)	Liquides	Éthylène	3.	-83	20	11 400
à l'équipement de FLNG	N-15	Fuite de réfrigérant provenant du stockage de réfrigérant du FLNG (S5)	Liquides	Pentane	1,5	48	75	46 200
à l'équipement de FLNG	N-16	Fuite de gaz (gaz de combustion) sur l'espace/zone de service de la plateforme QU (S4)	Gaz	Méthane	38	45	2.	95
à l'équipement de FLNG	N-17	Fuite de GNL des réservoirs de stockage du FLNG / méthanier (S5)	Liquides	Méthane	1.	-158	20 267	9 791 667
à l'équipement de FLNG	N-18	Rejet de GNL pendant le chargement de GNL (S4)	Liquides	Méthane	7	-158	40	18 800

B.1.2. Inventaire de produits dangereux du FPSO

Emplacement	MAE ID	Accident majeur	Type de fuite	Description de l'inventaire	Produit	Pression (bar)	Température (°C)	Volume m^3	Masse kg
FPSO	F-01	Fuite d'hydrocarbure du tube prolongateur de production	Gaz	Colonne montante de production	Fluides de gisement	97	3	437,1	48 523
FPSO	F-02	Rejet de gaz provenant des tubes prolongateurs de gaz d'exportation	Gaz	Colonne montante de gaz d'exportation	Méthane	79	15	437,1	30600
FPSO	F-03	Fuite de gaz d'équipements de réception (récupérateur de bouchon liquide)	Gaz	Installations d'accueil (Gaz)	Méthane	93	1,4	143,2	13319
FPSO	F-04	Fuite liquide d'équipements de réception (récupérateur de bouchon liquide)	Liquides	Installations d'accueil (liquide)	*Condensat*	93	1,4	47,7	36807
FPSO	F-05	Rejet de gaz provenant du traitement des gaz	Gaz	Traitement de gaz et Comptage (gaz)	Méthane	91	15	34,8	3063
FPSO	F-06	Rejet de gaz liquide provenant du traitement des gaz	Liquides	Traitement des gaz (liquide)	*Condensat*	91	-3,5	1,5	1384
FPSO	F-07	Rejet de liquide du séparateur MP	Liquides	Séparation de condensat - MP (liquide)	*Condensat*	40	45	31,0	23 906
FPSO	F-08	Rejet de liquide du séparateur BP	Liquides	Séparation de condensat - BP (liquide)	*Condensat*	45	12	18,4	14 417
FPSO	F-09	Rejet de liquide du séparateur TBP	Liquides	Condensat Stabilisation - TBP (liquide)	*Condensat*	65	1,6	25,7	20 267
FPSO	F-10	Fuite de gaz au niveau de la compression de gaz vaporisé	Gaz	Compression de gaz vaporisé	Méthane	39	46	8,2	154
FPSO	F-11	Rejet de gaz provenant du système de gaz de combustion	Gaz	Système de gaz de combustion	Méthane	38	45	2,1	95
FPSO	F-12	Rejet de produits chimiques d'injection au niveau des installations de surface	Liquides	Désémulsifiant chimique de production	Solution incluant pétrole, distillats et essences minérales	1	20	7,4	7 326
FPSO	F-14	Incendie du réservoir stockage des condensats	Liquides	Stockage de condensat Réservoir 2C/3C	*Condensat*	1	20	32 884,0	26 405 852

© Atkins Ltd sauf mention contraire

Le logo d’Atkins, « Carbon Critical Design » et le surtitre « Plan Design Enable » sont des marques de commerce de Atkins Ltd.

ANNEXE O : DONNÉES COMPLÉMENTAIRES À L'ÉTUDE DE DANGERS

Annexe O
Données complémentaires à l'Étude de dangers

CONTENU DE L'ANNEXE

O-1 Liste provisoire des matières et substances dangereuses

O-2 Tableaux résumant l'analyse préliminaire des risques

O-3 Schémas nœud papillon (classement de sévérité 4)

O-4 Tableaux résumant l'analyse des risques professionnels

O-5 Exemple d'approche par nœud papillon avec arbre de défaillance/d'événement (D-01 éruption de puits ou fuite de puits)

ANNEXE O-1 : LISTE PROVISOIRE DES MATIÈRES ET SUBSTANCES DANGEREUSES

LISTE PROVISOIRE DES MATIÈRES ET SUBSTANCES DANGEREUSES

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Produits chimiques (généraux)												
Acétone	Solvant	Liquide	Non fourni dans la FDS	Extrêmement inflammable. Irritant pour les yeux. L'inhalation des émanations peut provoquer de la somnolence et des étourdissements	Oxydes de carbone	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	2 cylindres de 18 L					
Acétylène	Gaz de soudage	Gaz		H220 Gaz extrêmement inflammable. H231 Peut exploser même en l'absence d'air à une pression et/ou une température élevées. H280 Gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur	Monoxyde de carbone, dioxyde de carbone et hydrogène	Cuivre, argent et mercure	16 bouteilles de 1,42 m^3					
Ambertron	Produits nettoyants de précision	Liquide		H222 Aérosol extrêmement inflammable. H229 Contenant sous pression : peut exploser s'il est chauffé. H315 Provoque une irritation de la peau. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Oxydants forts	12 contenants aérosol de 500 ml					
Nettoyant antistatique en mousse	Produit nettoyant	Liquide	Non fourni dans la FDS	H229 Contenant sous pression : peut exploser sous l'effet de la chaleur	Émanations toxiques	Aucun indiqué dans la FDS	24 contenants aérosol de 500 ml					
Nettoyant de freins	Produits de lavage et de nettoyage	Liquide		H222 Aérosol extrêmement inflammable. H229 Contenant sous pression : peut exploser s'il est chauffé. H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. H315 Provoque une irritation de la peau. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Émanations toxiques	Oxydants forts	24 contenants aérosol de 500 ml					
CRC 2049	Enduit étanche d'uréthane clair pour gaines électriques	Liquide		H222 Aérosol extrêmement inflammable. H302 Nocif en cas d'ingestion. H312 Nocif par contact cutané. H332 Nocif par inhalation. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H361 Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. H402 Néfaste pour les organismes aquatiques	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Aucun indiqué dans la FDS	24 contenants aérosol de 500 ml					
CRC Letra Clean	Produit de nettoyage/dégrais sant pour équipement électrique	Liquide		Aérosol extrêmement inflammable. Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Provoque une irritation de la peau. Provoque une sévère irritation des yeux. Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Aucun indiqué dans la FDS	Oxydants forts	48 contenants aérosol de 50 ml					
CRC Marine Fuel Stabiliser	Stabilisant pour diesel	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. Peut provoquer une allergie cutanée. Provoque des lésions oculaires graves. Peut irriter les voies respiratoires. Susceptible de provoquer le cancer. Susceptible de nuire au fœtus. Risque présumé d'effets graves pour les organes (système nerveux central, oreilles, reins, foie, système nerveux périphérique) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. Toxique pour les organismes aquatiques. Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone	Acides forts, oxydants forts et halogènes	25 L					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Dichlorodifluorométhane	Liquide de refroidissement	Gaz liquéfié		Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur	Halogènes, acides halogènes et, possiblement, halogénures de carbonyle	Surfaces d'aluminium fraîchement abrasées et métaux réactifs	900 kg (R 12) 70 kg (R 310)					
Diesel	Carburant pour moteurs	Liquide		Liquide combustible. Provoque une légère irritation de la peau. Susceptible de provoquer le cancer. Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone	Oxydants	8 458 m^3			4 266 m^3	4 266 m^3	400 m^3
Nettoyant Ecolab Quik Fill Magnum 34	Nettoyant pour mamelons de tuyaux	Liquide		Nocif par inhalation. Provoque une irritation des yeux.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, oxydes de soufre et oxyde(s) métalliques	Aucun indiqué dans la FDS	24 L					
Nettoyant Ecolab Quik Fill Neutral 34	Nettoyant pour mamelons de tuyaux	Liquide	Non fourni dans la FDS	Provoque une irritation des yeux.	Oxydes de carbone et oxydes d'azote	Aucun indiqué dans la FDS	12 L					
EMC Plus	Nettoyant industriel alcalin pour planchers	Liquide		H315 Provoque une irritation de la peau. H318 Provoque des lésions oculaires graves.	Gaz ou émanations irritants	Aucun indiqué dans la FDS	24 L					
EVO-STIK 528	Adhésif	Liquide		H225 Liquide et vapeurs très inflammables. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Aucun indiqué dans la FDS	24 cylindres de 500 ml					
HDC-ALK-002	Nettoyant alcalin de base	Liquide	Non fourni dans la FDS	Nocif en cas d'ingestion. Provoque une irritation cutanée. Risque de lésions oculaires graves	Émanations toxiques	Aucun indiqué dans la FDS	150 L					
Alcool isopropylique (solution aqueuse)	Antiseptique, nettoyant pour surfaces	Liquide		H225 Liquide et vapeurs très inflammables. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Aucun indiqué dans la FDS	Oxydants forts, acétylène, acides, chlores, peroxyde d'hydrogène, oxyde d'éthylène, acide sulfurique, isocyanates et aluminium	6 bouteilles de 500 ml					
Carburéacteur	Carburant d'aviation (pour hélicoptères)	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Provoque une irritation de la peau. Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Oxydes d'azote, oxydes de carbone et hydrocarbures aromatiques	Acides et oxydants	2 900 L					
Jotacote Universal Comp A	Revêtements divers : phase solvant	Liquide	Non fourni dans la FDS	Liquide et vapeur inflammables. Légèrement irritant pour les yeux et la peau.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, composés halogénés et oxyde(s) métalliques	Aucun indiqué dans la FDS	40 L					
Aluminium Jotamastic 87 Comp A	Revêtements divers : résine époxy/phase solvant	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Provoque une sévère irritation des yeux. Provoque une irritation de la peau. Peut provoquer une allergie cutanée. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée — système nerveux central. Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, composés halogénés et oxyde(s) métalliques	Oxydants, alcalins forts, acides forts	280 L					
Solvant Jotun no 10	Diluant/solvant de dégraissage	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Nocif par contact cutané ou inhalation. Provoque une sévère irritation des yeux. Provoque une irritation de la peau. Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants, alcalins forts et acides forts	160 L					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Solvant Jotun no 17	Diluant/solvant de dégraissage	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Provoque des lésions oculaires graves. Provoque une irritation de la peau. Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Peut irriter les voies respiratoires. Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants	180 L					
Agent d'étanchéité Loctite 1	Scellement	Pâte		Provoque une irritation de la peau. Peut provoquer une allergie cutanée. Provoque des lésions oculaires graves. Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation.	Aldéhydes, oxydes de carbone, acides carboxyliques et vapeurs irritantes	Acide nitrique, oxydants forts, amines, ammoniaque, acide sulfurique et acides forts	10 contenants de 40 ml					
Frein filet Loctite 222	Scellement	Liquide		Provoque une irritation des yeux et de la peau. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone, oxydes de soufre, oxydes d'azote et vapeurs organiques irritantes	Oxydants forts	12 contenants de 50 ml					
Frein filet Loctite 242C	Colle	Liquide		Provoque une sévère irritation des yeux.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote et vapeurs organiques irritantes	Aucun indiqué dans la FDS	12 contenants de 50 ml					
Loctite 406	Colle	Liquide		H227 Liquide combustible. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	Monoxyde de carbone, dioxyde de carbone et oxydes d'azote	Eau, amines, alcalins et alcools	10 contenants de 40 ml					
Loctite 542	Mastic anaérobie	Liquide		Provoque une irritation de la peau. Peut provoquer une allergie cutanée. Provoque une sévère irritation des yeux. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone et vapeurs organiques irritantes	Peroxydes	10 contenants de 10 ml					
Loctite C5-A	Lubrifiant, antigrippant	Pâte		Provoque une irritation de la peau. Peut provoquer une allergie cutanée. Provoque des lésions oculaires graves.	Oxydes de carbone	Acides forts, bases fortes et oxydants	6 kg					
Gel Loctite Super Glue Control	Colle	Liquide		Colle en quelques secondes. Liquide combustible. Provoque une irritation des yeux. Peut irriter les voies respiratoires.	Oxydes de carbone. Vapeurs irritantes et toxiques.	Eau, amines, alcalins et alcools	24 contenants de 50 ml					
Huile de graissage	Lubrification des moteurs	Liquide	Non fourni dans la FDS	Liquide combustible. Toxique pour les organismes aquatiques. Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	190 m^3					
Antigrippant de qualité marine	Lubrifiant	Pâte		Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	Oxydes de carbone et azote	Acides forts, bases fortes, agents oxydants forts et agents réducteurs forts	12 kg					
Méthanol	Nettoyant et désinfectant	Liquide		Liquide et vapeurs très inflammables. Peut déplacer l'oxygène et causer une suffocation rapide. Corrosif pour les voies respiratoires.	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants	6 contenants de 500 ml					
Lubrifiant de précision tout usage	Lubrifiant tout usage	Liquide		Aérosol extrêmement inflammable. Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone	Oxydants forts	6 contenants aérosol de 500 ml					
NALCOOL 2000	Épuration de l'eau de refroidissement	Liquide	Non fourni dans la FDS	Nocif en cas d'ingestion. Provoque une irritation cutanée et oculaire. Nocif pour les organismes aquatiques.	Oxydes de carbone et azote	Agents réducteurs, amines et acides forts	250 L					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Nettoyant pour les fours	Nettoyant pour les fours	Liquide		Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre et oxydes de phosphore	Acides	54 contenants de 0,5 l					
Oxygène	Gaz de soudage	Gaz		H270 Peut provoquer ou aggraver un incendie; comburant. H280 Gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur	Aucun indiqué dans la FDS	Matières combustibles et agents réducteurs	34 bouteilles de 1,42 m^3					
Penguard Tie Coat 100 Comp B	Revêtements Divers : Durcisseur	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Nocif par inhalation. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. Peut provoquer une allergie cutanée. Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et oxydes d'azote	Oxydants, alcalins forts et acides forts	22 cylindres de 12,5 L					
Solution d'iode Povidone	Nettoyant et désinfectant	Liquide	Non fourni dans la FDS	Provoque une irritation des yeux. Peut causer des effets toxiques chroniques	Oxydes de carbone, oxydes d'azote et iode	Substances caustiques, oxydants et agents réducteurs	15 contenants de 500 ml					
Vernis protecteur	Protection de l'équipement	Liquide		H222 Aérosol extrêmement inflammable. H229 Contenant sous pression : peut exploser sous l'effet de la chaleur H317 Peut provoquer une allergie cutanée. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Émanations toxiques	Oxydants	24 contenants aérosol de 500 ml					
Saf-Acid	Retrait des dépôts minéraux dans les chaudières, les conduits, les échangeurs de chaleur, etc.	Poudre		H290 Peut être corrosif pour les métaux. H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H412 Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone, chlorure d'hydrogène, phosgène, oxydes d'azote, oxydes de soufre et autres produits de pyrolyse	Alcalins, oxydants et produits chimiques facilement décomposés par des acides	4 chaudières de 25 kg					
Solvant Sigma 21-06	Diluant, solvant de dégraissage	Liquide	Non fourni dans la FDS	Liquide inflammable. Nocif par inhalation et par contact cutané. Provoque une irritation cutanée.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et oxydes d'azote	Oxydants, alcalins forts et acides forts	12 L					
Carbonate de sodium	Régulateur de pH	Solide	Non fourni dans la FDS	Provoque une irritation des yeux.	Dioxyde de carbone	Acides et oxydants	240 contenants de 5 gallons					
Bisulfite de sodium (40 %)	Déchloration, déionisation, déchromatation et désoxygénation de l'eau	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion	Gaz sulfureux. Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique.	Oxydants et acides	250 L					
Solution d'hydroxyde de sodium (30-54 %)	Agent de neutralisation, nettoyant industriel, agent de trituration	Poudre		Peut être corrosif pour les métaux. Nocif en cas d'ingestion. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	Aucun indiqué dans la FDS	Eau, sucres réducteurs, acides, éthylèneglycols, produits organiques halogénés et composés organiques d'azote	240 cruches de 5 gallons					
Hypochlorite de sodium	Nettoyage de surfaces, blanchiment, élimination des odeurs et désinfection de l'eau	Liquide		H290 Peut être corrosif pour les métaux. H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. H400 Très toxique pour les organismes aquatiques.	Oxygène et chlore	Acides, amines, agents réducteurs et hydrocarbures						
Strip-A-Way	Agent de détartrage	Liquide		H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	Oxydes d'azote et oxydes de phosphore	Alcalins	12 L					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Nettoyant en mousse UNITOR	Nettoyant	Liquide		Risque de lésions oculaires graves. Corrosif pour la peau	Aucun indiqué dans la FDS	Acides	24 contenants de 50 ml					
Revêtements/ durcisseurs divers : p. ex., Hardtop AS HB Comp B	Revêtement/ solvant/peinture	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Nocif par inhalation. Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation. Peut provoquer une allergie cutanée. Peut irriter les voies respiratoires.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, oxydes d'azote et oxydes de soufre	Oxydants, alcalins forts, acides forts, amines, alcools et eau	40 L					
Revêtements/durcisseurs divers : p. ex., Hardtop XP Comp A	Revêtement/solvant/peinture	Liquide		Liquide et vapeur inflammables. Provoque une sévère irritation des yeux. Provoque une irritation de la peau. Peut provoquer une allergie cutanée. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et oxyde(s) métalliques	Oxydants	40 L					
Huile usée	Matière résiduelle	Liquide	Non fourni dans la FDS	Le produit peut brûler, mais ne s'enflamme pas facilement. Peut être nocif par inhalation. Peut être nocif par contact cutané. Peut être nocif ou mortel en cas d'ingestion. Peut irriter les voies respiratoires (nez, gorge et poumons), les yeux et la peau. Susceptible de provoquer le cancer — contient des matières cancérigènes. Le risque de cancer dépend de la durée et du niveau d'exposition. Contient des matières qui peuvent être nocives pour le système nerveux central. Le produit peut être toxique pour les poissons, les plantes, les espèces sauvages et/ou les animaux domestiques.	La combustion peut produire du gaz phosgène, des oxydes d'azote, du monoxyde de carbone et des composés non identifiés.	Acides, alcalins, oxydants, agents réducteurs, halogènes réactifs et métaux réactifs	90 m^3					
Produit liquide à usage multiple WD-40, en vrac	Protection contre la corrosion, lubrifiant	Liquide		H226 Liquide et vapeurs inflammables. H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Oxydes de carbone et produits de pyrolyse toxiques	Oxydants forts	100 contenants de 500 ml					
Produits chimiques de boues de forage												
Chlorure de calcium	Agent de contrôle de salinité en phase aqueuse	Solide		H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Chlore	Métaux	640 sacs de 25 kg					
Hydroxyde de sodium	Correction de l'alcalinité	Solide		Peut être corrosif pour les métaux. Nocif en cas d'ingestion. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	Aucun indiqué dans la FDS	Acides, éthylèneglycols, produits organiques halogénés et composés organiques d'azote	52 boîtes métalliques de 25 kg					
Détergent de forage	Détergent de forage	Liquide		H318 Provoque des lésions oculaires graves.	Gaz ou émanations irritants	Aucun indiqué dans la FDS	7 cylindres de 55 gal					
Duo-VIS	Additif d'indice de viscosité	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Oxydants forts	219 sacs de 25 kg					
Ecotrol RD	Réducteur de filtrat	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Aucun indiqué dans la FDS	196 sacs de 25 kg					
Huile de base Encore	Boue de forage à base d'hydrocarbures	Liquide	Non fourni dans la FDS	Peut être nocif pour les poumons en cas d'ingestion	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Oxydants forts	815 m^3					
Escaid 110	Huile de base minérale	Liquide		H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.	Fumée, émanations, produits de combustion incomplète, oxydes de carbone	Oxydants forts	1 439 cylindres de 55 gal					
G-SEAL	Colmatant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone	Oxydants forts	71 sacs de 25 kg					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Hydroxyde de calcium	Correction de l'alcalinité	Solide		H315 Provoque une irritation de la peau. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	En cas de chauffage et d'incendie, peut produire des vapeurs ou gaz nocifs.	Acides et eau	430 sacs de 25 kg					
M-I Cide	Biocide	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H317 Peut provoquer une allergie cutanée. H330 Mortel par inhalation	Monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, oxydes d'azote et oxydes de soufre	Acides, oxydants forts et agents réducteurs forts	96 boîtes métalliques de 25 litres					
MI Gel (vrac)	Additif d'indice de viscosité	Solide	Non fourni dans la FDS	Peut irriter les yeux, la peau et les voies respiratoires. L'inhalation à long terme des particules peut être nocive pour les poumons. Susceptible de provoquer le cancer — contient de la silice cristalline, qui peut être cancérigène.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	34 tm					
Barite MI WATE	Alourdissant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	La décomposition thermique peut provoquer l'émission de gaz et de vapeur irritants	Aucun indiqué dans la FDS	2 676 tm					
Mix II Medium	Colmatant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	La décomposition thermique peut provoquer l'émission de gaz et de vapeurs irritants	Oxydants	95 sacs de 11 kg					
Polypac UL	Réducteur de filtrat	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone et oxydes de sodium	Oxydants forts	335 sacs de 25 kg					
Rheflat NS	Agent rhéologique	Liquide	Non fourni dans la FDS	Provoque une irritation cutanée et oculaire.	Émanations toxiques	Oxydants forts et matières inflammables/combustibles	5 cylindres de 55 gal					
Rhethik	Agent rhéologique	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone et oxydes de diazote	Acides, cétones, aldéhyde et alliages de cuivre	19 cylindres de 55 gal					
Safe Carb 20	Colmatant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Acides forts	308 sacs de 25 kg					
Safe Carb 250	Colmatant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Acides forts	290 sacs de 25 kg					
Safe Carb 40	Colmatant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Acides forts	458 sacs de 25 kg					
Bicarbonate de sodium	Agent de contrôle de dureté	Poudre		H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H332 Nocif par inhalation. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	Oxydes de carbone	Acides	58 sacs de 25 kg					
Suremul Plus	Émulsifiant pour boues à base d'hydrocarbures	Liquide	Non fourni dans la FDS	Irritant pour les yeux.	Aucun indiqué dans la FDS	Acides forts et oxydants forts	41 cylindres de 55 gal					
Surewet	Émulsifiant pour boues à base d'hydrocarbures	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	En cas de chauffage et d'incendie, peut produire des vapeurs ou gaz nocifs.	Oxydants forts	23 cylindres de 55 gal					
Truvis	Émulsifiant pour boues à base d'hydrocarbures	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	121 sacs de 25 kg					
VG-69	Émulsifiant pour boues à base d'hydrocarbures	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	En cas de chauffage et d'incendie, peut produire des vapeurs ou gaz nocifs.	Oxydants forts, peroxydes organiques/hydro-peroxydes	11 sacs de 25 kg					
VG-Plus	Émulsifiant pour boues à base d'hydrocarbures	Poudre	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone, gaz nitreux et chlorure d'hydrogène	Oxydants forts	453 sacs de 25 kg					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
VG-Supreme	Émulsifiant pour boues à base d'hydrocarbures	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, gaz nitreux et chlorure d'hydrogène	Oxydants forts	150 sacs de 25 kg					
Boue à base d'eau	Boue de forage	Liquide	Non fourni dans la FDS	Peut irriter les yeux, la peau et les voies respiratoires. Peut provoquer le cancer. Contient de la silice cristalline, qui peut causer le cancer des poumons.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	10 804 bpj					
Produits chimiques de cimentation pour le forage												
B275	Additif pour le ciment, colorant	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Émanations toxiques	Oxydants forts et acides forts	100 gal					
Ciment G	Ciment (usage général)	Poudre		H315 Provoque une irritation de la peau. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H371 Risque présumé d'effets graves pour les organes (voies respiratoires). H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes (voies respiratoires) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Aucun indiqué dans la FDS	Acides	160 tm					
Ciment G + 35 % de silice	Ciment	Poudre	Non fourni dans la FDS	Peut irriter les yeux, la peau et les voies respiratoires. L'inhalation de silice cristalline peut provoquer des maladies pulmonaires, notamment la silicose et le cancer des poumons. La silice cristalline a aussi été associée à la sclérodermie et aux maladies rénales.	Aucun indiqué dans la FDS	Acide fluorhydrique	160 tm					
D081	Additif pour ciment, retardateur de prise	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	267 gal					
D095 CemNET (LCM)	Additif pour ciment	Solide	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer une irritation de la peau.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	500 bpj					
D097 Losseal W/O	Additif de fracturation	Solide	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer le cancer des poumons en cas d'inhalation. Peut provoquer une irritation des yeux.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	480 bpj					
D110	Additif pour ciment, retardateur de prise	Liquide	Non fourni dans la FDS	Peut irriter les yeux et la peau en cas d'expositions répétées ou d'exposition prolongée. L'ingestion de grandes quantités de ce produit peut causer des nausées, des vomissements et de la diarrhée	Oxydes de carbone et vapeurs organiques nocives	Oxydants	160 gal					
D145A	Additif pour ciment, agent dispersant	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Oxydants	3 gal					
D153	Additif pour ciment, stabilisant	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone et vapeurs organiques nocives	Aucun indiqué dans la FDS	250 lb					
D155	Additif pour le ciment, épaississant	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	4 500 gal					
D168 UNIFLAC	Réducteur de filtrat	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone, oxydes de soufre, oxydes d'azote, ammoniaque et vapeurs organiques nocives	Oxydants	439 gal					
Barite D182 MUDPUSH II		Solide	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer une irritation en cas d'inhalation. Peut provoquer une irritation des yeux.	Oxydes de carbone, oxydes de soufre et vapeurs organiques nocives	Aucun indiqué dans la FDS	2 225 lb					
D185	Produit dispersant à basse température	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone et vapeurs organiques nocives	Aucun indiqué dans la FDS	483 gal					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
D186	Accélérateur de prise pour ciment	Liquide		Peut provoquer une irritation des yeux. Nocif en cas d'ingestion. Peut provoquer ou aggraver un incendie; comburant.	Ammoniaque, oxydes d'azote et oxydes de carbone	Acides forts, bases fortes, agents réducteurs et produits organiques	90 gal					
D191	Additif pour le ciment, surfactif	Liquide		H318 Provoque des lésions oculaires graves.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	576 gal					
D199 Losseal W	Additif pour ciment	Solide	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer une irritation de la peau.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, ammoniaque, émanations organiques nocives, cyanure et aldéhyde	Oxydants, acides forts et bases fortes	480 bpj					
D206	Antimoussant	Liquide	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer une irritation des yeux.	Oxydes de carbone, oxydes de soufre, oxydes d'azote, oxydes de silicium, ammoniaque et vapeurs organiques nocives	Oxydants	399 gal					
D500 GASBLOK LT — en cas d'urgence	Additif pour ciment	Liquide		Matière toxique. Peut entraîner une sensibilisation par contact cutané. Peut causer une légère irritation des yeux.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, ammoniaque et vapeurs organiques nocives	Aucun indiqué dans la FDS	2 480 gal					
D600G GASBLOK	Additif de contrôle de la propagation des gaz	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone et vapeurs organiques nocives	Oxydants	5 000 gal					
U066	Additif pour ciment, solvant commun	Liquide	Non fourni dans la FDS	Liquide combustible. Provoque une irritation cutanée et oculaire. Toxique par inhalation et par contact cutané. Toxique par ingestion	Oxydes de carbone et vapeurs organiques nocives	Oxydants	576 gal					
Isotopes radioactifs pour la surveillance du forage des puits												
Am-241/Be	Diagraphie des puits et surveillance du fond du trou	Solide	S. O.	Conservé dans un contenant scellé et étanche. Les sources hermétiques ne présentent aucun risque de radiation.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	2 GBq					
Co-60	Diagraphie des puits et surveillance du fond du trou	Solide	S. O.	Conservé dans un contenant scellé et étanche. Les sources hermétiques ne présentent aucun risque de radiation.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	5 GBq					
Cs-137	Diagraphie des puits et surveillance du fond du trou	Solide	S. O.	Conservé dans un contenant scellé et étanche. Les sources hermétiques ne présentent aucun risque de radiation.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	1 KBq					
Na-22	Diagraphie des puits et surveillance du fond du trou	Solide	S. O.	Conservé dans un contenant scellé et étanche. Les sources hermétiques ne présentent aucun risque de radiation.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	2 KBq					
Th-323	Diagraphie des puits et surveillance du fond du trou	Solide	S. O.	Conservé dans un contenant scellé et étanche. Les sources hermétiques ne présentent aucun risque de radiation.	La fumée peut être radioactive	Aucun indiqué dans la FDS	1 KBq					
Produits chimiques pour essais de forage des puits												
Saumure de bromure de calcium	Fluide de complétion	Liquide		H318 Provoque des lésions oculaires graves.	Acide bromhydrique et brome	Acides forts	6000 bpj					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Defoam-X EH	Antimoussant	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone	Aucun indiqué dans la FDS	3 contenants de 5 gal					
Antimoussant AF340	Antimoussant	Liquide		H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.	Oxydes de carbone	Acides forts, bases fortes et oxydants forts	10 contenants de 200 L					
Emulsotron CC3344-G	Désémulsionneur	Liquide		H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H332 Nocif par inhalation. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	Oxydes de carbone	Acides forts, bases fortes et oxydants forts	10 contenants de 200 L					
HEC (hydroxyméthyl-cellulose)	Additif d'indice de viscosité; réducteur de filtrat	Poudre	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	500 sacs de 25 kg					
Méthanol	Inhibiteur de formation d'hydrates	Liquide		H225 Liquide et vapeurs très inflammables. H301+H311+H331 Toxique en cas d'ingestion, de contact cutané ou d'inhalation. H370 Risque avéré d'effets graves pour les organes (foie, reins, système nerveux central, nerf optique) (par contact cutané ou ingestion)	Formaldéhyde, monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Oxydants forts, bases fortes, acides forts, peroxydes, anhydrides d'acide et chlorures d'acide	20 bpj					
Éthylèneglycol	Inhibiteur d'hydratation	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion	Émanations toxiques	Aucun indiqué dans la FDS	15 contenants de 1000 L					
Oceanic HW 443	Fluide de contrôle pour conduites	Liquide		Nocif en cas d'ingestion. Provoque une sévère irritation des yeux. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et oxydes d'azote	Aucun indiqué dans la FDS	10 contenants de 200 L					
Oceanic HW 540	Fluide de contrôle pour conduites	Liquide		Nocif en cas d'ingestion. Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Aucun indiqué dans la FDS	10 contenants de 200 L					
One-Trol HT	Réducteur de filtrat	Solide		H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. H410 Très toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, ammonique et amines	Acides	500 sacs de 50 lb					
Safe-Cide	Biocide	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H315 Provoque une irritation de la peau. H317 Peut provoquer une allergie cutanée. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H330 Mortel par inhalation H372 Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote et oxydes de soufre	Oxydants forts, nitrites et acides forts	5 contenants de 25 L					
Safe-Cor	Inhibiteur de corrosion	Liquide	Non fourni dans la FDS	Provoque une irritation cutanée et oculaire. Peut entraîner une sensibilisation par contact cutané.	Monoxyde de carbone, dioxyde de carbone et gaz nitreux	Acides et oxydants	5 cylindres de 55 gal					
Safe-Link 110	Additif pour fluide de complétion	Pâte et/ou gel	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer des irritations sévères des yeux et de la peau. Peut causer des brûlures en cas de contact prolongé. Les vapeurs et brumisations peuvent provoquer des irritations en cas d'inhalation.	Chlorures et oxydes de carbone	Eau, zinc, éther méthylvinylique, acide borique, oxyde de calcium et trifluorure de brome	20 contenants de 25 L					
Safe-Link 135	Additif pour fluide de complétion	Gel		H318 Provoque des lésions oculaires graves.	Oxydes de carbone et brome	Oxydants forts et acides forts	20 contenants de 25 L					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Safe-Link Pill	Additif pour fluide de complétion	Liquide		H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Gaz ou émanations irritants	Aucun indiqué dans la FDS	150 bpj					
Safe-Scav CA	Nettoyant à oxygène	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone	Métaux, bases fortes et oxydants forts	10 sacs de 15 lb					
Safe-Vis E	Additif pour fluide de complétion	Liquide		H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	Gaz ou émanations irritants	Nitrates, acides forts, bases fortes et oxydants forts	100 contenants de 25 L					
Transaqua HT2	Fluide hydraulique	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone et oxydes d'azote	Aucun indiqué dans la FDS	10 contenants de 242 L					
Versagel HT	Additif d'indice de viscosité	Solide	Non fourni dans la FDS	Peut provoquer des irritations des voies respiratoires en cas d'inhalation. Peut causer des troubles digestifs, des nausées et des vomissements en cas d'ingestion. Peut irriter la peau. Peut irriter les yeux.	Oxydes de carbone	Aucun indiqué dans la FDS	120 sacs de 50 lb					
Explosifs de forage												
CDC Cutter Type 1	Explosif	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Danger d'incendie.	Émanations nitreuses.	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	6 contenants de 3,3 kg					
CDC Cutter Type 2	Explosif	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Danger d'incendie.	Émanations nitreuses.	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	2 contenants de 1,1 kg					
CDC Cutter Type 3	Explosif	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Danger d'incendie.	Émanations nitreuses.	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	6 contenants de 5,4 kg					
CDC Cutter Type 4	Explosif	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Danger d'incendie.	Émanations nitreuses.	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	2 contenants de 1,8 kg					
CDC Cutter Type 5	Explosif	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Danger d'incendie.	Émanations nitreuses.	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	2 contenants de 0,40 kg					
HMX Super Booster	Composant explosif	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Peut provoquer une irritation des yeux, y compris des lésions à la cornée. Peut causer de l'irritation, des réactions cutanées allergiques et de l'eczéma. Poison en cas d'ingestion; peut provoquer un collapsus cardiovasculaire. Peut provoquer une irritation des voies respiratoires, des douleurs dans le nez et la gorge et de la toux. L'inhalation ou le contact cutané peuvent entraîner un collapsus cardiovasculaire; peut aussi causer de graves irritations du nez et des voies respiratoires.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et oxydes d'azote	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	100 contenants de 0,7 kg					
Allumeur	Allumeur	Solide		H204 Danger d'incendie ou de projection. H412 Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Émanations toxiques	Oxydants	20 contenants de 0,06 kg					
Aiguille d'allumage	Allumeur	Solide		H204 Danger d'incendie ou de projection. H412 Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Émanations toxiques	Oxydants	240 unités de 0,02 kg					
Cartouche de poudre L	Explosif	Solide		H204 Danger d'incendie ou de projection. H412 Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Émanations toxiques	Oxydants	120 unités de 0,96 kg					
Détonateur Nobel	Détonateur	Solide		H201 Explosif; danger d'explosion en masse. H301 Toxique en cas d'ingestion. H312+ H332 Nocif par contact cutané ou inhalation. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H315 Provoque une irritation de la peau.	Oxydes d'azote	Agents réducteurs, oxydants forts, alcalins forts et acides forts	50 contenants de 0,14 kg					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Charge propulsive	Explosif	Solide		H204 Danger d'incendie ou de projection. H412 Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Émanations toxiques	Oxydants	120 unités de 1,23 kg					
Powerjet Omega	Charge perforante	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Peut causer des céphalées, des étourdissements et des irrégularités du système nerveux en cas d'inhalation. Poison en cas d'ingestion, par voie intrapéritonéale et par voie intraveineuse. L'inhalation d'émanations d'oxydes de zinc peut provoquer la « fièvre des fondeurs ». Vasodilatateur, peut entraîner des baisses de tension artérielle.	Oxydes d'azote et oxydes de carbone	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	90 contenants de 3,48 kg					
Primacord – FEP 80 gr	Cordon détonateur	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. Peut provoquer une irritation des yeux, des rougeurs et des larmoiements; la 2,6-Bis(picrylamino)-3,5-dinitropyridine est un irritant oculaire avéré. Peut provoquer une irritation de la peau. Modérément toxique en cas d'ingestion.	Oxydes d'azote et monoxyde de carbone	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	500 pi @ 1,95 kg/pi (975 kg)					
Primacord — remis en boîte	Cordon détonateur	Solide		H201 Explosif; danger d'explosion en masse. H301 Toxique en cas d'ingestion. H312+ H332 Nocif par contact cutané ou inhalation. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	500 pi @ 2,7 kg/pi (1350 kg)					
Puncher 1606, L	Charge perforante	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. L'inhalation de poudres explosives peut causer des céphalées, des étourdissements et des irrégularités du système nerveux. Poison en cas d'ingestion, par voie intrapéritonéale et par voie intraveineuse. L'inhalation d'émanations d'oxydes de zinc peut provoquer la « fièvre des fondeurs ». Vasodilatateur, peut entraîner des baisses de tension artérielle.	Oxydes d'azote et oxydes de carbone	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	90 contenants de 0,27 kg					
Puncher 1606, M	Charge perforante	Solide	Non fourni dans la FDS	Danger d'explosion. L'inhalation de poudres explosives peut causer des céphalées, des étourdissements et des irrégularités du système nerveux. Poison en cas d'ingestion, par voie intrapéritonéale et par voie intraveineuse. L'inhalation d'émanations d'oxydes de zinc peut provoquer la « fièvre des fondeurs ». Vasodilatateur, peut entraîner des baisses de tension artérielle.	Oxydes d'azote et oxydes de carbone	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	90 unités de 0,21 kg					
Puncher 1606, S	Charge perforante	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. L'inhalation de poudres explosives peut causer des céphalées, des étourdissements et des irrégularités du système nerveux. Poison en cas d'ingestion, par voie intrapéritonéale et par voie intraveineuse. L'inhalation d'émanations d'oxydes de zinc peut provoquer la « fièvre des fondeurs ». Vasodilatateur, peut entraîner des baisses de tension artérielle.	Oxydes d'azote et oxydes de carbone	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	60 unités de 0,22 kg					
Puncher 1606, XL	Charge formée	Solide		H201 Explosif; danger d'explosion en masse. H302 Nocif en cas d'ingestion. H370 Risque avéré d'effets pour les organes H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. H400 Très toxique pour les organismes aquatiques. H410 Très toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Aucun indiqué dans la FDS	Acides forts, bases fortes et oxydants forts	60 unités de 0,18 kg					
Détonateur Secure 2	Détonateur	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. L'inhalation de poudres explosives peut causer des céphalées et des étourdissements. Poison en cas d'ingestion, par voie intrapéritonéale et par voie intraveineuse.	Oxydes d'azote	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	20					
Détonateur à découvert Secure 2	Détonateur	Solide		H201 Explosif; danger d'explosion en masse. H312 Nocif par contact cutané.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote et émanations de mercure	Acides forts, bases fortes et oxydants forts	24 unités de 0,05 kg					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Allumeur Secure 2	Allumeur	Solide	Non fourni dans la FDS	Explosif. L'inhalation de poudres explosives peut causer des céphalées et des étourdissements. Poison en cas d'ingestion, par voie intrapéritonéale et par voie intraveineuse.	Oxydes d'azote	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	10 unités de 0,05 kg					
Cartouche de poudre SuperSet	Cartouche périphérique pour pyromécanismes	Solide	Non fourni dans la FDS	La poussière est un irritant léger pour les yeux, la peau et les muqueuses. Les vapeurs produites par la substance lorsque chauffée (au-dessus de 350°C) peut irriter les voies respiratoires. Peut causer des convulsions, des vomissements, de la diarrhée et être mortel en cas d'ingestion. La poussière est un irritant léger pour les yeux, la peau et les muqueuses.	Monoxyde de carbone et oxydes d'azote	Aucun détail particulier fourni dans la FDS	10 unités de 5,7 kg					
Produits chimiques de diagraphie de boues												
Acide chlorhydrique 0,02 N	Medium d'essai	Liquide		H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Chlorure d'hydrogène	Métaux, bases fortes et cyanures	3 L					
Carbonate de calcium 0,1 M	Déshumidificateur	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	4 unités de 0,5 kg					
Chlorure de benzalkonium à 1 % (ROCCAL)	Nettoyant antiseptique	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Aucun indiqué dans la FDS	Aucun indiqué dans la FDS	1 x 20 cc					
Sel monosodique Alizarin Red S	Medium d'essai	Liquide		Provoque une sévère irritation des yeux. Provoque une irritation de la peau. Peut irriter les voies respiratoires.	Oxydes de carbone et oxydes métalliques	Oxydants	2 contenants de 0,5 L					
Solution de chlorure de baryum	Medium d'essai	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion	Chlorure d'hydrogène et baryum	Oxydants forts	1 contenant de 0,25 L					
Antigel Blue Star	Liquide de refroidissement	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone et vapeurs nocives	Oxydants forts	2 contenants de 1 L					
Carbure de calcium	Analyse des gaz	Solide		En cas de contact avec de l'eau, dégage des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. Peut irriter les voies respiratoires.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone et oxyde(s) métalliques	Eau	4 unités de 0,5 kg					
Chlorodifluorométhane (R22)	Gaz réfrigérant	Gaz		Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur Peut causer des blessures cryogéniques. Nocif pour la santé publique et l'environnement; détruit l'ozone de la haute atmosphère.	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, composés halogénés et halogénures de carbonyle	Aucun indiqué dans la FDS	2 contenants de 1 L					
Cyclohexane	Solvant	Liquide		H225 Liquide et vapeurs très inflammables. H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H335 Peut irriter les voies respiratoires. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H361 Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus. H370 : Risque avéré d'effets graves pour les organes (système vasculaire). H400 Très toxique pour les organismes aquatiques.	Dioxyde de carbone et oxydes de carbone	Oxygène et oxydants forts	2 contenants de 0,5 L					
Solvant électrique Cleaner Plus	Nettoyant électrique	Aérosol liquide		H222 Aérosol extrêmement inflammable. H280 Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur H315 Provoque une irritation de la peau. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone	Acides forts, bases fortes et oxydants forts	2 contenants de 500 ml					

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
Liquide de refroidissement Isceon MO79 (R-428A)	Réfrigérant	Gaz	Non fourni dans la FDS	Le contact avec le liquide ou le gaz réfrigérant peut causer des brûlures par le gel et des blessures cryogéniques. Peut provoquer une irritation des yeux et de la peau. Peut causer un inconfort, des démangeaisons, des rougeurs ou de l'enflure. Peut provoquer un larmoiement, des rougeurs ou un inconfort aux yeux.	Émanations toxiques	Métaux alcalins, métaux terreux alcalins, métaux en poudre et sels métalliques en poudre	2 contenants de 5 gal					
Lubriplate 630 — AA	Graisse lubrifiante	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre et oxyde(s) métalliques	Oxydants, acides et chlore	2 contenants de 10 oz					
Hydroxy-carbonate de magnésium léger extra-pur	Desséchant	Solide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone	Acides	1 contenant de 500 g					
Bleu de méthylène	Réactif analytique	Liquide		H226 Liquide et vapeurs inflammables. H332 Nocif par inhalation. H370 Risque avéré d'effets pour les organes	Dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, gaz nitreux et hydrocarbures	Acides, alcalins et oxydants	1 contenant de 0,5 L					
Phénolphtaléine	Solvant	Liquide		H351 Susceptible de provoquer le cancer.	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants forts et bases fortes	1 contenant de 0,5 L					
Propan-2-ol	Solvant	Liquide		H225 Liquide et vapeurs très inflammables. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Oxydes de carbone	Oxydants forts, acides forts, métaux alcalins, amines, aluminium et fer	2 contenants de 1 L					
Solution de nitrate d'argent 0,1 N	Medium d'essai	Liquide		H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux. H412 Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes d'azote	Chlorures, acides forts et bases fortes	2 contenants de 1 L					
Émulsifiants												
Corexit 9500	Émulsifiant	Liquide		Provoque une sévère irritation des yeux. Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre et oxydes de phosphore	Oxydants forts			8 000 L			
Produits chimiques pour mise en service sous-marine (stockage offshore)												
Mélange chimique combiné pour test hydrauliques (RX-5254)	Biocide, désoxygénant, inhibiteur de corrosion	Liquide		H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	Dégage des émanations toxiques en cas de combustion	Acides		0,09 m^3	35 m^3			
Bâtonnets chimiques combinés pour test hydrauliques (RX-9034A)	Teinture de détection des fuites	Solide		H290 Peut être corrosif pour les métaux. H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	Émanations toxiques	Oxydants forts, acides forts et bases fortes						
Éthylèneglycol	Inhibiteur d'hydratation	Liquide		H302 : Nocif en cas d'ingestion	Émanations toxiques	Aucun indiqué dans la FDS		210,5 m^3	2 741 m^3			
RX-9022	Colorant liquide	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Émanations toxiques	Aucun indiqué dans la FDS		0,01 m^3	2,3 m^3			
Produits chimiques associés à l'éthylèneglycol pour le FPSO												
Antimoussant AF400	Antimoussant			H312+ H332 Nocif par contact cutané ou inhalation. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Oxydes de carbone	Oxydants					5 m^3	

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
EC6804A	Désoxygénant			H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Oxydes de soufre	Aucun indiqué dans la FDS					46 m^3	
Éthylèneglycol;	Éthylèneglycol pauvre			H302 Nocif en cas d'ingestion	Émanations toxiques	Aucun indiqué dans la FDS					55 300 m^3	
2- Aminoéthanol	Stabilisateur de pH			H302 Nocif en cas d'ingestion. H312 Nocif par contact cutané. H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. H332 Nocif par inhalation. H335 Peut irriter les voies respiratoires.	Monoxyde de carbone, dioxyde de carbone et oxydes d'azote	Acides, oxydants et métaux réactifs					23 m^3	
Produits chimiques injectés sus l'eau et produits chimiques associés à la production sur le FPSO												
Cortron RN-629	Complément à l'inhibiteur de corrosion	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H315 Provoque une irritation de la peau. H317 Peut provoquer une allergie cutanée. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote et sulfure d'hydrogène	Aucun indiqué dans la FDS					64 m^3	
Antimoussant AF400	Antimoussant	Liquide		H312+ H332 Nocif par contact cutané ou inhalation. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Oxydes de carbone	Oxydants					5 m^3	
EC6029A	Floculants ou coagulants (système de traitement des matières résiduelles pétrolières)	Liquide	S. O.	Non classé Non considéré comme un danger pour la santé ou l'environnement	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre et oxydes de phosphore	Aucun indiqué dans la FDS					5 m^3	
EC6527G	Biocide	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H317 Peut provoquer une allergie cutanée. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H331 Toxique par inhalation. H361 Susceptible de nuire au fœtus. H400 Très toxique pour les organismes aquatiques.	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre et oxydes de phosphore	Aucun indiqué dans la FDS					11,5 m^3	
FX2140	Briseur d'émulsion	Liquide		H226 Liquide et vapeurs inflammables. H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H351 Susceptible de provoquer le cancer. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone	Oxydants					7,4 m^3	
FX2589	Complément à l'antitartre	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H315 Provoque une irritation de la peau. H317 Peut provoquer une allergie cutanée. H318 Provoque des lésions oculaires graves. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre, oxydes de phosphore et sulfure d'hydrogène	Aucun indiqué dans la FDS					5 m^3	
Méthanol	Inhibiteur de formation d'hydrates	Liquide		H225 Liquide et vapeurs très inflammables. H301+H311+H331 Toxique en cas d'ingestion, de contact cutané ou d'inhalation. H370 Risque avéré d'effets graves pour les organes (foie, reins, système nerveux central, nerf optique) (par contact cutané ou ingestion)	Formaldéhyde, monoxyde de carbone et dioxyde de carbone	Oxydants forts, bases fortes, acides forts, peroxydes, anhydrides d'acide et chlorures d'acide					254 m^3	

Nom du produit	Fonction	Phase	Symbole(s) de danger — Classification des dangers du Système général harmonisé (SGH)	Mention de danger	Produits de décomposition dangereux	Substances incompatibles	Un inventaire indicatif sera dressé à une étape ultérieure du design du projet pour répondre aux exigences de l'ICPE					
							Navire de forage	Base(s) d'ap-provision-nement	Navires de soutien	NFGNL	FPSO	Plateforme d'HSP
PARA16592A	Inhibiteur de paraffine	Liquide		H304 Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires. H336 Peut causer de la somnolence ou des étourdissements. H351 Susceptible de provoquer le cancer. H411 Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Oxydes de carbone	Oxydants					160 m^3	
Transaqua HT2	Fluide hydraulique	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H373 Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.	Oxydes de carbone et oxydes d'azote	Aucun indiqué dans la FDS					5 m^3	
Substances chimiques de production sur le navire flottant de GNL												
Amine	Lavage de gaz, adoucissement et retrait des gaz acides	Liquide		H302 Nocif en cas d'ingestion. H316 Provoque une légère irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Oxydes de carbone et oxydes d'azote	Oxydants et acides				25 m^3		
Antimoussant AF400	Antimoussant	Liquide		H312+ H332 Nocif par contact cutané ou inhalation. H315 Provoque une irritation de la peau. H319 Provoque une sévère irritation des yeux.	Oxydes de carbone	Oxydants				240 m^3		
Éthylène	Liquide de refroidissement pour GNL	Liquide		H220 Gaz extrêmement inflammable. Formation possible de mélange vapeur-air inflammable/explosif. Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur Peut causer des blessures cryogéniques. Peut déplacer l'oxygène et causer une suffocation rapide. Peut causer de la somnolence ou des étourdissements.	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants				3 contenants de 20 m^3		
Isopenthène	Liquide de refroidissement pour GNL	Liquide		Liquide et vapeur extrêmement inflammables. Formation possible de mélange vapeur-air inflammable/explosif. Peut causer de la somnolence et des étourdissements. Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants				12 contenants de 25 m^3		
Propane	Liquide de refroidissement pour GNL	Liquide		H220 Gaz extrêmement inflammable. Formation possible de mélange vapeur-air inflammable/explosif. Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur Peut causer des blessures cryogéniques. Peut déplacer l'oxygène et causer une suffocation rapide.	Dioxyde de carbone et monoxyde de carbone	Oxydants				6 contenants de 25 m^3		
Hypochlorite de sodium	Nettoyage de surfaces, blanchiment, élimination des odeurs et désinfection de l'eau	Liquide		H290 Peut être corrosif pour les métaux. H314 Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. H400 Très toxique pour les organismes aquatiques.	Oxygène et chlore	Acides, amines, agents réducteurs et hydrocarbures						

CLASSIFICATION ET ÉTIQUETAGE DES PRODUITS CHIMIQUES

Signification des pictogrammes de danger (en vertu du Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des dangers - SGH)
https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/French/05f_annex1.pdf

Inflammable	Explosif	Oxydant	Gaz comprimé	Corrosif	Toxique	Effets nuisibles	Danger pour la santé	Environnement

Classe de danger	Code de mention de danger	Mention de danger	Catégorie de danger	Mot-indicateur	Pictogramme
Explosif	H200	Explosif instable	Explosif instable	Danger	
	H201	Explosif; danger d'explosion en masse.	Division 1.1	Danger	
	H202	Explosif; danger sérieux de projection.	Division 1.2	Danger	
	H203	Explosif; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection.	Division 1.3	Danger	
	H204	Danger d'incendie ou de projection.	Division 1.4	Attention	
Explosif	H205	Danger d'explosion en masse en cas d'incendie.	Division 1.5	Danger	Aucun
Explosif	Aucun	Aucun	Division 1.6	Aucun	Aucun
Matières explosives désensibilisées	H206	Danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection; risque accru d'explosion en cas de diminution de l'agent flegmatisant	1	Danger	
	H207	Danger d'incendie ou de projection; risque accru d'explosion en cas de diminution de l'agent flegmatisant	2 3	Danger Attention	
	H208	Danger d'incendie; risque accru d'explosion en cas de diminution de l'agent flegmatisant	4	Attention	
Gaz inflammables	H220	Gaz extrêmement inflammable	1A	Danger	
	H221	Gaz inflammable	1B	Danger	
			2	Attention	Aucun
Aérosols	H222	Aérosol extrêmement inflammable	1	Danger	
	H223	Aérosol inflammable	2	Attention	
Liquides inflammables	H224	Liquide et vapeur extrêmement inflammables	1	Danger	
	H225	Liquide et vapeurs très inflammables	2	Danger	
	H226	Liquide et vapeur inflammables	3	Attention	
	H227	Liquide combustible	4	Attention	Aucun
Matières solides inflammables	H228	Matière solide inflammable	1 2	Danger Attention	
Aérosols	H229	Récipient sous pression : peut éclater sous l'effet de la chaleur	1, 2 ou 3	Attention	Aucun
Gaz inflammables	H230	Peut exploser même en l'absence d'air	1A	Danger	
	H231	Peut exploser même en l'absence d'air à une pression et/ou une température élevées.	1A	Danger	
	H232	Peut s'enflammer spontanément au contact de l'air	1A	Danger	
Matières autoréactives Peroxydes organiques	H240	Peut exploser sous l'effet de la chaleur	Type A	Danger	
	H241	Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur	Type B	Danger	
	H242	Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur	Types C et D Types E et F	Danger Attention	
	Aucun	Aucun	Type G	Aucun	Aucun
Liquides pyrophoriques Solides pyrophoriques	H250	S'enflamme spontanément au contact de l'air	1	Danger	
Matières auto-échauffantes	H251	Matière auto-échauffante; peut s'enflammer	1	Danger	
	H252	Matière auto-échauffante en grandes quantités; peut s'enflammer	2	Attention	
Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables	H260	Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément	1	Danger	
	H261	Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables	2 3	Danger Attention	

Classe de danger	Code de mention de danger	Mention de danger	Catégorie de danger	Mot-indicateur	Pictogramme
Gaz comburants	H270	Peut provoquer ou aggraver un incendie; comburant	1	Danger	
Liquides comburants	H271	Peut provoquer un incendie ou une explosion; comburant puissant	1	Danger	
Solides comburants	H272	Peut aggraver un incendie; comburant	2 3	Danger Attention	
Gaz sous pression	H280	Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur	Gaz sous pression, liquéfié ou dissous	Attention	
	H281	Contient un gaz réfrigéré; peut causer des brûlures ou des blessures cryogéniques	Gaz liquide réfrigéré	Attention	
Corrosif pour les métaux	H290	Peut être corrosif pour les métaux	1	Attention	
Toxicité aiguë	H300	Mortel en cas d'ingestion	1 ou 2	Danger	
	H301	Toxique en cas d'ingestion	3	Danger	
	H302	Nocif en cas d'ingestion	4	Attention	
	H303	Peut être nocif en cas d'ingestion	5	Attention	Aucun
Danger par aspiration	H304	Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires	1	Danger	
	H305	Peut être nocif en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires	2	Attention	
Toxicité aiguë	H310	Mortel par contact cutané	1 ou 2	Danger	
	H311	Toxique par contact cutané	3	Danger	
	H312	Nocif par contact cutané	4	Attention	
	H313	Peut être nocif par contact cutané.	5	Attention	Aucun
Corrosion/irritation cutanées	H314	Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves	1	Danger	
	H315	Provoque une irritation cutanée	2	Attention	
	H316	Provoque une légère irritation cutanée	3	Attention	Aucun
Sensibilisation cutanée	H317	Peut provoquer une allergie cutanée	1, 1A ou 1B	Attention	
Lésions oculaires graves/irritation oculaire	H318	Provoque des lésions oculaires graves.	1	Danger	
	H319	Provoque une sévère irritation des yeux	2/2A	Attention	
	H320	Provoque une irritation des yeux.	2B	Attention	Aucun
Toxicité aiguë	H330	Mortel par inhalation	1 ou 2	Danger	
	H331	Toxique par inhalation	3	Danger	
	H332	Nocif par inhalation	4	Attention	
	H333	Peut être nocif par inhalation	5	Attention	Aucun

Classe de danger	Code de mention de danger	Mention de danger	Catégorie de danger	Mot-indicateur	Pictogramme
Sensibilisation respiratoire	H334	Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation	1, 1A ou 1B	Danger	
Toxicité pour certains organes cibles — exposition unique	H335 H336	Peut irriter les voies respiratoires Peut causer de la somnolence ou des étourdissements	3	Attention	
Mutagénicité pour les cellules germinales	H340	Peut induire des anomalies génétiques (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	1A ou 1B	Danger	
	H341	Susceptible d'induire des anomalies génétiques (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	2	Attention	
Cancérogénicité	H350	Peut provoquer le cancer (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	1A ou 1B	Danger	
	H351	Susceptible de provoquer le cancer (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	2	Attention	
Toxicité pour la reproduction	H360	Peut nuire à la fertilité ou au fœtus (indiquer l'effet s'il est connu) (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	1A ou 1B	Danger	
	H361	Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus (indiquer l'effet s'il est connu) (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	2	Attention	
	H362	Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel	Catégorie supplémentaire pour les effets sur ou via l'allaitement	Aucun	Aucun
Toxicité pour certains organes cibles — exposition unique	H370	Risque avéré d'effets graves pour les organes (ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	1	Danger	
	H317	Risque présumé d'effets graves pour les organes (ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	2	Attention	
	H372	Risque avéré d'effets graves pour les organes (ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	1	Danger	
Toxicité pour certains organes cibles — expositions répétées	H373	Risque présumé d'effets graves pour les organes (ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger)	2	Attention	
Danger pour le milieu aquatique — danger aigu (à court terme)	H400	Très toxique pour les organismes aquatiques	Aiguë 1	Attention	
	H401	Toxique pour les organismes aquatiques	Aiguë 2	Aucun	Aucun
	H402	Nocif pour les organismes aquatiques	Aiguë 3		
Danger pour le milieu aquatique — danger chronique (à long terme)	H410	Très toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Chronique 1	Attention	
	H411	Toxique pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Chronique 2	Aucun	
	H412	Nocif pour les organismes aquatiques; entraîne des effets néfastes à long terme	Chronique 3	Aucun	Aucun
	H413	Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques	Chronique 4		
Dangers pour la couche d'ozone	H420	Nocif pour la santé publique et l'environnement; détruit l'ozone de la haute atmosphère.	1	Attention	

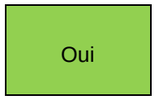
INCOMPATIBILITÉ DES PRODUITS

Le stockage de produits aux diverses installations du projet Ahmeyim/Guembeul sera fait conformément aux normes reconnues de l'industrie et des pratiques exemplaires acceptées afin de diminuer les risques de réactions physico-chimiques dangereuses qui pourraient provoquer des accidents. Par exemple, les produits qui pourraient réagir fortement les uns avec les autres ne seront jamais entreposés au même endroit. L'incompatibilité des matières est déterminée à l'aide des FDS et des listes de matières et substances dangereuses présentées ci-dessus.

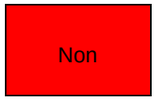
De plus, le tableau suivant résume la comptabilité et les règles générales de stockage pour les différents types de produits (École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Institut des Sciences et Ingénierie Chimiques (ISIC), Section de Chimie et Génie Chimique (SCGC) - Règles d'Hygiène de Sécurité et de Protection de l'Environnement, Octobre 2014).

					Acide	Base			
	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	-	Oui	Oui
	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	Non	Non	Oui	Non	-	-	Non	-	Non
	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
Acide	Non	Non	-	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
Base	Non	Non	-	Non	Non	Oui	Non	Non	Non
	-	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
	Oui	Non	-	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui

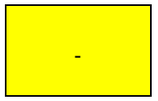
Notes



Peuvent être entreposés ensemble



Doivent être entreposés séparément



Ne devraient être entreposés ensemble que si certaines mesures particulières sont prises

Ne stockez pas de produits toxiques avec des produits inflammables (risque d'incendie et de réactions dangereuses en cas de mélange accidentel)

Si un produit présente plus d'un pictogramme de danger, il sera entreposé selon l'ordre de priorités suivants :

La propriété comburante d'un produit est plus importante que sa propriété inflammable. Par conséquent, si un produit présente ces deux dangers, il devrait être entreposé avec les comburants plutôt qu'avec les produits inflammables.

ANNEXE O-2 : TABLEAUX RÉSUMANT L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.02.01	Éruption de puits pendant le forage ou la complétion (écoulement sous-marin ou en surface)	• Pression hydrostatique du puits supérieure à la pression exercée par le poids des boues de forage • Erreur humaine (erreur dans la fabrication et ajout de boue de forage, non-détection d'une venue [kick], etc.) • Rupture du tube prolongateur marin	• Éruption d'hydrocarbures sur ou sous le plancher de forage du navire de forage • Explosion ou jet enflammé sur le navire de forage • Fumée toxique et niveaux élevés de radiation thermique pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) aux personnes exposées • Dommages au navire de forage pouvant possiblement entraîner un naufrage • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	2	5	**I**	• Planification et programme des puits tenant compte des aspects propres aux puits et des exigences en matière de conception et de forage • Formation et compétence du personnel • Procédures de contrôle de puits et de venue (kick) • Surveillance continue des activités de forage, y compris les retours de boue pour détecter et contrôler les venues (kick). • BOP sous-marins à la tête de puits pouvant être détournés en toute sécurité (à l'aide d'un système de duse et d'injection [choke & kill]) ou pouvant isoler l'écoulement (à l'aide de béliers) du puits • Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Contrôler ou contenir l'éruption de puits en utilisant des services et équipements d'intervention d'urgence (p. ex. : ROV pour fermer manuellement les BOP sous-marins, cloches de confinement pour recueillir les hydrocarbures, puits de secours pour faire cesser l'éruption). • Possibilité de déconnecter le navire de forage du puits / BOP au LMRP (ensemble de tubes prolongateurs marins inférieurs). • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Arrêts d'urgence des installations de surface avec contrôle strict des sources d'ignition. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Plusieurs chemins d'évacuation menant à la zone de rassemblement sécurisée principale et à une zone de rassemblement sécurisée alternative. • Protection active contre l'incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques [sprinkler] / bouches d'incendie) dans les zones de la tour de forage et du forage pour procurer un refroidissement. • Pompes à incendie multiples et redondantes pour fournir de l'eau et de la mousse. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Systèmes de rassemblement et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage). • Plan BP d'encapuchonnage et de confinement. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	**S**	R	D-01

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
			• Éruption d'hydrocarbures sur le fond marin avec dispersion à la surface (la densité des fluides de gisement est inférieure à la densité de l'eau de mer) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	2	5	I		• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Contrôler ou contenir l'éruption de puits en utilisant des services et équipements d'intervention d'urgence (p. ex. : ROV pour fermer manuellement les BOP sous-marins, cloches de confinement pour recueillir les hydrocarbures, puits de secours pour faire cesser l'éruption). • Possibilité de déconnecter le navire de forage du puits / BOP au LMRP (ensemble de tubes prolongateurs marins inférieurs). • Plan BP d'encapuchonnage et de confinement. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	S	R	D-01
H-01.06.01	Rejet d'hydrocarbures provenant du séparateur de boues/gaz ou dégazeur du navire de forage	• Boue gazée • Venue (kick) de faible ampleur / contrôle de puits • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure) • Défaillance du système de ventilation	• Incendie ou explosion pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Effet domino aggravant possible et dommages aux équipements de contrôle des puits menant à l'éruption	2	4	S	• Formation et compétence du personnel • Procédures de contrôle de puits et de venue (kick) • Surveillance des retours de boue (p. ex. : volumes, gaz inflammables) • Arrêt d'urgence et utilisation d'un système de duse et d'injection (choke & kill) • Ventilation des zones de l'agitateur et du bassin à boue afin de limiter la possibilité d'accumulation importante de gaz	• Arrêts d'urgence des installations de surface avec contrôle strict des sources d'ignition. • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Échappement et rassemblement sécuritaire du personnel en réponse aux alarmes de détection de gaz, et avant l'ignition. • Plusieurs chemins d'évacuation menant à la zone de rassemblement sécurisée principale et à une zone de rassemblement sécurisée alternative. • Protection active contre l'incendie, y compris le système de mousse pour les bassins à boues. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Systèmes de rassemblement et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	S	R	D-02

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.02	Incendie ou explosion dans les zones de retour des boues de forage (tamis vibrants)	• Boue gazée • Fuite de puits • Venue (kick) de faible ampleur / contrôle de puits • Défaillance du système de ventilation	• Incendie ou explosion pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Effet domino aggravant possible et dommages aux équipements de contrôle des puits menant à l'éruption	2	4	**S**	• Surveillance des retours de boue (p. ex. : volumes, gaz inflammables) • Formation et compétence du personnel • Procédures de contrôle de puits et de venue (kick) • Arrêt d'urgence et utilisation d'un système de duse et d'injection (choke & kill) et d'un séparateur boue/gaz pour dévier ou contenir les gaz inflammables et les évacuer en toute sécurité • Ventilation des zones de l'agitateur et du bassin à boue afin de limiter la possibilité d'accumulation importante de gaz	• Arrêts d'urgence des installations de surface avec contrôle strict des sources d'ignition. • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Échappement et rassemblement sécuritaire du personnel en réponse aux alarmes de détection de gaz, et avant l'ignition. • Plusieurs chemins d'évacuation menant à la zone de rassemblement sécurisée principale et à la zone sécurisée alternative de rassemblement. • Protection active contre l'incendie, y compris le système de mousse pour les bassins à boues. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Systèmes de rassemblement et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	D-02
H-01.02.02	Fuites ou déversements d'hydrocarbures lors des essais de puits	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure)	• Incendie ou explosion pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Effet domino aggravant possible et dommages aux équipements de contrôle des puits menant à l'éruption	2	4	**S**	• Équipement d'essai de puits certifié conçu de façon appropriée et faisant régulièrement l'objet de tests, d'inspection et d'entretien, inspecté et entretenu dans le cadre du système de maintenance préventive du navire de forage • Formation et compétence du personnel • Zone d'essai de puits ouverte, bien ventilée et éloignée de l'équipement critique de contrôle de puits • Essais de puits effectués pendant la journée afin de minimiser les risques d'erreurs	• Zone d'essai de puits située vers la poupe du navire de forage, dans une zone ouverte et éloignée du plancher de forage et de la zone principale de rassemblement. • Détection de gaz et d'incendie dans la zone d'essai de puits. • Arrêt d'urgence et isolement du débit du puits. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Échappement et rassemblement sécuritaire du personnel en réponse aux alarmes de détection de gaz, et avant l'ignition, ou en cas d'alarme incendie. • Isolement immédiat de l'équipement et dépressurisation au moyen des rails du brûleur. • Plusieurs chemins d'évacuation menant à la zone de rassemblement sécurisée principale et à une zone de rassemblement sécurisée alternative.	1	4	**S**	R	D-03

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Systèmes actifs de protection contre l'incendie (p. ex. : eau incendie et mousse). • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Systèmes de rassemblement et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.02.03	Éruption de puits pendant la production (écoulement sous-marin)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet avec impact sur la tête de puits	• Éruption d'hydrocarbures sur le fond marin avec dispersion à la surface (la densité des fluides de gisement est inférieure à la densité de l'eau de mer) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	**2**	**5**	**I**	• Planification et programme des puits tenant compte des aspects propres aux puits et des exigences en matière de conception • Inspection, essai et maintenance de l'équipement sous-marin • Protection cathodique (anodes réactives) • Têtes de puits éloignées du FPSO (unité flottante de production, de stockage et de déchargement) sans levage au-dessus des têtes de puits actives	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Surveillance de la pression des lignes de production et de gaz à partir des têtes de puits. • Isolement du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Contrôler ou contenir l'éruption de puits en utilisant des services et équipements d'intervention d'urgence (p. ex. : cloches de confinement pour recueillir les hydrocarbures, puits de secours pour faire cesser l'éruption).	1	5	**S**	R	D-01
H-01.06.03	Fuite de fluides de gisement provenant des têtes de puits sous-marins (9) – à l'intérieur de la vanne latérale sur tête de production	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	**2**	**5**	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Revêtement de peinture sous-marine • Têtes de puits éloignées du FPSO (unité flottante de production, de stockage et de déchargement) sans levage au-dessus des têtes de puits actives	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Surveillance de la pression des lignes de production et de gaz à partir des têtes de puits. • Isolement du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	**S**	R	D-01
H-01.06.04	Fuite de fluides dans les arbres de Noël des puits sous-marins – hors de la vanne latérale sur tête de production	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	**2**	**5**	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Revêtement en alliage anti-corrosion • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Revêtement de peinture sous-marine • Têtes de puits éloignées du FPSO (unité flottante de production, de stockage et de déchargement) sans levage au-dessus des têtes de puits actives.	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	**A**	L	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.05	Fuite de fluides à partir de la ligne de production de puits sous-marins jusqu'aux collecteurs	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet • Expansion de la ligne de production	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	**2**	**5**	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Sélection du matériau (acier au carbone conforme à la norme NACE) • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Revêtement de peinture sous-marine • Lignes de production de puits vers les collecteurs éloignés du FPSO sans levage au-dessus des lignes de production des puits actifs.	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	**A**	L	
H-01.06.06	Fuite de fluides de gisement dans les collecteurs	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	2	5	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Revêtement en alliage anti-corrosion • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Revêtement de peinture sous-marine • Collecteurs éloignés du FPSO (unité flottante de production, de stockage et de déchargement) sans levage au-dessus des collecteurs actifs.	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	**A**	L	
H-01.06.07	Fuite de fluides de gisement depuis la ligne de production de DC-3 à DC-1	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet • Expansion de la ligne de production	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	2	5	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Sélection du matériau (acier au carbone conforme à la norme NACE) • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Revêtement de peinture sous-marine • Lignes de production de puits de DC-3 vers DC-1 éloignés du FPSO sans levage au-dessus des lignes de production actives.	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	**A**	L	
H-01.06.08	Fuite de fluides de gisement depuis la ligne de production de DC-1 au collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet • Expansion de la ligne de production • Surpression	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	2	5	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Sélection du matériau (acier au carbone conforme à la norme NACE) • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Revêtement de peinture sous-marine • HIPPS (système de protection de pression de haute intégrité)	• Profondeurs d'eau entraînant de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	**A**	L	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.09	Fuite de fluides de gisement à partir ou à proximité du collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet • Pêche au chalut • Surpression	• Rejet en mer de fluides de gisement • Migration du gaz vers la surface de la mer (concentration inflammable possible à la surface, profondeur d'eau nominale de 120 m au FPSO) • Dispersion de gaz inflammable vers le FPSO, créant un feu de type Flash qui pourrait causer des blessures graves ou mortelles (moins de trois) au personnel exposé • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine	2	4	S	• Inspection, essai et maintenance des pipelines, y compris le raclage périodique • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Protection cathodique • Restrictions sur le levage au-dessus des pipelines • Protection des pipelines contre les surchages des chaluts jusqu'à une profondeur d'eau nominale de 800 mètres	• Collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL) et pipeline de production éloignés du FPSO. • Protection contre les surcharges des chaluts protégeant des impacts et des rejets importants. • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Contrôle des sources d'ignition du FPSO par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	A	L	
H-01.06.10	Fuite de fluides de gisement sur tube prolongateur de production vers le FPSO	• Collision par un navire • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet • Pêche au chalut • Surpression	• Rejet en mer de fluides de gisement • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine • Migration de gaz vers la surface de l'océan • Rejet de gaz inflammable à la surface ou au-dessus de la surface de la mer, explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé. • Événement de longue durée avec potentiel d'effet domino aggravant, en fonction de la taille du rejet et de l'inventaire du tube prolongateur et du pipeline	2	5	I	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Restrictions sur le levage au-dessus des pipelines • Zone d'exclusion autour du terminal du hub près des côtes et du FPSO • Tubes prolongateurs situés à l'écart des zones où se déroulent les opérations des navires • Protection des tubes prolongateurs et protection contre les impacts	• Vanne d'isolement sous-marine du FPSO sur les isolats du collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL) provenant des pipelines d'importation. • Tubes prolongateurs situés au milieu du navire et éloignés du RT avec une séparation significative. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage). • Plan d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	S	R	F-01

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.11	Rejet de gaz (y compris les fluides de gisement) à partir du collecteur d'entrée du FPSO ou du récupérateur de bouchon liquide (slug catcher) (95 barg, 0 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	I	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Isolement / arrêt d'urgence du débit (à la tête de puits pour les tubes prolongateurs d'importation). • Vannes d'isolement sous-marines (VISM) du FPSO – les exigences relatives aux VISM seront déterminées dans le cadre de la conception technique. • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	S	R	F-03
H-01.05.01	Fuite de liquide inflammable en fond du récupérateur de bouchon liquide du FPSO ou sur l'échangeur de chaleur (2 x 50 %) (90 barg)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Avant la stabilisation, il peut y avoir une génération de vapeur, avec risque d'explosion (voir H-01.06.11)	2	4	S	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH). • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement.	1	4	S	L	F-04

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.06.12	Rejet de gaz inflammables en tête du séparateur de condensat à moyenne pression du FPSO (39 barg, 45 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	**I**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	F-10
H-01.05.02	Rejet de liquides inflammables en fond de séparateur de condensats à moyenne pression du FPSO (39 barg, 45 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Possibilité de génération de vapeur, avec risque d'explosion, avant la stabilisation (voir H-01.06.12)	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées.	1	4	**S**	L	F-07

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.06.13	Rejet de gaz inflammables en tête du séparateur de condensats à basse pression du FPSO (10 barg, 43 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	F-10
H-01.05.03	Rejet de liquides inflammables en fond de séparateur de condensats à basse pression du FPSO et/ou de l'échangeur (10 barg, 45 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Possibilité de génération de vapeur, avec risque d'explosion, avant la stabilisation (voir H-01.06.13)	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt)	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide.	1	4	**S**	L	F-08

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
							• Système de dépressurisation	• Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.06.14	Rejet de gaz inflammables en tête du stabilisateur de condensats à basse pression du FPSO (0,8 barg, 74 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Rejet de gaz ou feu de type Flash pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Système basse pression (0,8 bar). • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	3	**A**	R	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.05.04	Rejet de condensat en fond de séparateur très basse pression du stabilisateur de condensats du FPSO ou de l'échangeur (0,8 barg, 74 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Système basse pression (0,8 bar). • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	L	F-09
H-01.05.05	Rejet de condensat de la pompe de recyclage du stabilisateur de condensats du FPSO (10 barg, 40 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Étalement du feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Déversement de condensat dans la mer	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Système basse pression (0,8 bar) une fois les pompes arrêtées. • Pompe rarement utilisée. • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Détection d'incendie et de gaz avec alarmes associées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie.	1	3	**A**	L	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.07.01	Rejet de condensat de la hiloire du FPSO ou débordement du bac de récupération	• Le déversement de condensat surpasse la capacité du bac de récupération • Mouvements du navire • Le dispositif d'extinction automatique fait déborder le bac de récupération après l'activation	• Petit feu de nappe qui se diffuse • Faible déversement de condensat dans la mer	2	3	**S**	• Procédures de maintenance • Vidange des réservoirs	• Détection rapide du déversement puisque proviendrait d'une opération manuelle. • Matériel de nettoyage des déversements à bord.	1	2	**A**	L	
H-01.07.02	Rejet de condensat en provenance du réservoir de stockage du FPSO	• Remplissage excessif des réservoirs de cargaison • Erreur de l'opérateur • Défaillance structurelle de la coque • Collision par un navire (navire de passage, navire accompagnateur, navire-citerne de déchargement)	• Feu de nappe à la surface de la mer (un incendie prolongé à la surface de la mer est considéré comme improbable) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable en cas de déversement important	2	5	**I**	• Formation et compétence du personnel • Détection du niveau des réservoirs de cargaison et alarmes • Déversement du condensat dans la mer empêché par la hiloire du pont • Zone d'exclusion autour du FPSO • Double coque • Procédures d'exploitation marines pour les navires accompagnateurs et les navires-citernes de déchargement • Emplacement de l'installation clairement indiqué sur les cartes de navigation maritime • Aides à la navigation	• Un condensat plus léger peut s'altérer rapidement, réduisant ainsi l'impact potentiel sur l'environnement. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	**S**	M/L	F-13
H-01.07.03	Incendie dans le réservoir de stockage de condensat du FPSO	• Défaillance du système de gaz inerte • Entrée d'air dans les réservoirs • Entrée de réservoir incorrecte • Jet enflammé de longue durée sur le dessus des réservoirs	• Explosion ou incendie dans le réservoir pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé. • Dommages aux réservoirs et à la coque • Feu de nappe à la surface de la mer • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable	2	5	**I**	• Formation et compétence de l'équipe • Inspection, essai et maintenance du système de gaz inerte du réservoir • Contrôle de la composition de gaz inerte • Entrée de réservoir peu fréquente • Procédures d'entrée en espace clos • Détection d'incendie, isolement et limitation de la purge sous pression pour réduire la durée du jet enflammé	• Systèmes actifs de protection contre l'incendie (p. ex. : eau incendie et mousse). • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	5	**S**	R	F-14

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.07.04	Vapeur de cargaison dans les ballasts du FPSO	• Corrosion des cloisons de protection adjacentes • Collision par un navire	• Incendie ou explosion dans un réservoir de ballast / réservoirs de stockage • Dommages importants potentiels aux ballasts ou aux réservoirs de cargaison • Rejet de condensat entraînant un feu de nappe à la surface de la mer (un incendie prolongé à la surface de la mer est improbable) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable en cas de déversement important	2	5	**I**	• Intégrité du réservoir et des revêtements • Inspections et maintenance des réservoirs • Contrôle du gaz des ballasts avec détection de gaz et alarme sur HLL	• Systèmes actifs de protection contre l'incendie (p. ex. : eau incendie et mousse). • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant aux RT / aux zones de rassemblement et aux zones de rassemblement sécurisées alternatives. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage)	1	5	**S**	R	F-14
H-01.07.05	Surpression ou vide au niveau des réservoirs de cargaison du FPSO	• Dysfonctionnement de la vanne du système de dépressurisation sur le dessus des réservoirs • Aérateur de réservoir de cargaison obstrué • Défaillance du système de gaz inerte • Erreur de l'opérateur	• Rupture du réservoir de cargaison • Feu de réservoir • Dommages importants potentiels à la structure du navire • Rejet de condensat entraînant un feu de nappe à la surface de de la mer (un incendie prolongé à la surface de la mer est improbable) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable en cas de déversement important	2	5	**I**	• Indication de pression et surveillance pour chaque réservoir de cargaison • Inspection, essai et maintenance du système de gaz inerte du réservoir et des systèmes de dépressurisation associés • Vannes de dépressurisation sur chaque réservoir	• Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage). • Un condensat plus léger peut s'altérer rapidement, réduisant ainsi l'impact potentiel sur l'environnement. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	**S**	M	F-13 F-14
H-01.07.06	L'évent du réservoir du FPSO libère du gaz dans des conditions de faible vent	• Vapeurs excessives provenant du réservoir	• Les évents du réservoir sont acheminés vers le brûleur de torche, donc aucune conséquence dangereuse	2	1	**A**							
H-01.07.07	La foudre frappe l'évent du réservoir du FPSO	• Conditions météorologiques défavorables	• Les évents du réservoir sont conçus pour acheminer l'air vers le brûleur de torche, donc aucune conséquence dangereuse	1	1	**A**							
H-01.07.08	L'évent de réservoir du FLNG / méthanier libère du gaz dans des conditions de faible vent	• Vapeurs excessives provenant du réservoir • Le méthanier arrive « chaud »	• Gaz évaporé du méthanier envoyé vers le FLNG	2	1	**A**							
H-01.07.09	La foudre frappe l'évent du réservoir du FLNG/méthanier	• Conditions météorologiques défavorables	• Petit feu diffus provenant de l'évent	1	1	**A**							

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.15	Entrée de gaz dans les zones de sûreté du FPSO (p. ex. : quartiers de vie, salles électriques, etc.)	• Rejet de gaz de procédé ou de GNL • Retard dans la détection ou l'arrêt	• Accumulation de gaz entraînant une explosion • Explosion pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	I	• Détection de gaz sur les prises de CVCA • Arrêt d'urgence et fermeture des registres du système de CVCA • Maintien d'une pression positive dans l'espace par le système de CVCA • Recirculation interne de l'air dans l'installation	• Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Détection de gaz de procédé et arrêt avec dépressurisation. • Dispersion rapide du méthane, qui est généralement plus léger que l'air. • Évacuation du RT avant l'accumulation de produits inflammables au-dessus de LFL.	1	3	A	R / M	
H-01.06.16	Entrée de gaz dans les zones de sécurité du FLNG et du LS (p. ex. : quartiers de vie, salle de contrôle du FLNG, salles électriques, etc.)	• Rejet important de GNL (p. ex. : défaillance d'un réservoir du FLNG ou du méthanier) • Retard dans la détection ou l'arrêt	• Accumulation de gaz entraînant une explosion • Explosion pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	I	• Détection de gaz sur les prises du système de CVCA • Arrêt d'urgence et fermeture des registres du système de CVCA • Maintien d'une pression positive dans l'espace par le système de CVCA • Recirculation interne de l'air dans l'installation	• Plateforme LS éloignée du processus. • Détection de gaz de procédé et arrêt avec dépressurisation. • Évacuation du RT avant l'accumulation de produits inflammables au-dessus de LFL.	1	5	S	L	N-17
H-01.05.06	Rejet de condensat provenant du comptage du condensat du FPSO	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Diffusion du feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Déversement de condensat dans la mer	2	4	S	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Déchargements peu fréquents (3 ou 4 par année). • Taux de transfert initial maintenu à un faible niveau pendant que le système est inspecté pour y déceler la présence de fuites. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes d'arrêt d'urgence du déchargement. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures.	1	3	A	L	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.05.07	Rejet de condensat provenant du tuyau de chargement du FPSO	• Défaillance du raccord de tuyau flexible • Défaillance de tuyau en raison d'une haute tension, d'une surpression ou d'une fuite de bride • Mauvaise composition du tuyau • Navette-citerne insuffisamment entretenue	• Déversement de condensat dans la mer • Feu de nappe à la surface de la mer (un incendie prolongé à la surface de la mer est considéré comme très improbable)	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipe • Procédures sécuritaires de déchargement • Essai de pression du tuyau et de l'équipement de transfert	• Déchargements peu fréquents (3 ou 4 par année). • Taux de transfert initial maintenu à un faible niveau pendant que le système est inspecté pour y déceler la présence de fuites. Couplage à sec limitant la quantité de condensat déversée. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	**A**	L	
H-01.06.17	Rejet de gaz en provenance de la compression du gaz vaporisé du FPSO (épurateur de gaz vaporisé BP, compresseur, épurateur de gaz vaporisé MP, compresseur)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	F-10
H-01.06.18	Fuite de gaz en provenance du système de gaz de combustion du FPSO	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure) sur le système de gaz de combustion de HP	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements • Échec de l'évacuation vers la plateforme LS	2	4	**S**	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie.	1	4	**S**	R	F-11

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.05.08	Rejet de condensat en fond d'épurateur du détendeur du FPSO	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	L	F-06
H-01.06.19	Rejet de gaz provenant en provenance du traitement de gaz (refroidisseur d'entrée de l'épurateur du détendeur, espace vapeur de l'épurateur du détendeur, détendeur à turbine) (81 barg, -2,8 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement.	1	4	**S**	R	F-05

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.06.20	Rejet de gaz du séparateur à basse température (75 barg, -13 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	F-05
H-01.06.21	Rejet de gaz des ensembles de comptage du gaz d'exportation (78 barg, -4,3 ºC)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz.	1	4	**S**	R	F-05

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.06.22	Rejet de gaz provenant des tubes prolongateurs de gaz d'exportation du FPSO (x2)	• Collision par un navire • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet	• Migration de gaz vers la surface de la mer • Rejet de gaz le plus probable dans la zone d'éclaboussure avec explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé. • Événement de longue durée avec potentiel d'effet domino aggravant, en fonction de la taille du rejet et de l'inventaire du tube prolongateur et du pipeline	2	5	**I**	• Inspection, essai et maintenance de l'infrastructure de production sous-marine • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Utilisation d'inhibiteurs de corrosion • Protection cathodique • Restrictions sur le levage au-dessus des pipelines • Zone d'exclusion autour du terminal du hub GNL près des côtes et du FPSO • Tubes prolongateurs situés à l'écart des zones où se déroulent les opérations des navires • Protection des tubes prolongateurs et protection contre les impacts	• Vanne d'isolement sous-marine du FPSO sur les isolats du collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL) provenant du gazoduc d'exportation des gaz • Tubes prolongateurs situés au milieu du navire et éloignés du RT avec une séparation significative • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	5	**S**	R	F-02
H-01.06.23	Rejet de gaz du gazoduc (collecteur d'extrémité de pipeline loin des côtes vers la plateforme avec tube prolongateur A1)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, défaut de soudure) • Chute d'objet • Pêche au chalut • Expansion de la ligne de production	• Rejet en mer de gaz d'hydrocarbures et pollution marine • Migration du gaz vers la surface de la mer (concentration inflammable possible à la surface, profondeur d'eau nominale de 120 m au FPSO) • Dispersion de gaz inflammable vers le FPSO, créant un feu de type Flash qui pourrait causer des blessures graves ou mortelles (moins de trois) au personnel exposé	2	4	**S**	• Inspection, essai et maintenance des pipelines, y compris le raclage périodique • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Protection cathodique • Restrictions sur le levage au-dessus des pipelines • Protection contre les surcharges des chaluts sur le pipeline jusqu'à une profondeur d'eau nominale de 800 mètres	• Collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL) et gazoduc d'exportation des gaz éloignés du FPSO. • Protection contre les surchages des chaluts protégeant des impacts et des rejets importants. • Arrêt du débit au collecteur d'extrémité de pipeline de la vanne d'isolement sous-marine et au FPSO. • Contrôle des sources d'ignition du FPSO par classification des zones dangereuses (conformité ATEX).	1	3	**A**	L	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.24	Rejet de gaz du gazoduc (hub près de la côte)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion) • Chute d'objet • Pêche au chalut • Expansion de la ligne de production • Ancrage traîné	• Rejet en mer de gaz d'hydrocarbures • Migration de gaz vers la surface de la mer (la concentration de gaz en surface peut être élevée en raison de la faible profondeur d'eau) • Dispersion de gaz inflammable vers les FLNG , créant un feu de type Flash qui pourrait causer des blessures graves ou mortelles (moins de trois) au personnel exposé	2	4	S	• Inspection, essai et maintenance des pipelines, y compris le raclage périodique • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Protection cathodique • Restrictions sur le levage au-dessus des pipelines • Zone d'exclusion autour du terminal du hub GNL près des côtes • Protection contre les surcharges des chaluts sur le pipeline jusqu'à une profondeur d'eau nominale de 800 mètres • Ancrage traîné et protection contre les impacts sur le pipeline de la plateforme avec tube prolongateur A1	• Gazoduc d'importation de gaz de la plateforme avec tube prolongateur A1 éloigné du FLNG et de la plateforme LS. • Protection contre les surcharges des chaluts, les chute d'objet, les ancres flottantes, protégeant des impacts et les rejets importants. • Arrêt du débit au collecteur d'extrémité de pipeline de la vanne d'isolement sous-marine, au FPSO et à la plateforme avec tube prolongateur A1.	1	3	A	M	
H-01.06.25	Rejet de gaz à partir du tube prolongateur du hub près de la côte (plateforme avec tube prolongateur A1)	• Collision par un navire • Chute d'objet • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, défaut de soudure)	• Rejet de gaz, explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé. • Événement de longue durée avec potentiel de dommages significatifs à la plateforme avec tube prolongateur, en fonction de la taille du rejet et de l'inventaire du tube prolongateur et du pipeline	2	5	I	• Inspection, essai et maintenance des tubes prolongateurs et des structures de soutien • Plans de gestion de l'intégrité des tubes prolongateurs et des pipelines • Protection cathodique • Restrictions sur le levage au-dessus des pipelines • Zone d'exclusion autour du terminal du hub GNL près des côtes • Tubes prolongateurs situés à l'écart des zones où se déroulent les opérations des navires • Protection des tubes prolongateurs et protection contre les impacts	• Arrêt du débit au FPSO et à la plateforme avec tube prolongateur. • Plateforme avec tube prolongateur A1 éloignée d'autres installations et processus. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant à la zone de rassemblement sécurisée sur la plateforme avec tube prolongateur A1 ou au RT / à la zone de rassemblement sécurisée sur la plateforme LS. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	5	S	R	N-01
H-01.06.26	Rejet de gaz provenant de la conduite/tuyau flexible entre la plateforme avec tube prolongateur A1 et le FLNG	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure)	• Jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	I	• Inspection, essai et maintenance de la conduite et du tuyau flexible • Gaz sec – potentiel limité de corrosion	• Zone normalement non habitée. • Arrêt d'urgence de procédé avec un inventaire limité entre l'isolement sur la plateforme avec tube prolongateur A1 et le FLNG. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie.	1	4	S	R	N-02

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.06.27	Rejet de gaz provenant du comptage de gaz ou du séparateur à haute pression (HP) du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	5	**I**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-04
H-01.05.09	Rejet de liquide provenant du séparateur à haute pression (HP) du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Petit inventaire du navire entraînant un petit incendie pouvant avoir un impact mineur sur le personnel	2	3	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement.	1	3	**A**	L	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.28	Rejet de gaz provenant du filtre de gaz d'entrée de l'échangeur d'alimentation de contacteur ou du contacteur aux amines du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-04
H-01.06.29	Rejet de gaz de l'épurateur d'entrée à tamis moléculaire, du filtre à tamis moléculaire, du déshydrateur ou du ballon d'extraction de mercure du FLNG,	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-05

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.30	Rejet de gaz inflammables du fractionnement du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz inflammable ou jet enflammé pouvant causer de nombreuses blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	I	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	S	R	N-08
H-01.03.01	Rejets d'hydrocarbures liquide léger (GPL) provenant du fractionnement du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Rejet d'hydrocarbures légers (GPL) qui se vaporiseront rapidement et généreront un rejet de gaz inflammable et éventuellement une nappe de liquide volatil • Explosion de gaz inflammable ou jet enflammé pouvant causer de nombreuses blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé	2	5	I	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Colonne de fractionnement d'inventaire limitée. • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un faible déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée sur la plateforme avec tube prolongateur A1.	1	4	S	R	N-09

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.04.01	Rejet de GNL du train de liquéfaction du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion ou feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Fragilisation et fissuration / défaillance de la structure métallique, de la coque ou du bordé de pont en contact avec le GNL • Dommages aux équipements	2	5	**I**	• Sélection du matériau pour le service cryogénique • Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un faible déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-10
H-01.04.02	Rejet de GNL à partir du détendeur GNL du ballon de flash de GNL ou de la pompe de transfert de GNL du FLNG	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion ou feu de nappe pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Fragilisation et fissuration / défaillance de la structure métallique, de la coque ou du bordé de pont en contact avec le GNL • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Sélection du matériau pour le service cryogénique • Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un faible déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement.	1	4	**S**	R	N-11

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone sécurisée de rassemblement alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.03.02.1	Rejet de réfrigérant GNL (GPL) du ballon, des compresseurs ou des échangeurs – Gaz	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression • Chute d'un réservoir pendant le transfert pour recharger le réfrigérant	• Explosion grave (potentiel de détonation avec l'éthylène) ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Effets d'une surpression couvrant une distance considérable	2	5	**I**	• Sélection du matériau pour le service cryogénique • Formation et compétence du personnel • Procédure de démarrage de l'équipement • Sélection du matériau pour le service cryogénique • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Gestion des appareils de levage • Réservoirs surélevés munis d'une protection en cas d'impact • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone sécurisée de rassemblement alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	5	**S**	R	N-13
H-01.03.02.2	Rejet de réfrigérant GNL (GPL) du ballon, des compresseurs ou des échangeurs – Liquide / Biphasique	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression • Chute d'un réservoir pendant le transfert pour recharger le réfrigérant	• Explosion grave (potentiel de détonation avec l'éthylène) ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Effets d'une surpression couvrant une distance considérable • Fragilisation et fissuration / défaillance de la structure métallique, de la coque ou du bordé de pont	2	5	**I**	• Sélection du matériau pour le service cryogénique • Formation et compétence du personnel • Procédure de démarrage de l'équipement • Sélection du matériau pour le service cryogénique • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Gestion des appareils de levage • Réservoirs surélevés munis d'une protection en cas d'impact • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un faible déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie.	1	5	**S**	R	N-14

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
								• Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone sécurisée de rassemblement alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de TR et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).					
H-01.03.03	Explosion de vapeur en expansion à partir de liquide en ébullition (BLEVE) provenant du navire contenant le gaz liquéfié (GPL)	• BLEVE chaud • Jet enflammé de longue durée sur le navire de réfrigérant	• Vaporisation explosive pouvant générer des ondes de choc en surpression et une projection de matériaux solides • Boule de feu ascendante pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Dommages matériels	2	5	I	• Système de dépressurisation • Systèmes de détection d'incendie et de gaz • Système de refroidissement du FLNG avec de l'eau incendie • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie pour refroidir les navires touchés	• Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone sécurisée de rassemblement alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	S	M	N-12
		• BLEVE froid • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression • Chute d'un conteneur portable contenant du GPL pendant le transfert pour recharger le réfrigérant	• Vaporisation explosive pouvant générer des ondes de choc en surpression et une projection de matériaux solides • Feu de type Flash ou explosion pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Dommages matériels	2	5	I	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Gestion des appareils de levage • Formation et compétence du personnel • Réservoirs surélevés munis d'une protection en cas d'impact • Système de dépressurisation	• Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Système de refroidissement du FLNG avec de l'eau incendie. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	S	R	N-12

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.03.04	Rejet de réfrigérant (GPL) provenant du stockage de réfrigérant du FLNG (éthylène, propane et isopentane)	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression • Chute d'un conteneur portable contenant du GPL pendant le transfert pour recharger le réfrigérant	• Explosion grave (potentiel de détonation avec l'éthylène) ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Effets d'une surpression couvrant une distance considérable • Fragilisation et fissuration / défaillance de la structure métallique, de la coque ou du bordé de pont	2	5	I	• Sélection du matériau pour le service cryogénique • Formation et compétence du personnel • Procédure de démarrage de l'équipement • Sélection du matériau pour le service cryogénique • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Gestion des appareils de levage • Réservoirs surélevés munis d'une protection en cas d'impact • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un faible déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	5	S	R	N-15
H-01.04.03	Rejet de GNL du réservoir de stockage (FLNG ou méthanier)	• Collision d'un méthanier avec des installations portuaires proches de la côte (p. ex. : quai d'amarrage) • Basculement (rejet rapide de vapeurs de GNL du réservoir de stockage en raison de la stratification) • Ballottement de liquide (à l'intérieur d'un stockage)	• Dommages aux réservoirs • Feu de nappe ou à inflammation instantanée pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Dispersion de gaz inflammable à des distances considérable • Fragilisation et fissuration / défaillance de la structure métallique, de la coque ou du bordé de pont en contact avec le GNL • Aération du réservoir de surpression • Expansion rapide de la vapeur et surpression en cas de déversement sur l'eau	2	5	I	• Formation et compétence du personnel • Remorqueurs utilisés pour manœuvrer le méthanier pendant l'accostage (opération à basse vitesse) • Les réservoirs de stockage de GNL de type Moss ne sont pas sujets à de forts effets de ballottement de liquide • Un basculement est peu probable puisque le GNL a une densité constante • FLNG sur le côté opposé du quai d'amarrage, protégé par la structure du quai mobile • Plateforme LS éloignée du quai d'amarrage • Procédures de transfert de GNL • Aération du réservoir • FLNG et méthanier à double coque	• Évaporation et dispersion faciles du GNL. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage). • Plan d'intervention d'urgence.	1	5	S	M	N-17

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.04.04	Rejet de GNL pendant le transfert du FLNG au méthanier (bras de chargement)	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, rupture de bride, défaut de soudure) • Erreur de l'opérateur pendant le transfert	• Feu de nappe ou feu de type Flash pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Fragilisation et fissuration / défaillance de la structure métallique, de la coque ou du bordé de pont en contact avec le GNL • Expansion rapide de la vapeur et surpression en cas de déversement sur l'eau	2	4	**S**	• Sélection du matériau pour le service cryogénique • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Procédures de transfert de GNL • Formation et compétence du personnel	• Évaporation et dispersion faciles du GNL. • Système de déconnexion d'urgence du bras de chargement. • Quantité limitée de GNL déversée par la déconnexion du bras de chargement (estimée à environ 83 m^3). • Zones de confinement/système de rétention pour contenir le déversement. • Détection de gaz et arrêt d'urgence. • Opération de transfert surveillée par caméra de télévision en circuit fermé. • Accès restreint à la zone de transfert.	1	4	**S**	R	N-18
H-01.06.31	Rejet de gaz provenant de la compression de gaz évaporé/vaporisé ou des échangeurs	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Explosion de gaz ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Système de dépressurisation	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-06
H-01.06.32	Rejet de gaz à basse pression (retour de méthane) pendant le transfert du FLNG au méthanier	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, rupture de bride, défaut de soudure) • Erreur de l'opérateur pendant le transfert	• Rejet de gaz à basse pression et incendie localisé pouvant causer des blessures graves au personnel exposé	2	3	**S**	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Procédures de transfert de GNL • Formation et compétence du personnel	• Détection de gaz et arrêt d'urgence.	1	2	**A**	M	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-02.03.01	Déversement de carburant diesel pendant le transfert du/vers le navire de ravitaillement (transfert en vrac et/ou ravitaillement)	• Rupture/bris du tuyau de transfert • Erreur de l'opérateur (vannes mal alignées) • Défaillance mécanique du réservoir de stockage • Surremplissage du réservoir de stockage	• Déversement de carburant diesel sur la surface de la mer • Pollution marine, en fonction du débit et de la durée du rejet	2	3	**S**	• Formation et compétence de l'équipe • Procédures et contrôles pour le transfert de carburant diesel • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Raccords rapides sur les tuyaux • Surveillance constante du remplissage du réservoir	• Opération humaine avec détection visuelle de toute fuite. • Arrêt d'urgence des pompes diesel et de l'alimentation en diesel. • Nettoyage de l'équipement pour les petits déversements. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	2	2	**A**	L	
H-02.03.02	Feu de diesel/huile dans une salle des machines ou dans un local de machinerie	• Équipement surchauffé ou défaillances de roulements • Explosions d'un carter de moteur • Pannes électriques • Fuite de diesel/huile enflammé(e) • Revêtement imbibé d'huile • Rejet de gaz de combustion	• Chaleur et vapeurs toxiques dans la pièce ou l'espace • Effet domino aggravant possible si non contrôlé • Incendie pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Un bon entretien (p. ex. : nettoyage du de l'huile et du diesel, remplacement des revêtements imbibés d'huile)	• Détecteurs de fumée, de gaz et d'incendie dans les salles des machines et les locaux de machinerie, avec alarmes associées. • Systèmes d'extinction d'incendie pour inonder la salle des machines et les locaux de machinerie afin d'éteindre le feu. • Salle des machines cotée pour sa résistance au feu et cloisons de protection des locaux de machinerie. • Arrêt du moteur en cas d'urgence et isolement du carburant pour limiter l'alimentation du feu. • Intervention rapide de l'équipe de lutte contre les incendies avec les moyens de lutte incendie présents à bord.	1	3	**A**	L	
H-02.03.03	Rejet de diesel du navire de soutien du terminal du hub près des côtes ou de stockage	• Défaillance mécanique du réservoir de stockage • Défaillance mécanique de la pompe de transfert du diesel • Collision par un navire de soutien et rupture des réservoirs de stockage dans la coque	• Déversement de carburant diesel sur la surface de la mer • Pollution marine, en fonction du débit et de la durée du rejet	3	3	**S**	• Mise en œuvre des dispositions de la Convention sur le Règlement international de 1972 pour prévenir les abordages en mer • Formation et compétence de l'équipe • Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Système de rétention et drainage pour contenir un plus faible déversement de liquide provenant d'un réservoir de stockage. • Arrêt d'urgence pour isoler le débit du réservoir. • Les procédures d'opérations marines dans la zone du terminal du hub près des côtes limitent les vitesses des navires et, par conséquent, la possibilité d'impacts importants/à grande vitesse et de dommages à la coque. • Équipement de nettoyage pour les petits déversements. Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH). • Inventaire limité sur la plateforme LS (400 m^3) ou dans un navire de soutien.	1	3	**A**	M	N-19

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
			• Grand feu de diesel sur la plateforme LS • Effet domino aggravant possible et impact sur l'installation de LS si non contrôlé • Incendie pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	S	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Liquide au diesel à point d'éclair élevé et difficile à enflammer (stockage du réservoir dans les conditions atmosphériques ambiantes). • Système de rétention et drainage pour contenir un plus faible déversement de liquide provenant d'un réservoir de stockage. • Détecteurs de fumée et d'incendie avec alarmes associées. • Arrêt d'urgence pour isoler le débit du réservoir. • Installations/RT conçus pour les charges d'incendie anticipées. • Détection de fumée sur les prises d'air du système de CVCA des installations de LS avec arrêt pour empêcher l'entrée de fumée. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	3	A	L	
H-01.06.33	Gaz de combustion dans la zone de services de la plateforme LS	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure)	• Accumulation de gaz importante possible et explosion si espace clos • Explosion ou incendie pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	5	I	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Système à basse pression avec un inventaire limité pouvant être rejeté après un arrêt. • Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Installations/RT conçus pour les charges d'explosion anticipées • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	2	4	S	M	N-16

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-01.06.34	Rejet de gaz de combustion provenant de la conduite de gaz de combustion du quai mobile du terminal du hub près des côtes alimentant la plateforme LS	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure)	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements • Échec de l'évacuation vers la plateforme LS	2	4	**S**	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone de rassemblement sécurisée alternative sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-03
H-01.06.35	Rejet de gaz de combustion provenant du système de gaz de combustion du FLNG	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure) sur le système de gaz de combustion de HP	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages aux équipements • Échec de l'évacuation vers la plateforme LS	2	4	**S**	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement	• Arrêt d'urgence de procédé et purge sous pression pour minimiser les quantités rejetées. • Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement sur la plateforme LS ou à la zone alternative de rassemblement sécurisée sur la plateforme avec tube prolongateur A1. • Plateforme LS éloignée du processus. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	N-07
		• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure) sur le système de gaz de combustion de BP	• Explosion ou jet enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Dommages matériels limités	2	4	**S**			1	3	**A**	R	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-02.04.01	Incendie dans les installations de ravitaillement des hélicoptères, ou à proximité	• Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, rupture de bride, défaut de soudure) • Ignition d'une surface chaude (p. ex. : moteur d'hélicoptère); travail par point chaud; statique	• Incendie pouvant causer des blessures graves ou mortelles au personnel exposé	2	4	**S**	• Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Mise à la terre de l'hélicoptère pendant le ravitaillement • Pas de travail par point chaud pendant le ravitaillement • Procédures sécuritaires de ravitaillement des hélicoptères • Formation et compétence de l'équipage	• L'hélipont n'est pas occupé pendant le ravitaillement. • Le bouton d'arrêt d'urgence de la pompe à carburant isole l'alimentation en carburant et arrête la pompe. • Le carburant pour hélicoptère est stocké à distance de l'hélipont. • L'unité de stockage du carburant pour hélicoptère est protégée par un dispositif de lutte contre les incendies qui libère une mousse AFFF (mousse à formation de pellicule aqueuse). • Des canons à mousse sont présents au niveau de l'hélipont.	1	3	**A**	M	
H-03.00.01	Incendie dans les zones de stockage de produits chimiques	• Mauvaises conditions de stockage • Ignition à partir d'un mégot de cigarette, travail par point chaud, panne électrique	• Explosion et fumée toxique pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipe • Fumer dans les zones de sûreté désignées seulement • Bon entretien • « Permis de travail » requis pour tous les travaux par point chaud, y compris la surveillance incendie avec accès immédiat au moyen d'extinction d'incendie • Un système « d'autorisation préalable au travail » pour les tâches générant de la chaleur et devant être réalisées à proximité de produits inflammables	• Détection d'incendie ou de fumée dans la zone de stockage de produits chimiques. • Stockage résistant au feu pour empêcher la propagation du feu et de la fumée. • Intervention rapide de l'équipe de lutte contre les incendies présente à bord. • Moyens de lutte incendie (y compris les extincteurs portatifs, les bornes d'incendie et les flexibles de raccordement qui permettent d'atteindre n'importe quelle partie du navire de forage, du FPSO ou du FLNG).	1	3	**A**	M	
H-03.00.02	Incendie dans les installations d'hébergement	• Huile de cuisson surchauffée • Accumulation de charpie dans les sécheuses à linge • Pannes électriques • Cigarette ou bougie	• Explosion et fumée toxique pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipe • Fumer dans les zones de sûreté désignées seulement • Bon entretien • Nettoyage régulier et inspections • Unités d'hébergement, y compris les accessoires et les meubles fabriqués avec des matériaux ininflammables	• Détection de fumée dans toutes les installations d'hébergement. • Cloisons résistantes au feu pour empêcher la propagation du feu et de la fumée. • Matériel d'hébergement ignifuge (p. ex. : literie, meubles, etc.). • Système d'adresse personnel, annonces et alarmes pour diriger le personnel. • Plusieurs chemins d'évacuation non obstrués et clairement indiqués permettant aux occupants d'être dirigés vers un point de rassemblement sécuritaire. • Dispositifs d'extinction automatique (sprinklers) et extincteurs portatifs dans les installations d'hébergement.	1	3	**A**	M	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-03.00.03	Rejet de produit chimique inflammable pour injection sur le FPSO	• Démarrage de l'équipement • Défaillance mécanique (p. ex. : corrosion, érosion, fatigue, rupture de bride, défaut de soudure) • Chute d'objet ou charge oscillante • Surpression	• Incendie pouvant causer des blessures graves ou mortelles (trois ou moins) au personnel exposé • Potentiel de nuage de vapeurs inflammables en raison de gouttelettes atomisées • Déversement de produits chimiques d'injection à la mer	2	4	**S**	• Procédure de démarrage de l'équipement • Inspection, essai et maintenance de l'équipement • Restrictions sur le levage au-dessus ou à proximité de l'équipement actif • Protection aux endroits où des impacts peuvent être possibles (p. ex. : près des zones de dépôt) • Systèmes de secours et de dépressurisation d'urgence	• Contrôle des sources d'ignition par classification des zones dangereuses (conformité ATEX). • Système de rétention et drainage pour contenir un déversement de liquide. • Systèmes de détection d'incendie et de gaz. • Systèmes actifs et passifs de protection incendie (p. ex. : dispositifs d'extinction automatiques) couvrant les zones de traitement. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant aux RT / aux zones de rassemblement sécuritaires. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage).	1	4	**S**	R	F-12
H-03.01.01	Ignition de matériaux cellulosiques	• Problème électrique • Mauvais entretien	• Incendie avec un potentiel de blessure du personnel • Défaillance des chemins d'évacuation	3	3	**S**	• Procédures d'entretien	• Systèmes de détection de fumée. • Extincteurs portatifs. • Chemins d'évacuation multiples avec signalisation et éclairage de secours.	2	3	**S**	M	
H-04.03.01	Rejet accidentel d'explosifs à bord du navire de forage	• Incendie dans la zone où sont stockés les explosifs • Acte criminel ou suicide	• Explosion de l'inventaire à bord du navire de forage • Blessures graves/décès potentiels (trois ou moins) pour les personnes exposées • Dommages physiques à l'intérieur du navire, pouvant affecter sa stabilité	2	4	**S**	• Utilisation d'un spécialiste tiers pour toutes les opérations impliquant des explosifs • Explosifs chargés sur le navire de forage au besoin uniquement • Explosifs stockés dans des conteneurs en acier pouvant être largués en cas d'incendie à bord • Explosifs et détonateurs complètement séparés • Aucun stockage de produits inflammables à proximité des explosifs • Toutes les activités impliquant l'utilisation d'explosifs sont strictement régies par les procédures précisées par l'entreprise de forage		1	3	**A**	R	
H-05.02.01	Eau dans le tube prolongateur d'exportation de gaz	• Première mise en service après l'installation	• Possibilité d'envoyer de l'eau en aval	3	2	**S**	• Procédures d'installation et de mise en service • Procédures de démarrage	• Opérations de raclage pour l'élimination de l'eau.	2	2	**A**	R	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-05.07.01	Ligne de production obstruée	• Accumulation de sable ou de cire • Formation d'hydrates • Piston racleur coincé	• Perte de confinement • Rejet en mer d'hydrocarbures avec impact significatif • Migration de gaz vers la surface de de la mer	2	5	I	• Système évalué pour la pression d'arrêt complète • Procédures opérationnelles de raclage	• Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	1	A	M/L	
H-06.03.01	Chute d'objet en provenance du navire de forage avec des dommages d'impact au collecteur ou à la ligne de production	• Erreur humaine • Fixation insuffisante de la charge • Poids excessif • Panne d'équipement	• Rejet d'hydrocarbures dans la mer • Migration de gaz vers la surface de la mer (faible concentration en raison de la profondeur d'eau) • Déversement d'hydrocarbures et pollution marine sur une distance considérable • Dommages aux équipements	2	4	S	• Formation et compétence • Procédures de levage • Levée des restrictions sur les équipements sous-marins • Installations sous-marines non situées près du FPSO • Plan d'opérations simultanées • Certifications de la grue et verrouillage de sûreté en cas de poids excessif • Entretien de la grue • Inspections de l'équipement de levage	• Les profondeurs d'eau entraînent de faibles concentrations de gaz inflammables à la surface (<<LFL). • Isolement du puits et arrêt du débit au niveau de la vanne latérale sur tête de production ou du fond du puits à la vanne de sécurité sous-marine contrôlée en surface (VSSMCS). • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	3	A	R	
H-07.01.01	Charge élevée sur les tubes prolongateurs du FPSO	• Mouvements de mer excessifs • Défaillance de l'amarrage • Défaillance structurelle • Collision par un navire	• Dommages au tube prolongateur (production et/ou gaz d'exportation) • Rejet potentiel d'hydrocarbures • Jet enflammé ou panache enflammé pouvant causer des blessures graves ou mortelles (plus de trois) au personnel exposé • Rejet d'hydrocarbures dans la mer	2	5	I	• Conception du tube prolongateur pour conformité optimale aux critères environnementaux du site • Inspection et enquêtes sur le tube prolongateur • Câbles d'amarrage redondants	• Vanne d'isolement sous-marine du FPSO sur les isolats du collecteur d'extrémité de pipeline (CEPL) provenant des pipelines d'importation et d'exportation. • Tubes prolongateurs situés au milieu du navire et éloignés du RT avec une séparation significative. • Navires de soutien et de ravitaillement équipés d'installations de lutte contre l'incendie. • Plusieurs chemins d'évacuation menant au RT / à la zone de rassemblement et à la zone de rassemblement sécurisée alternative. • Emplacement du FPSO en amont du vent dominant. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage et équipements de sauvetage). • Plan d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	S	M	F-01 F-02

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-08.00.01	Perte de stabilité du navire de forage	• Défaillance ou erreur pendant le ballastage • Incendie ou explosion à bord • Conditions météorologiques extrêmes ou événement environnemental grave • Erreur de remorquage • Collision violente avec un autre navire	• Perte de stabilité potentiellement importante pouvant entraîner le naufrage ou le chavirement du navire de forage • Perte de l'installation • Décès multiples (plus de trois)	2	5	I	• Sélection et utilisation d'un nouveau navire de forage (2014) construit selon les normes les plus récentes afin de minimiser le risque d'échec du ballastage • Degré élevé de redondance du système de ballast dans la conception du navire de forage • Périmètre de sûreté de 500 m autour du navire de forage pour prévenir les collisions (avec le détournement des navires non autorisés) • Utilisation d'un système de surveillance des navires (VMS) à bord du navire de forage, avec l'inclusion d'un programme de stabilité dont le but est de surveiller les conditions de stabilité du navire • Navire de forage conçu pour fonctionner dans des conditions difficiles • Inspections des structures régulières et surveillance	• Portes et compartiments étanches et intégrité du navire de forage. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage, gilets de sauvetage et équipements de sauvetage). • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de ravitaillement à proximité.	1	5	S	L	D-04
H-08.00.02	Perte de stabilité/naufrage d'un navire d'approvisionnement	• Mauvaises conditions météorologiques • Visibilité réduite pouvant causer une collision avec un autre navire • Défaillances mécaniques • Incendie à bord • Erreur humaine ou acte criminel	• Naufrage du navire • Perte du navire et de sa cargaison • Perte possible des occupants (trois ou moins) du navire	2	4	S	• Vérification météorologique avant chaque voyage • Navires pilotés par un équipage expérimenté • Présence continue d'ingénieurs mécaniciens à bord	• L'équipage de taille réduite doit pouvoir être évacué rapidement et en toute sécurité. • Appareils de sauvetage à bord (communications, radeaux de sauvetage, gilets de sauvetage). • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de soutien à proximité. • Plan d'intervention d'urgence.	1	3	A	L	
H-08.00.03	Perte de stabilité du FPSO	• Incendie/explosion du réservoir de cargaison • Conditions météorologiques extrêmes • Collision par un navire • Échec du ballastage • Fatigue • Corrosion	• Perte de stabilité/naufrage • Rejet potentiel d'hydrocarbures • Blessure ou décès du personnel (plus de trois)	2	5	I	• Modélisation et évaluations de la stabilité • Durée de vie opérationnelle de 30 ans • Procédures d'opération et de chargement • Prévisions météorologiques et surveillance • Couverture de gaz du réservoir de cargaison • Enduits contre la corrosion • Protection cathodique	• Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage, gilets de sauvetage et équipements de sauvetage). • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de soutien à proximité. • Plan d'intervention d'urgence. • Plan d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	S	L	F-15

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-08.00.04	Perte de stabilité du FLNG	• Conditions météorologiques extrêmes • Échec du ballastage • Fatigue • Corrosion	• Perte de stabilité/naufrage • Rejet potentiel d'hydrocarbures • Blessure ou décès du personnel (plus de trois)	2	5	I	• Modélisation et évaluations de la stabilité • Durée de vie opérationnelle de 30 ans • Procédures d'opération et de chargement • Prévisions météorologiques et surveillance • Enduits contre la corrosion • Protection cathodique • Protection derrière un brise-lames	• Évacuation par le quai mobile du hub vers la plateforme LS. • Profondeur d'eau relativement faible au hub près des côtes (ne doit pas chavirer). • Présence de navires de soutien à proximité. • Plan d'intervention d'urgence.	1	3	A	L	
H-08.00.05	Défaillance structurelle de la plateforme LS	• Conditions météorologiques extrêmes • Défaillance des fondations des godets d'aspiration • Défaut de fabrication du treillis	• Défaillance structurelle potentielle de la plateforme LS • Dommages potentiels à la passerelle • Blessures ou décès du personnel (plus de trois)	2	5	I	• Données MetOcean • Relevés du fond marin avant l'installation • Sélection du matériel • Plateforme LS située derrière un brise-lames	• Possibilité de s'échapper par la passerelle sur le quai mobile et la plateforme A1 en cas d'effondrement lent. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage, gilets de sauvetage et équipements de sauvetage). • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de soutien à proximité. • Plan d'intervention d'urgence.	1	5	S	L	N-20
H-08.03.01	Écrasement d'hélicoptère	• Mauvaises conditions météorologiques • Visibilité réduite pouvant causer une collision avec un autre navire ou avec des installations offshore • Défaillances mécaniques (p. ex. : boîte d'engrenages) • Incendie à bord • Erreur humaine ou suicide du pilote	• Écrasement d'aéronef, perte de flottabilité et naufrage • Perte de l'aéronef et de sa cargaison • Perte probable des occupants (plus de trois)	3	5	I	• Vérification météorologique avant chaque voyage • Hélicoptère piloté par un équipage expérimenté (deux pilotes) • Exposé de sécurité avant chaque départ • Hélicoptères bimoteurs • Procédures, pratiques et limites d'exploitation sécuritaires	• Extincteurs à bord de l'hélicoptère pour étouffer les incendies qui pourraient s'y déclarer. • Dispositif de flottaison sur les pontons d'hélicoptère en cas d'amerrissage. • Hélicoptère équipé de deux radeaux de sauvetage, chacun pouvant transporter tous les occupants. • Port de gilets de sauvetage autogonflants. • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de soutien à proximité si un écrasement se produit près des installations offshore. • Plan d'intervention d'urgence.	1	5	S	R	D-05
H-08.04.01	Naufrages d'un bateau d'équipage rapide	• Impact avec le navire • Erreur du capitaine • Conditions météorologiques extrêmes • Faible visibilité • Panne de propulsion	• Blessure ou décès du personnel (plus de trois) • Dommages ou perte du navire avec équipage • Dommages à l'installation	2	5	I	• Équipage du bateau capable de prendre la mer • Aides à la navigation • Formation et compétence de l'équipage • Limitations météorologiques pour le déplacement	• Appareils de sauvetage à bord (communications, radeaux de sauvetage, gilets de sauvetage). • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de soutien à proximité des installations offshore. • Plan d'intervention d'urgence.	1	4	S	M	F-16 N-21

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-08.08.01	Chute d'une nacelle de transfert FROG	• Panne d'équipement • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès • Décès multiples (plus de trois)	3	5	I	• Formation, compétence et certification des opérateurs d'équipement de levage et des personnes participant aux opérations de levage • Inspections régulières et maintenance préventive de l'équipement de levage et de manutention manuelle • Utilisation d'équipement de levage et d'élingues certifiés pour le transport du personnel	• La flottabilité du FROG empêche le naufrage en cas de chute dans l'eau. • Le système d'amortissement à ressort et hydraulique et les sièges amortisseurs atténuent les impacts verticaux importants. • Le cadre et les panneaux de flottabilité offrent une protection contre les impacts latéraux. • Les harnais empêchent la chute et maintiennent le personnel dans son siège. • Un bateau d'équipage et un radeau de sauvetage rapide sont présents pour assurer une récupération dans l'eau.	1	4	S	R	F-16
H-08.04.02	Collision d'un navire de passage avec le FPSO	• Mauvaises conditions météorologiques • Panne de la propulsion du navire • Visibilité réduite • Erreur humaine • Proximité des voies de circulation	• Perte de stabilité potentiellement importante (selon l'ampleur de l'impact) pouvant entraîner le naufrage ou le chavirement du navire de forage • Perte du navire de forage • Décès multiples (plus de trois)	2	5	I	• Mise en œuvre des dispositions de la Convention sur le Règlement international de 1972 pour prévenir les abordages en mer • Périmètre de sûreté de 500 m autour du navire de forage et du FPSO pour prévenir les collisions (avec le détournement des navires non autorisés) • Les opérations et les installations seront annoncées en utilisant les canaux de communication appropriés (p. ex. : avis aux navigateurs) • Installations entièrement éclairées la nuit et visibles de loin • Navire de forage et FPSO équipés d'un radar comprenant un dispositif de traçage radar automatique	• Sélection et utilisation d'un nouveau navire de forage (2014) construit selon les normes les plus récentes et pouvant résister à certains impacts. • Portes et compartiments étanches et intégrité du navire de forage. • Systèmes de RT et d'évacuation sécuritaires (canots de sauvetage, radeaux de sauvetage, gilets de sauvetage et équipements de sauvetage). • Disponibilité d'un navire de recherche et de sauvetage et d'un hélicoptère. • Présence de navires de ravitaillement à proximité. • Plan d'intervention d'urgence.	1	5	S	M	D-06 F-18
H-08.04.03	Collision d'un navire de soutien avec un navire de forage, un FPSO ou des installations du terminal du hub près des côtes	• Erreur humaine • Mauvaises conditions météorologiques • Perte de positionnement dynamique du navire de soutien	• Dommages possibles à la coque du navire de forage, au FPSO, au FLNG, au quai mobile du hub ou à la plateforme LS	3	3	S	• Mise en œuvre des dispositions de la Convention sur le Règlement international de 1972 pour prévenir les abordages en mer • Approche des installations par des navires de soutien à très faible vitesse • Formation et compétence de l'équipe • Manœuvres d'approche effectuées conformément à des instructions de fonctionnement précises (y compris les limites de sûreté météorologiques) pour le pilotage des navires de soutien à l'intérieur des périmètres de sûreté • Navires de soutien et installations équipés de gardes anti-chocs qui réduisent l'impact des collisions	• Sélection et utilisation d'un nouveau navire de forage (2014) construit selon les normes les plus récentes et pouvant résister à certains impacts. • Portes et compartiments étanches et intégrité du FPSO et du FLNG. • Conception à double coque du FPSO et du FLNG capable de résister à un impact significatif.	2	2	A	M	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-08.04.05	Impact du FPSO par le navire-citerne de condensat pendant le déchargement	• Événement météorologique • Entrée à haute vitesse • Panne de propulsion • Erreur humaine • Erreur du remorqueur de retenue	• Dommages à la zone de déchargement de proue du FPSO ou du navire-citerne de condensats • Rejet en mer de condensat (rupture de tuyau ou impact) • Dommages potentiels aux réservoirs de stockage	2	5	I	• Remorqueur de retenue utilisé par le navire-citerne pendant le déchargement • Formation et compétence de l'équipage • Exigences de BP en matière de déchargement du navire-citerne • Délimitation des opérations de déchargement	• Arrêt des pompes de transfert à bord du FPSO. • Plan d'intervention d'urgence. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures (PUDH).	1	5	S	M	F-17
H-08.04.06	Collision du méthanier avec le brise-lames	• Conditions météorologiques extrêmes • Éloignement du méthanier • Erreur du capitaine • Perte de puissance du remorqueur ou erreur	• Dommages potentiels à la zone des quais d'amarrage pour GNL, aux bras de chargement ou au FLNG • Rejet potentiel de GNL pendant le transfert • Dommages au méthanier / mise à la terre	3	5	I	• Procédures d'entrée et de transfert du méthanier, y compris l'utilisation de remorqueurs pour contrôler l'accostage à basse vitesse • Formation et compétence de l'équipage • Exigences de BP relativement au méthanier • Aides à l'accostage	• Instrumentation et surveillance d'accostage. • Plan d'intervention d'urgence.	1	5	S	M	N-22
H-09.01.01	Survenue d'un événement météorologique extrême	• Environnement de localisation	• Mouvement de l'installation • Arrêt des opérations • Perte potentielle de confinement en raison de la fatigue • Impossibilité de décharger à partir du FPSO	2	3	S	• Limitation météorologique de l'opération • Prévisions météorologiques et surveillance		2	2	A	L	
H-07.01.02	Échec du système d'ancrage	• Activité sismique • Affouillement • Conditions météorologiques extrêmes • Collision par un navire	• Perte du maintien de la station du FPSO • Perte potentielle de confinement en raison de dommages causés aux tubes prolongateurs (gaz de production et/ou d'exportation) • Perte/endommagement du câble d'amarrage • Échouage du FPSO	2	5	I	• Redondances intégrées dans la conception du système d'amarrage du FPSO • Conception pour les charges environnementales anticipées • La conception incorpore le potentiel d'affouillement • Inspection avec ROV pour l'affouillement	• Système de surveillance de tension du câble d'amarrage. • Plans d'urgence en cas de déversement d'hydrocarbures.	1	5	S	M	F-01 F-02 F-14 F-15
		• Conditions météorologiques extrêmes • Déversement important de GNL à la jetée • Incendie impliquant un déversement important de GNL	• Dommages au système d'amarrage du FLNG • Effet domino aggravant de l'événement	2	5	I	• FLNG et méthanier protégés par des brise-lames contre les charges environnementales sévères • Conception pour les charges environnementales anticipées • Redondances intégrées dans la conception des systèmes d'amarrage des FLNG et des méthaniers • Inspections	• Protection des câbles d'amarrage contre le feu et les déversements de produit froid (à évaluer dans le cadre de la conception).	1	5	S	M	N-17
H-14.03.01	Liquides envoyés à la tour de torche	• Report • Panne du ballon séparateur • Ballon séparateur de taille incorrecte • Panne de l'instrumentation	• Lavage potentiel sur le pont • Dommages à la pointe de la torche • Blessures potentielles au personnel (trois ou moins)	2	4	S	• Système de ballon séparateur et de torche dimensionné en fonction des débits maximaux	• Alarmes de contrôle de débit et indications. • Torche éloignée des zones de processus et habitées.	1	3	A	R	

PRA No.	Événement d'accident	Raisons principales	Conséquences potentielles	CR initiale			Prévention	Contrôle et mitigation	CR finale			Cinétique	EAM No.
				P	S	CR			P	S	CR		
H-14.03.02	Foudre sur la torche	• Événement météorologique/bourrasque	• Dommages à la torche • Ignition secondaire	2	3	**S**		• Torche mise à la terre. • Système d'étouffement de la torche.	2	2	**A**	R	
H-14.03.03	Le pilote de la torche s'éteint	• Vent • Panne de gaz de combustion	• Nuage de vapeur libéré sur le pont	2	4	**S**	• Alarmes de débit pour gaz de combustion faible ou nul • Carburant au propane de secours	• Torche éloignée des zones de processus et habitées. • Surveillance de la température dans la torche pour déterminer la présence de la flamme pilote.	1	3	**A**	R	
H-08.03.02	La turbine d'échappement a un impact sur les activités des hélicoptères	• Vent • Variations de température	• Arrêt des activités des hélicoptères • Écrasement potentiel d'hélicoptère entraînant des blessures graves ou des décès multiples (plus de trois)	2	5	**I**	• Limites pour l'exploitation d'un hélicoptère • Exigences de la norme CAP 437 relatives à l'emplacement de la turbine d'échappement et à la dispersion thermique évalués lors de la conception.	• Équipage de débarquement de l'hélicoptère. • Équipement actif de lutte contre les incendies, y compris les canons à mousse. • Navires de soutien et embarcations rapides de sauvetage pour aider à la récupération du personnel en mer.	1	3	**A**	R	
H-27.01.01	Attaque par des terroristes ou des pirates	• Piraterie ou terrorisme	• Prise d'otages • Blessure grave ou décès (trois ou moins)	1	5	**S**	• Plans de sécurité conformes aux normes internationales reconnues comme le Code international pour la sûreté des navires et des installations portuaires (ISPS) de l'Organisation maritime internationale (OMI) • Zones d'embarquement (p. ex. : quais de bateau) sécurisées lorsqu'elles ne sont pas utilisées • Zone clôturée sécurisée pour la base de soutien • Emplacements en eau profonde (navire de forage et FPSO) loin des côtes		1	5	**S**	S. O.	G-01
H-28.00.01	Érosion/dégradation du brise-lames	• Vagues • Météo	• Dommages potentiels à la fondation de l'île artificielle • Mouvements de vague et de houle excessifs sur le FLNG – effets sur la production	3	3	**S**	• Études d'implantation et de faisabilité, y compris les conditions de la mer • Armure de béton accropode installée pour les zones exposées de l'île artificielle	• Inspections et enquêtes.	1	2	**A**	L	

ANNEXE O-3 : SCHÉMAS NOEUD PAPILLON (CLASSEMENT DE SÉVÉRITÉ 4)

Figure AO-3.1: Nœud papillon 08.02 – Fuite de GNL durant le chargement du méthanier (côté gauche)

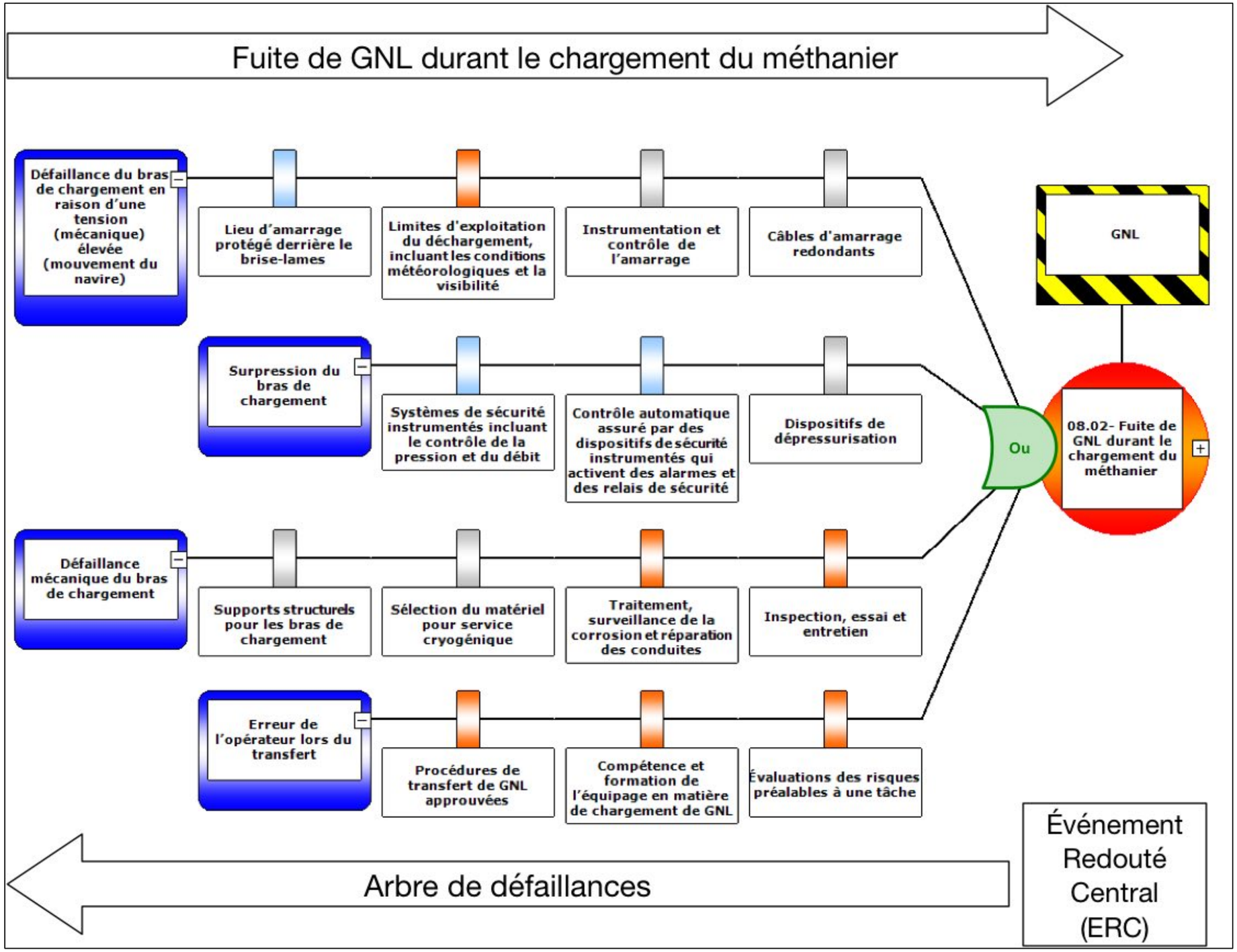


Figure AO-3.2: Nœud papillon 08.02 - Fuite de GNL durant le chargement du méthanier (côté droit)

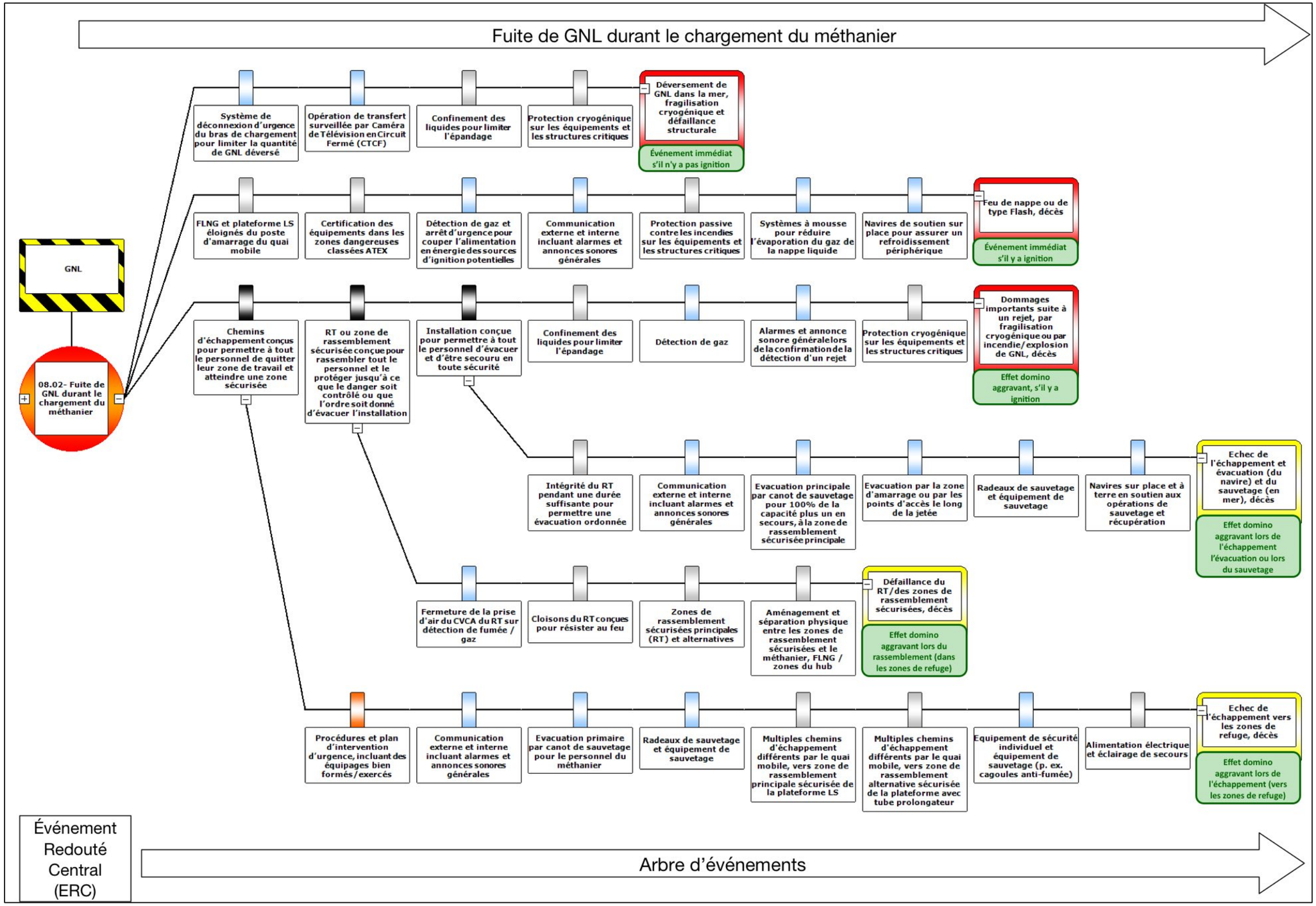


Figure AO-3.3: Nœud papillon 11 – Fuite d'hydrocarbures sur le navire de forage lors de l'essai ou le récurage de puits (côté gauche)

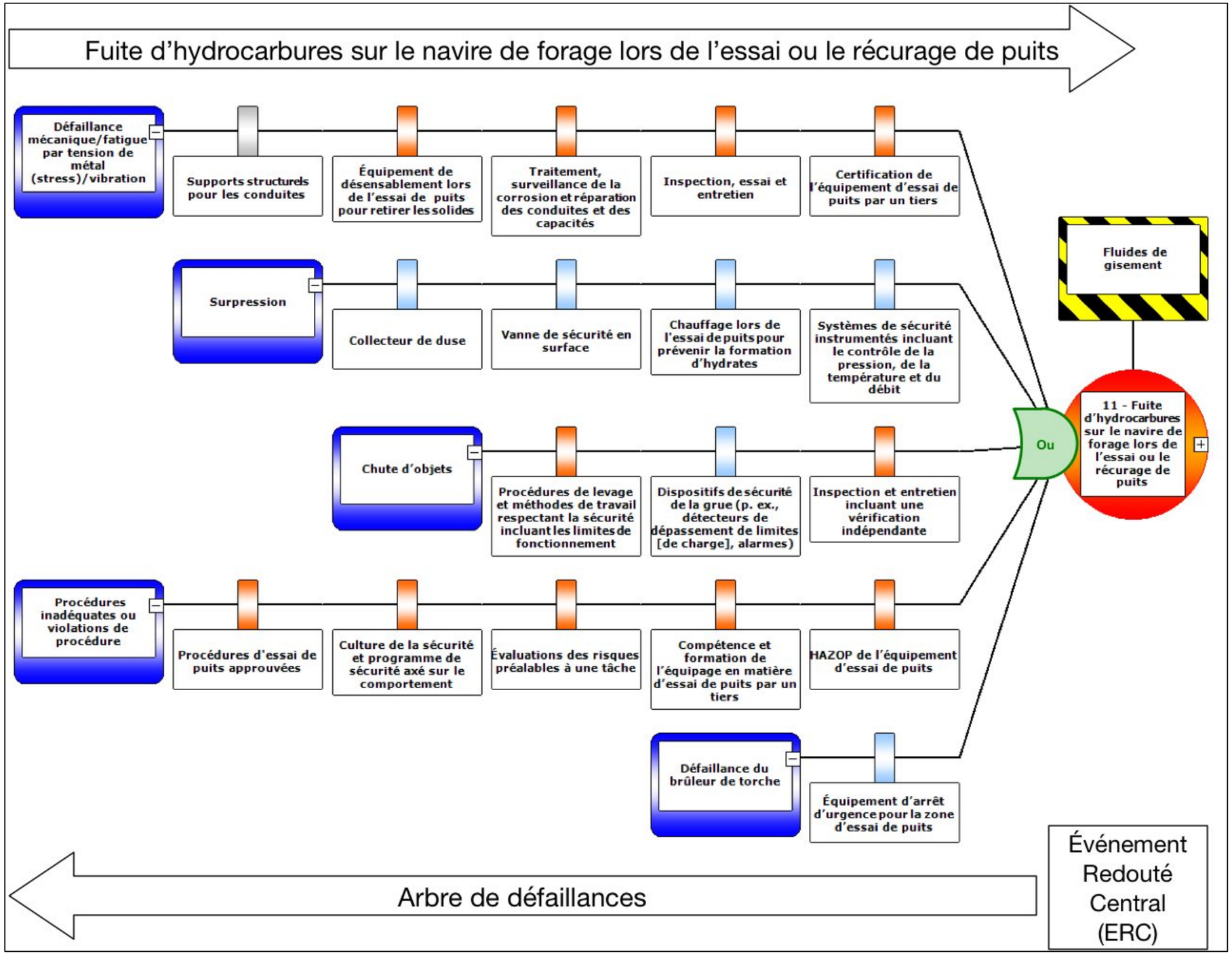


Figure AO-3.4: Nœud papillon 11 - Fuite d'hydrocarbures sur le navire de forage lors de l'essai ou le récurage de puits (côté droit)

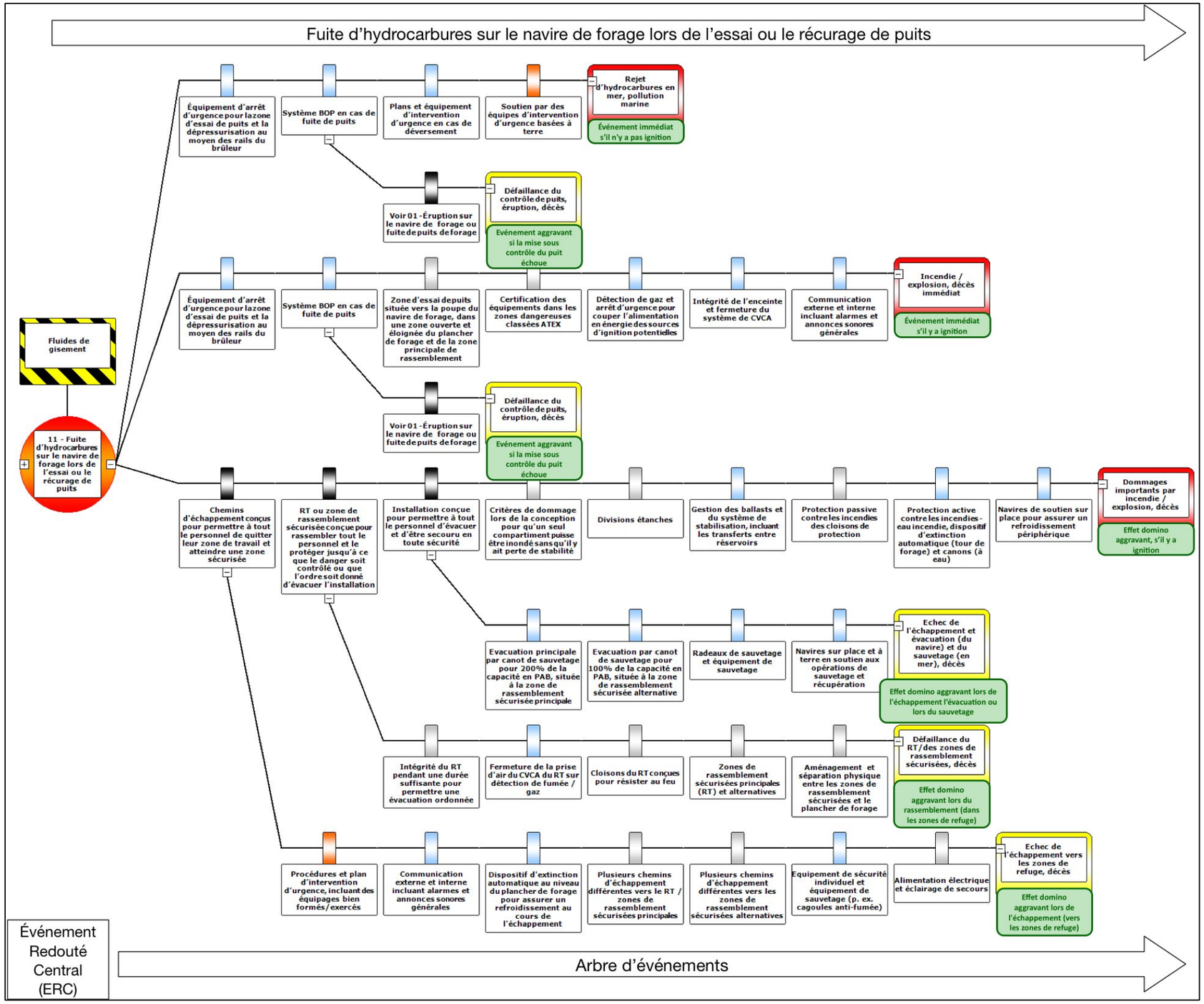


Figure AO-3.5: Nœud papillon 12.01 – Fuite lors du traitement d'hydrocarbures sur le FPSO (côté gauche)

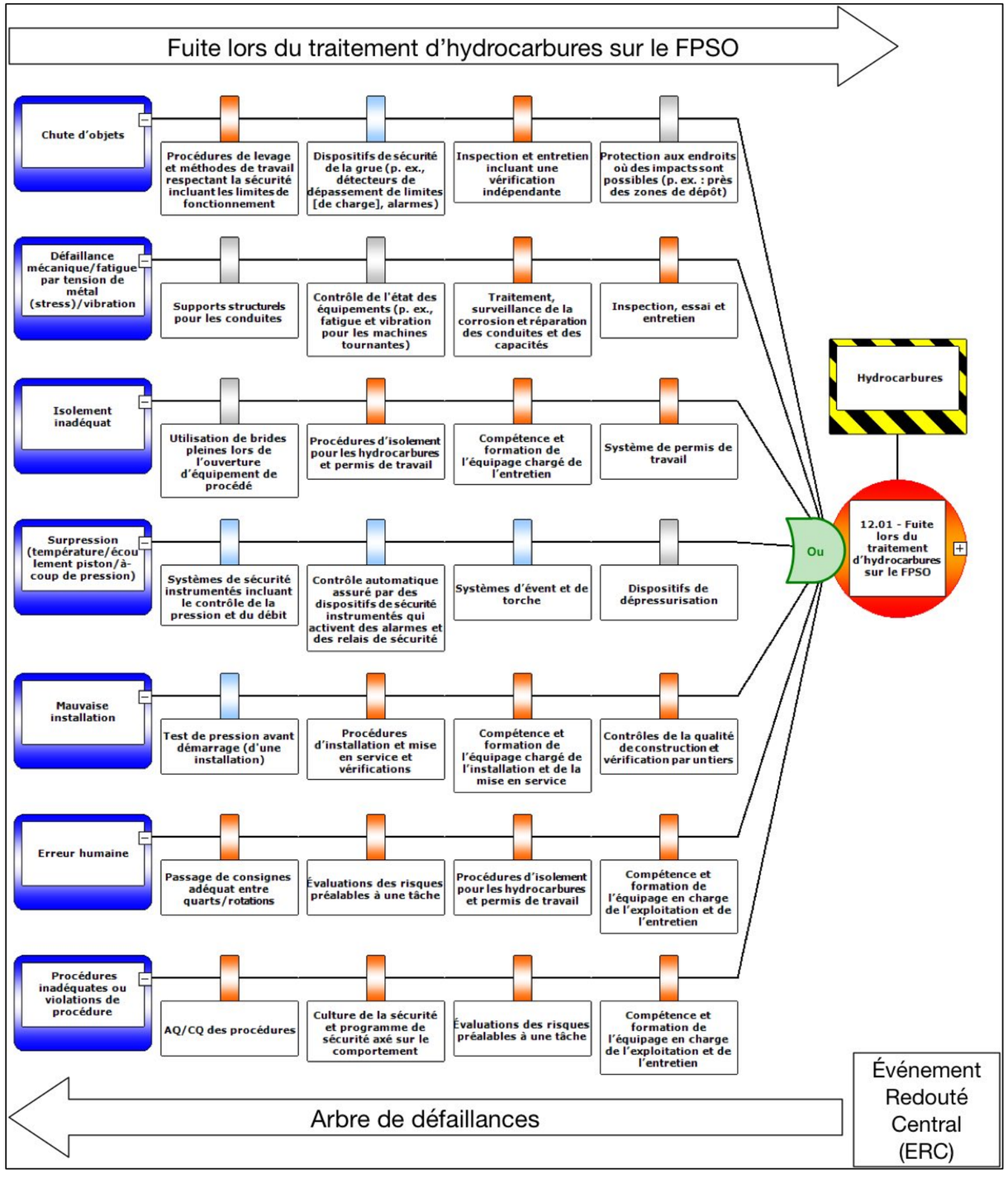


Figure AO-3.6: Nœud papillon 12.01 - Fuite lors du traitement d'hydrocarbures sur le FPSO (côté droit)

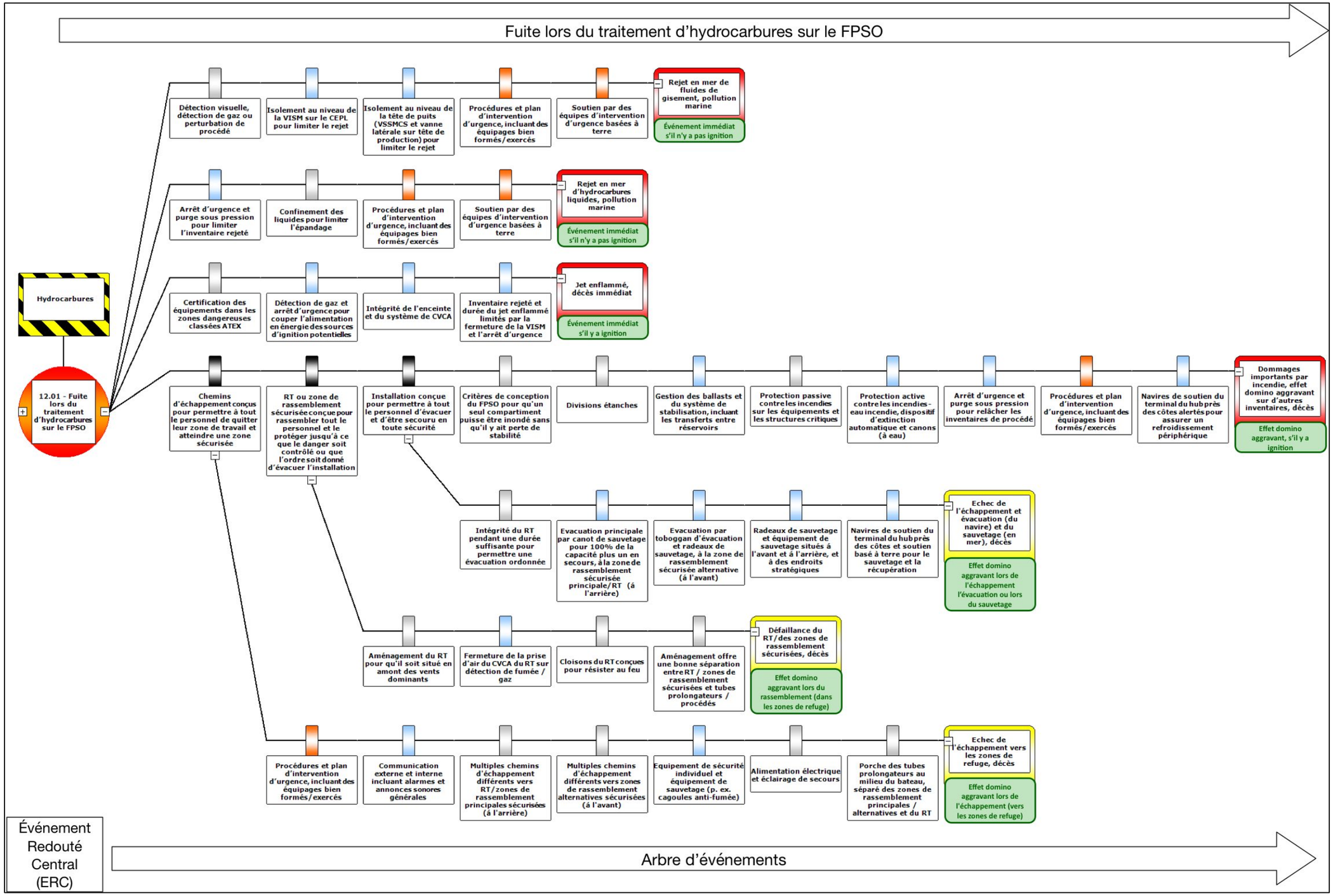


Figure AO-3.7: Nœud papillon 12.02 – Fuite lors du traitement d'hydrocarbures sur le FLNG (côté gauche)

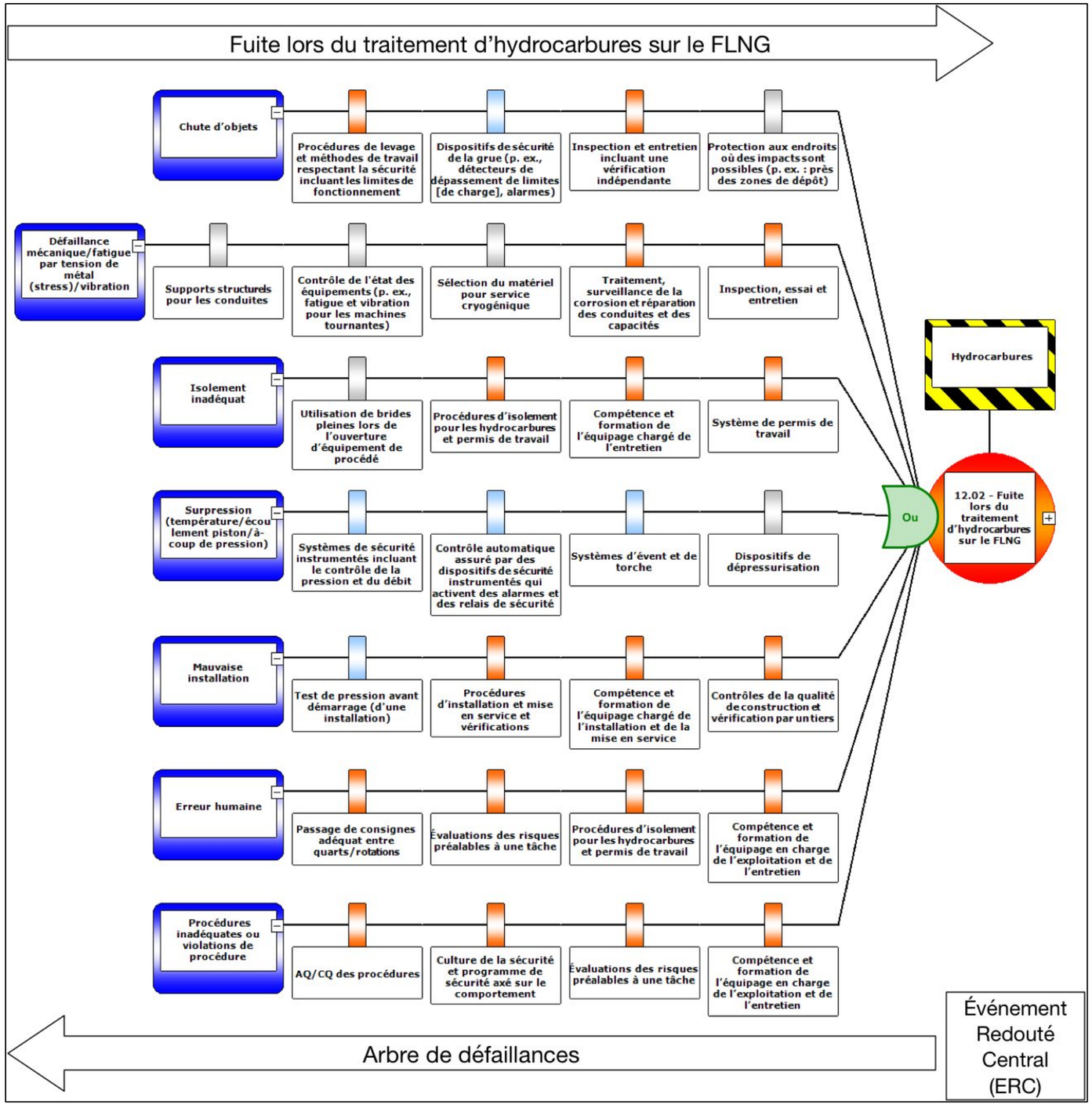


Figure AO-3.8: Nœud papillon 12.02 - Fuite lors du traitement d'hydrocarbures sur le FLNG (côté droit)

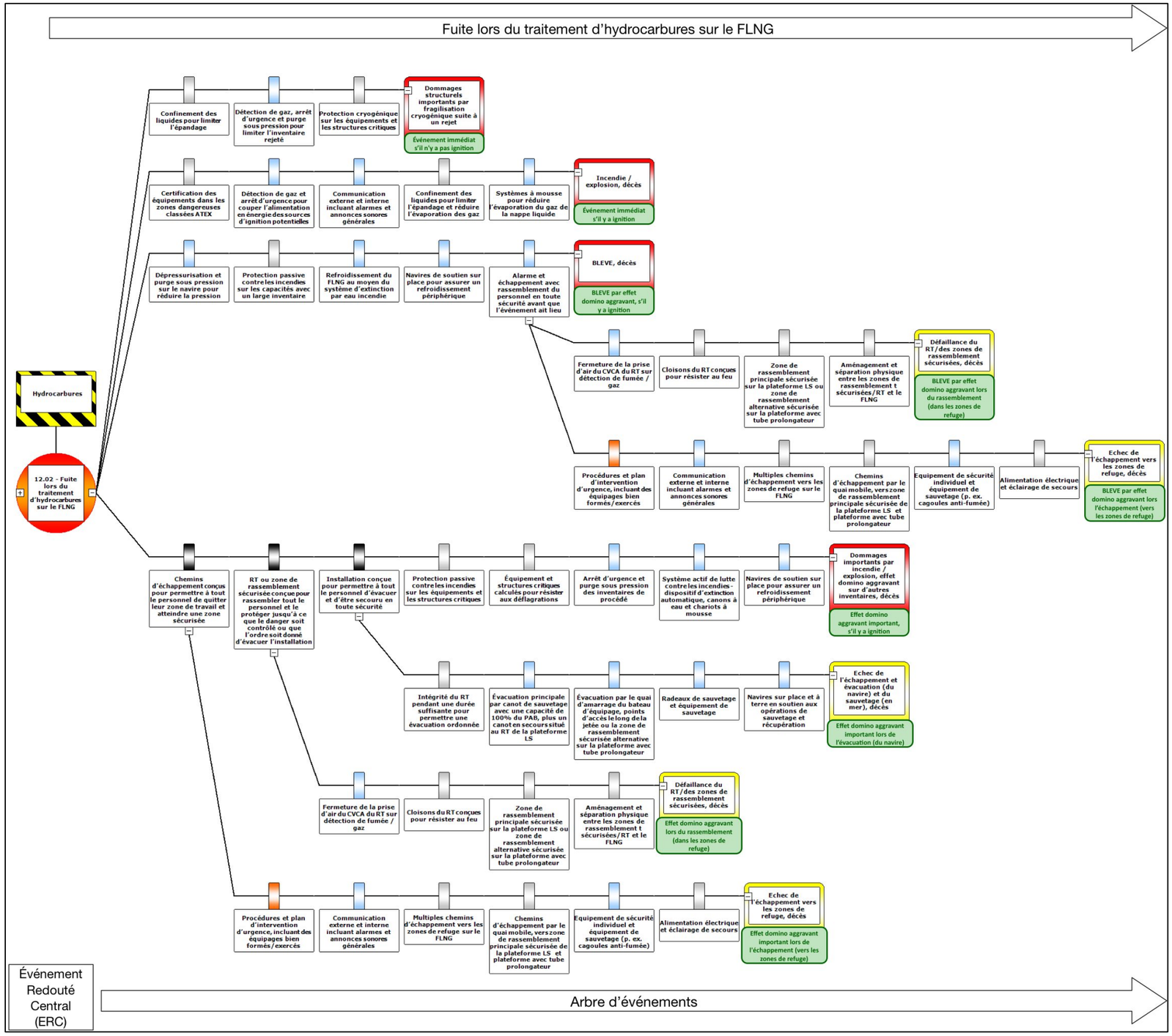


Figure AO-3.9: Nœud papillon 13 – Rejet lors de l'injection de produits chimiques sur le FPSO (côté gauche)

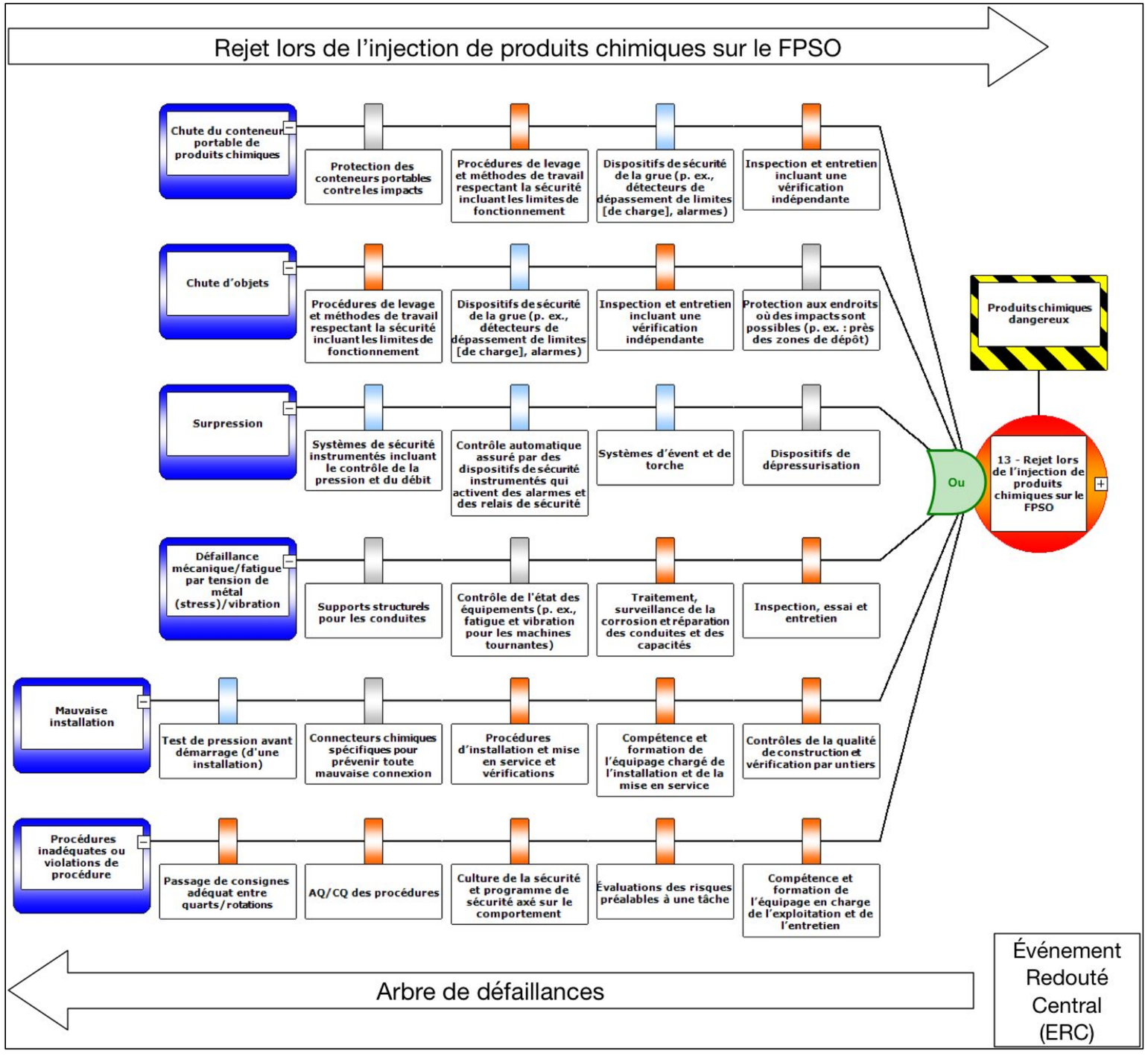


Figure AO-3.10: Nœud papillon 13 - Rejet lors de l'injection de produits chimiques sur le FPSO (côté droit)

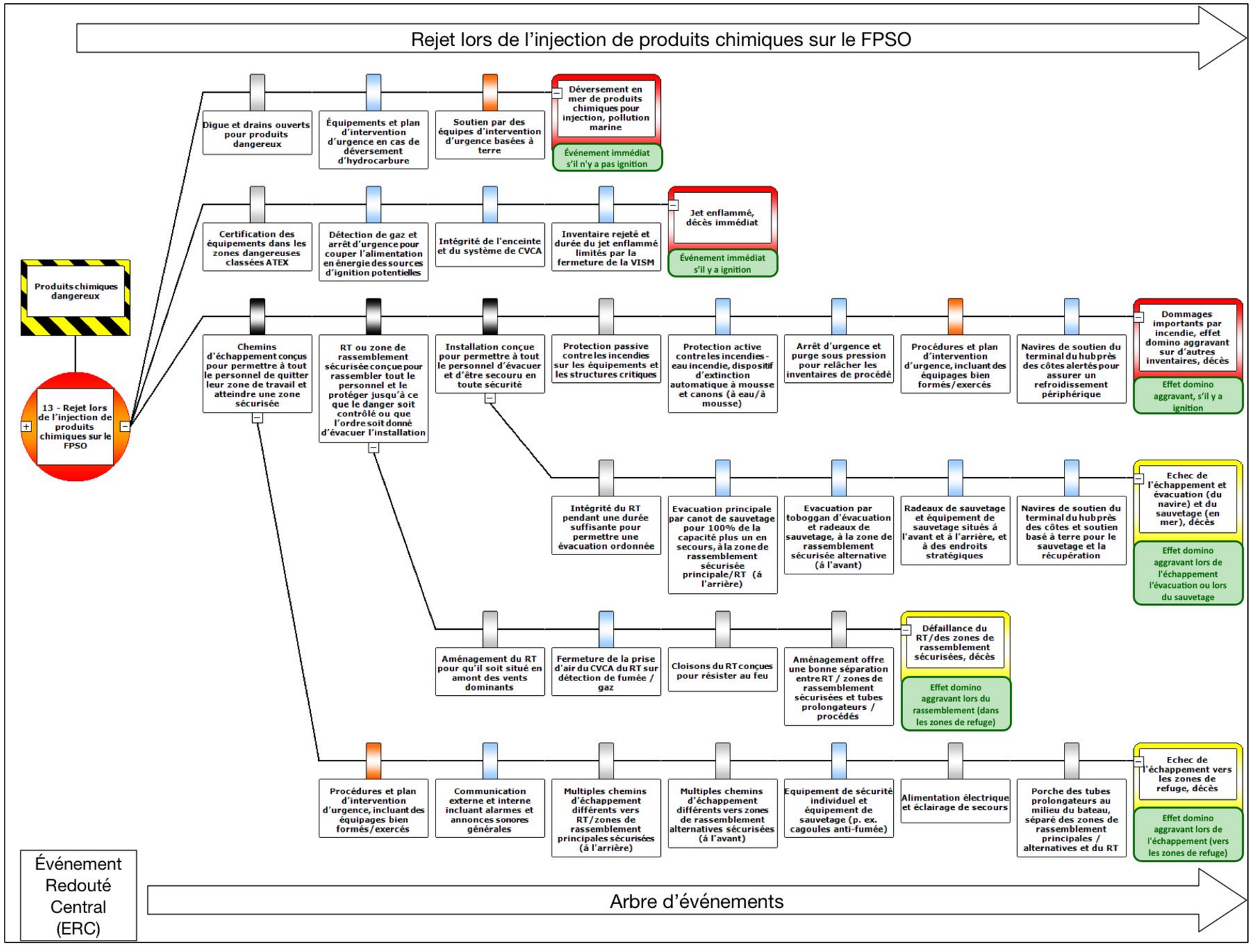


Figure AO-3.11: Nœud papillon 14.01 – Accident de transport (le bateau d'équipage sombre) lors du transfert vers/depuis le FPSO / le terminal du hub près des côtes (côté gauche)

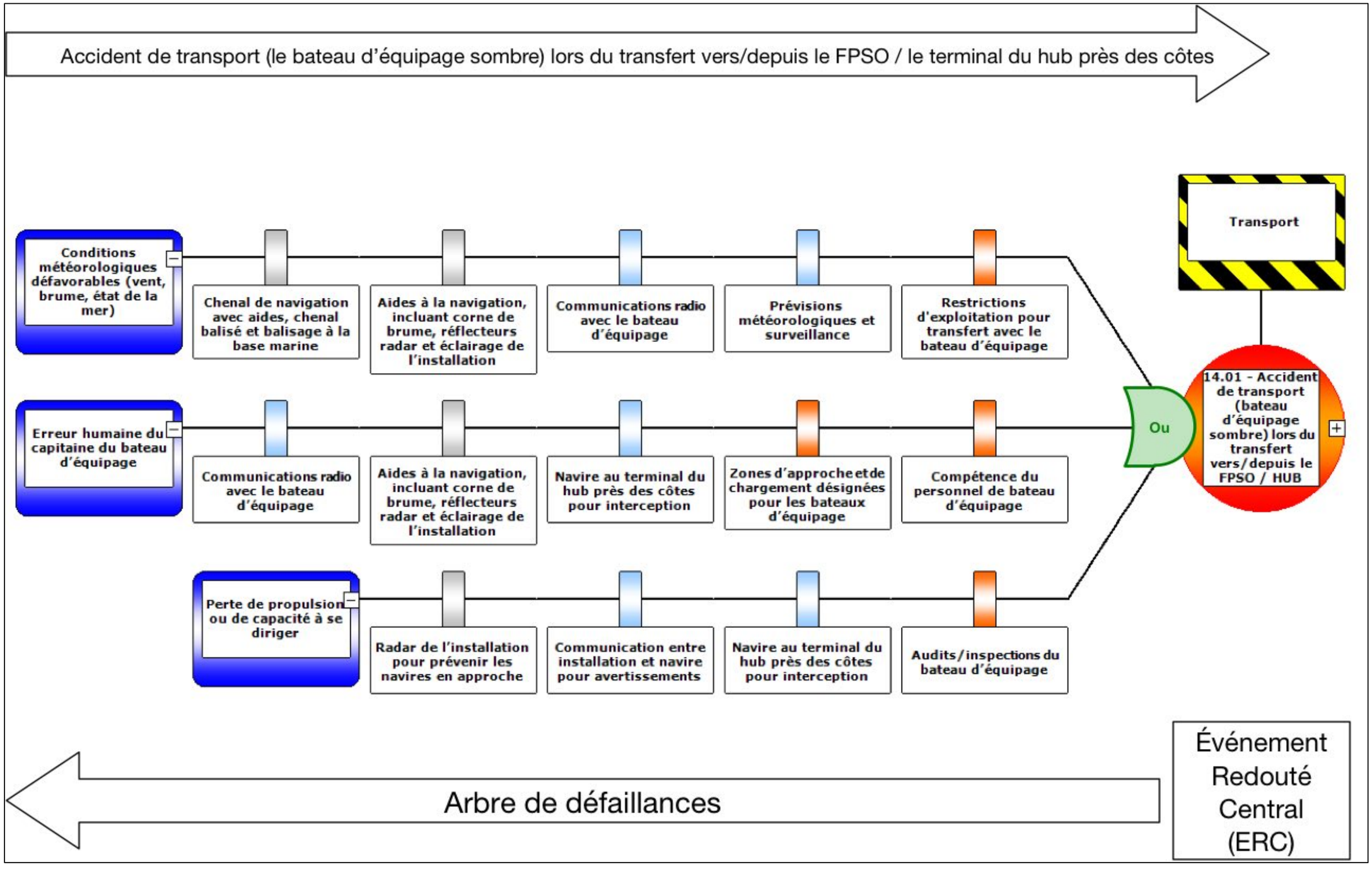


Figure AO-3.12: Nœud papillon 14.01 - Accident de transport (le bateau d'équipage sombre) lors du transfert vers/depuis le FPSO / le terminal du hub près des côtes (côté droit)

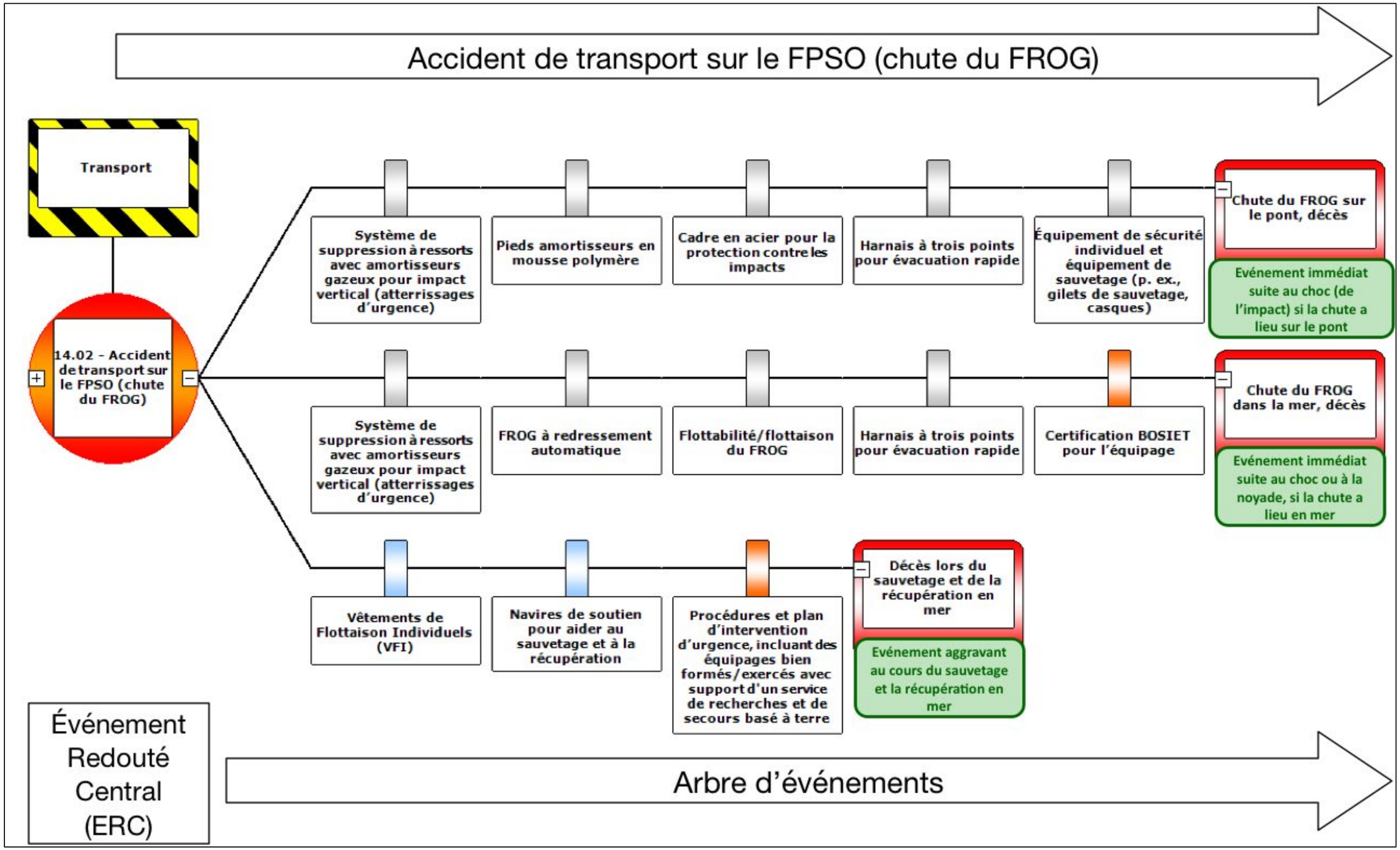


Figure AO-3.13: Nœud papillon 14.02 – Accident de transport sur le FPSO (chute du FROG) (côté gauche)

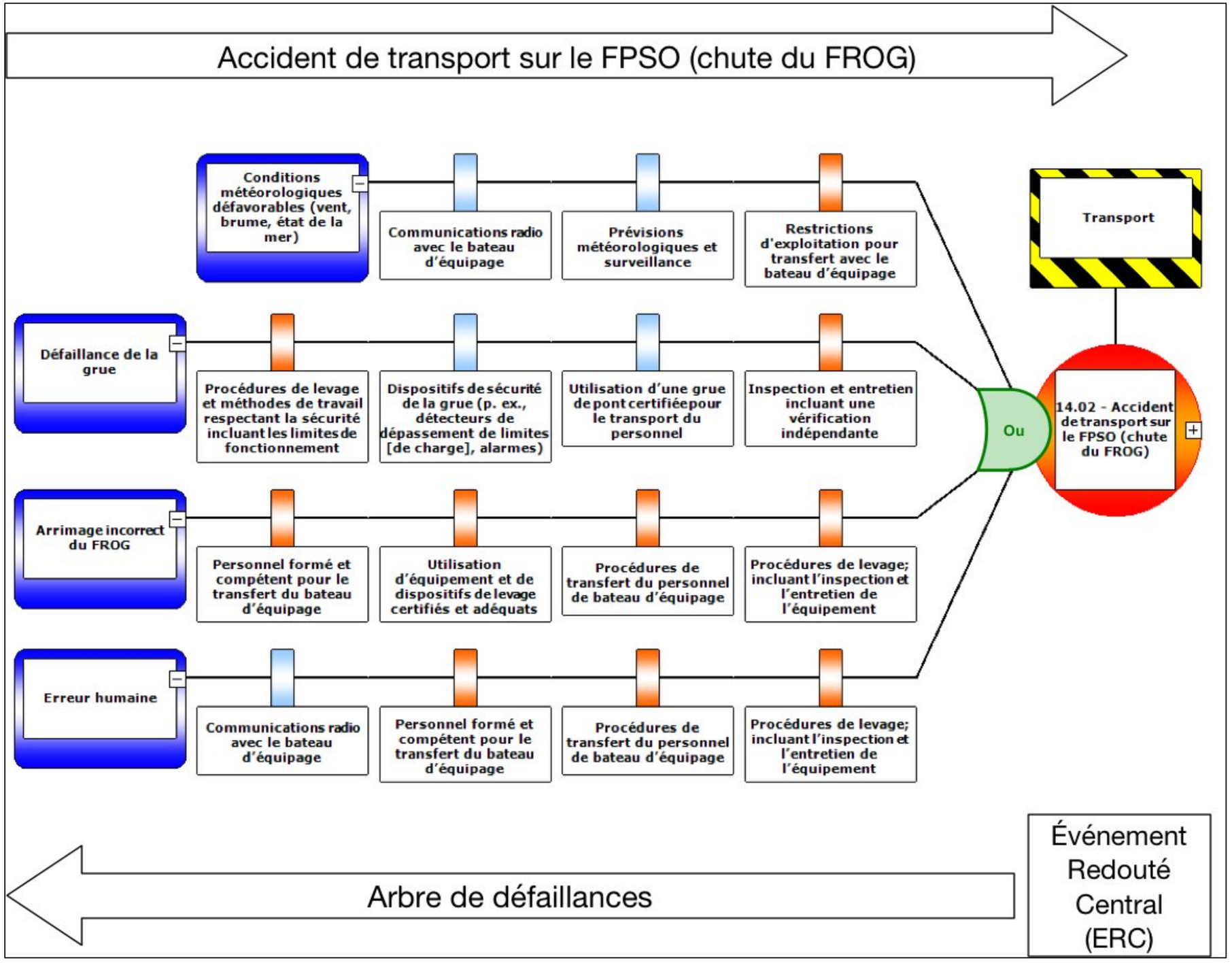


Figure AO-3.14: Nœud papillon 14.02 - Accident de transport sur le FPSO (chute du FROG) (côté droit)

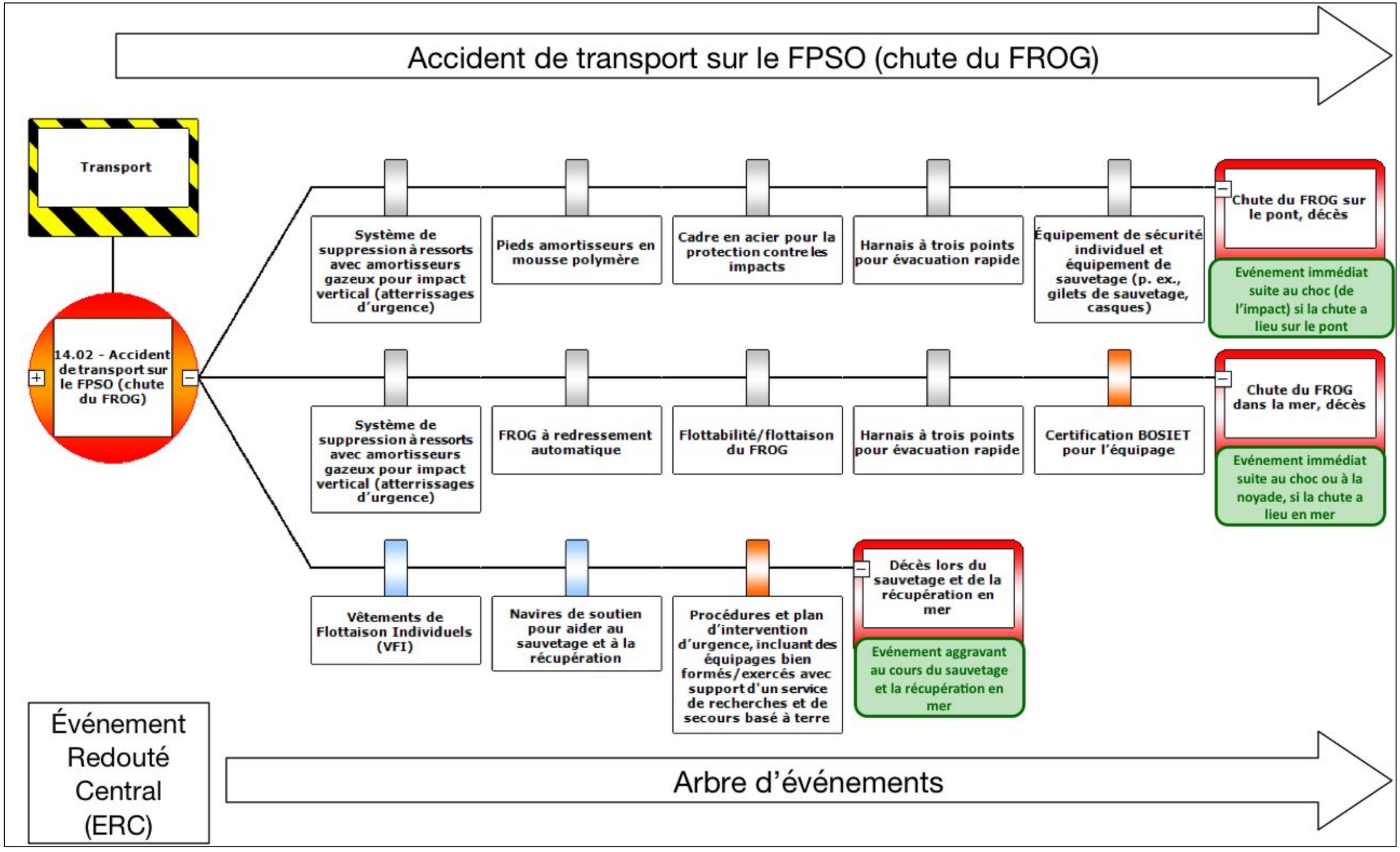


Figure AO-3.15: Nœud papillon 16 – Rejet de gaz de combustion sur la plateforme LS (côté gauche)

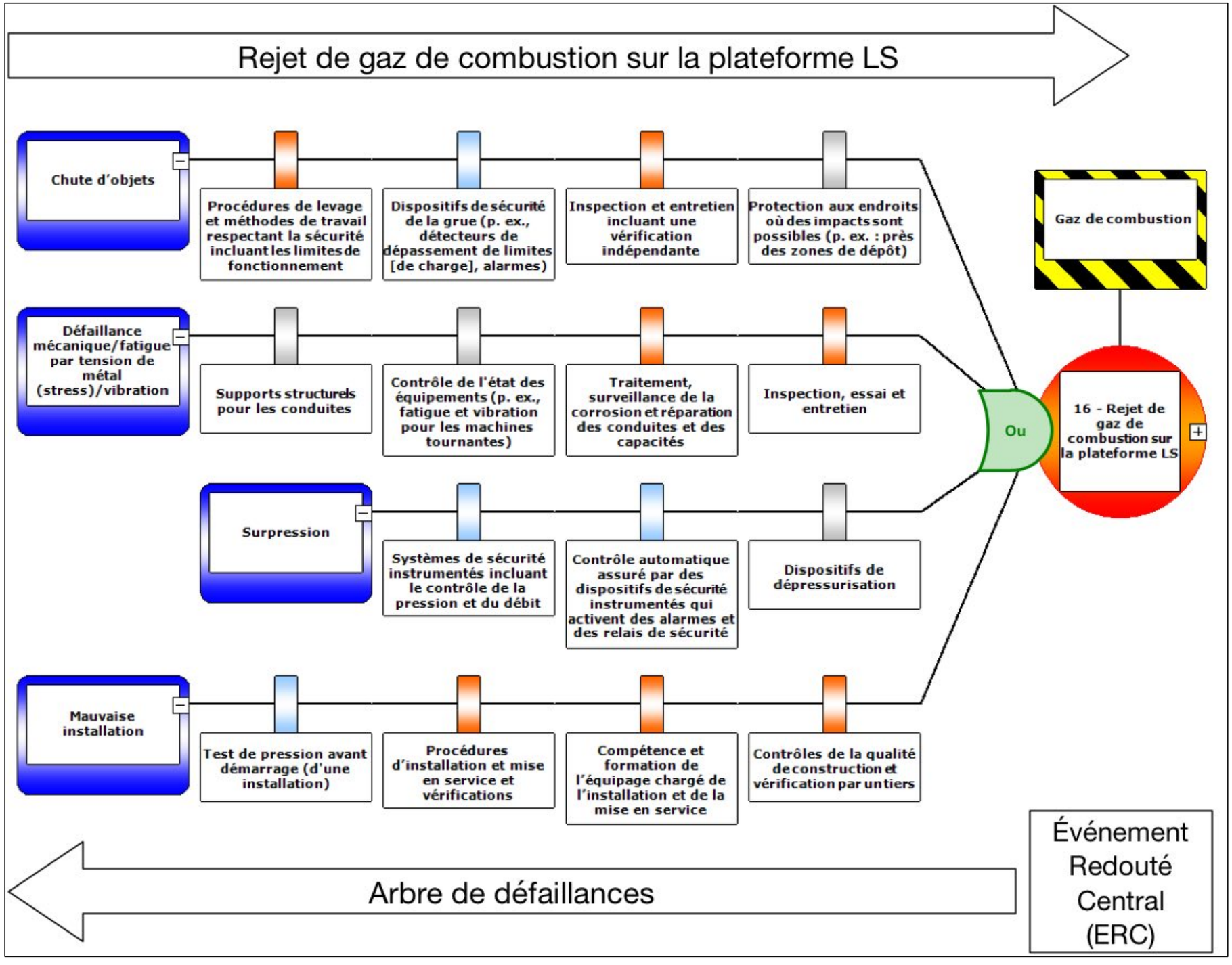
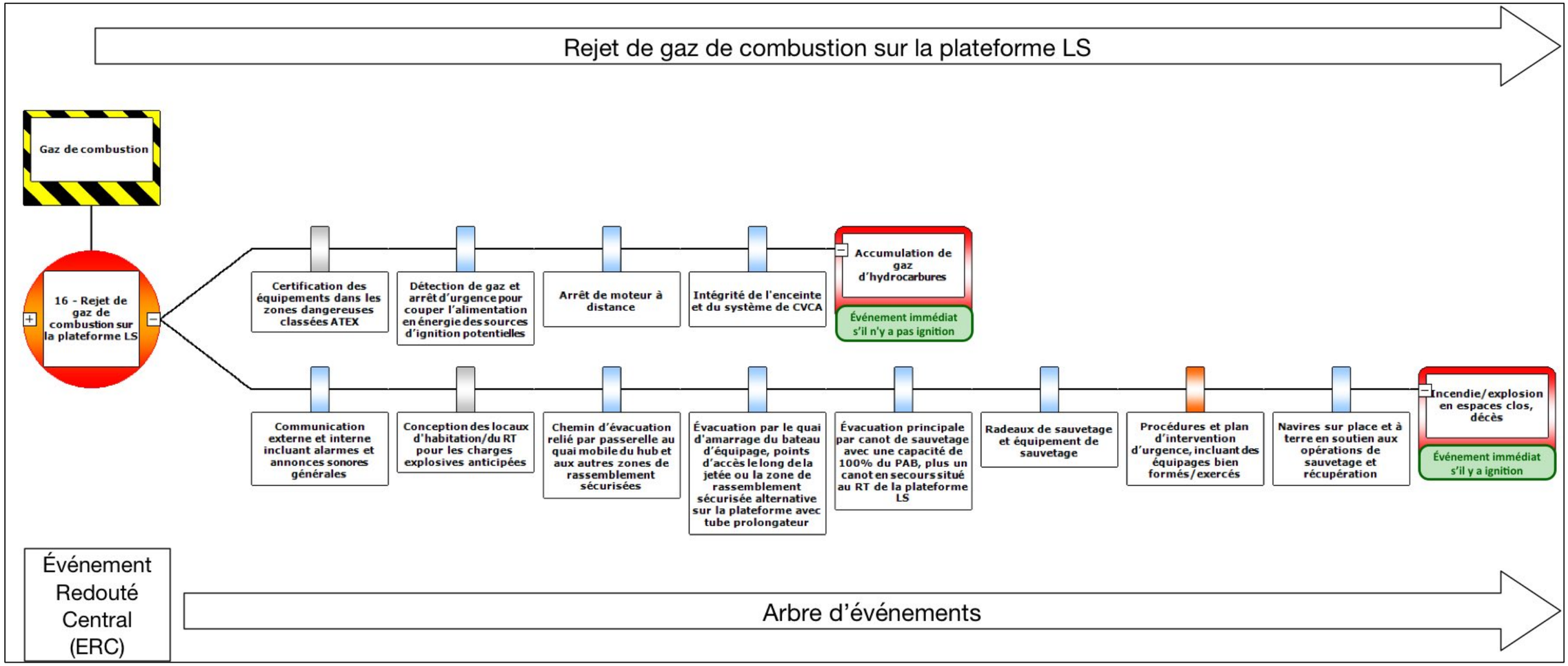


Figure AO-3.16: Nœud papillon 16 - Rejet de gaz de combustion sur la plateforme LS (côté droit)



ANNEXE O-4 : TABLEAUX RÉSUMANT L'ANALYSE DES RISQUES PROFESSIONNELS

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-03-01	Autres produits inflammables : Huiles de cuisson de cuisine	• Incendie dans la cuisine	• Surchauffe de l'huile • Déversement d'huile sur la cuisinière • Accumulation d'huile dans l'extracteur	• Risque de brûlure, d'inhalation de fumée, de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et compétence de l'équipage • Bonnes procédures d'entretien pour garder la cuisine propre • Stockage adéquat de l'huile de cuisson • Système d'extinction incendie pour hotte de cuisine • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	S
H-03-02	Autres produits inflammables : Matériaux divers dans les instalations d'hébergement, notamment papier, tissus et matières plastiques	• Incendie dans les quartiers de vie	• Fumer et jeter une cigarette allumée, allumette • Accumulation de charpie dans les sécheuses à linge • Panne électrique	• Risque de brûlure, d'inhalation de fumée, de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et vigilance de l'équipage • Bonnes procédures d'entretien pour garder les installations propres • Politique antitabac appliquée • Système d'extinction incendie • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	S
H-03-03	Autres produits inflammables : Peintures et autres produits inflammables utilisés et stockés en petites quantités	• Feu impliquant de la peinture et d'autres produits inflammables utilisés et stockés en petites quantités	• Stockage inadéquat de la peinture dans les casiers • Travail à chaud	• Risque de brûlure, d'inhalation de fumée, de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	2	3	S	• Formation et compétence de l'équipage • Stockage adéquat des produits de peinture • Permis de travail à chaud et restrictions à proximité de matériaux inflammables et pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes	1	3	A

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le travail à chaud • Armoires à peinture protégées par un système de détection et d'extinction incendie • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-05-01	Pression : Bouteilles de gaz comprimé sous pression (p. ex. : bouteilles pour soudage)	• Émission non contrôlée ou explosion des bouteilles de gaz comprimé	• Rupture de vanne sur la buse de la bouteille • Impact violent ou incendie • Produits enflammés près de la zone de stockage du gaz	• Rupture de la bouteille de gaz • Surpression et possibilité de projectiles • Risque de blessure très grave ou de décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Conformité aux pratiques exemplaires et conception et inspection prescrites par la loi pour les bouteilles de gaz sous pression • Bouteilles de gaz équipées d'un capuchon de protection pour la vanne • Stockage des bouteilles sur des supports spécialement conçus pour éviter tout risque de chute des bouteilles • Bouteilles de gaz comprimé adéquatement scellées et placées sur un chariot • Aucune manipulation de matériaux inflammables à proximité de bouteilles de gaz • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-05-02	Pression : Systèmes d'air instrument et réservoirs de compresseur d'air instrument (pour la régulation/contrôle d'instruments)	• Panne des systèmes d'air et des réservoirs de compresseur d'air instrument	• Impact violent ou incendie • Corrosion du réservoir • Surpression du réservoir • Produits enflammés près de la zone de stockage de l'air	• Rupture du réservoir • Surpression et possibilité de projectiles • Risque de blessure très grave ou de décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Conformité aux pratiques exemplaires et conception et inspection prescrites par la loi pour les réservoirs sous pression • Purge de l'eau condensée pour éviter la corrosion interne du réservoir • Aucune manipulation de matériaux inflammables à proximité de systèmes de compression d'air • Vanne de dépressurisation sur le système d'air • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**
H-05-03	Pression : Systèmes de purge et de test d'étanchéité à l'azote	• Défaillance du système pendant la purge ou le test d'étanchéité	• Erreur humaine : surpression du système pendant le test d'étanchéité • Défaillance du tuyau	• Rupture du système pendant le test de pression • Surpression et possibilité de projectiles • Asphyxie • Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Procédures strictes régissant toutes les opérations qui incluent la purge à l'azote et les tests d'étanchéité • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
				• Dommages possibles à d'autres équipements ou installations				• Système de dépressurisation sur le système purgé et testé pour en vérifier l'étanchéité • Installations médicales pour diagnostic/traitement • Inspection et test des tuyaux			
H-05-04	Pression : Tests de pression (pendant la mise en service ou l'entretien)	• Défaillance du système en test de pression	• Erreur humaine : surpression du système testé pour en vérifier la pression • Défaillance du tuyau	• Rupture du système pendant le test de pression • Surpression et possibilité de projectiles • Risque de blessure très grave ou de décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Examen spécifique et évaluation des risques avant de commencer les travaux de mise en service afin de s'assurer que les mesures de protection requises sont mises en œuvre • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail • Système de dépressurisation sur le système testé pour en vérifier la pression • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-05-05	Pression : Compresseurs d'air et réservoirs utilisés pendant les opérations de plongée avec bouteilles d'air	• Défaillance des compresseurs d'air ou des réservoirs utilisés lors des opérations de plongée avec bouteilles d'air	• Impact violent ou incendie • Corrosion du réservoir • Surpression du réservoir • Produits enflammés près de la zone de stockage de bouteilles d'air	• Rupture du réservoir • Surpression et possibilité de projectiles • Risque de blessure très grave ou de décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Conformité aux pratiques exemplaires et conception et inspection prescrites par la loi pour les réservoirs sous pression • Purge de l'eau condensée pour éviter la corrosion interne du réservoir • Aucune manipulation de matériaux inflammables à proximité de systèmes de compression d'air • Vanne de dépressurisation sur le système d'air • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**
H-05-06	Pression : Raclage du pipeline (pendant la mise en service ou l'entretien)	• Rejet ou défaillance accidentels lors d'opérations de raclage de pipeline	• Haute pression derrière le piston racleur alors que la trappe est ouverte • Non-respect des procédures de travail sécuritaires (système dépressurisé, verrouillage des commandes, etc.)	• Piston racleur de la trappe éjecté par la haute pression • Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Pratiques de raclage sécuritaires et procédures d'opération • Verrouillage mécanique empêchant la trappe de s'ouvrir si elle est sous pression • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-06-01	Différence de hauteur : Travail en hauteur (à partir de plateformes permanentes ou temporaires, y compris des échafaudages)	• Chute de hauteur sur le pont • Chute de hauteur pendant l'entrée des ballasts/citernes du navire • Chute d'une plateforme temporaire, y compris un échafaudage	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Panne d'équipement	• Chute d'une hauteur de plus de 2 mètres • Risque de blessure par impact très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures d'entrée de ballast/réservoir • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le travail en hauteur ou par-dessus bord • Vérification de la voie d'accès/des rampes ou des échafaudages avant l'utilisation • Équipement de protection individuelle (EPI) approprié, y compris les harnais de sûreté et les bottes antidérapantes • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-06-02	Différence de hauteur : Utilisation d'échelles (accès lors de l'installation)	• Chute à partir d'une échelle	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Panne d'équipement	• Chute d'une hauteur de plus de 2 mètres • Risque de blessure par impact très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le travail en hauteur	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Vérification des échelles avant utilisation • Équipement de protection individuelle (EPI) approprié, y compris les harnais de sûreté et les bottes antidérapantes • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-06-03	Différence de hauteur : Travail au-dessus de l'eau (pendant l'installation, l'inspection et la maintenance)	• Chute de hauteur dans l'eau	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Panne d'équipement	• Chute d'une hauteur de plus de 2 mètres • Risque de blessure par impact très grave ou de décès • Risque de noyade en cas de chute dans l'eau	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le travail au-dessus de l'eau • Équipement de protection individuelle (EPI) approprié, y compris les harnais de sûreté et les bottes antidérapantes • Installations médicales pour diagnostic/traitement • Embarcations de sauvetage rapides ou navires de service pour sauver la personne tombée à l'eau	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-06-04	Différence de hauteur : Surface glissante ou encombrée (p. ex. : passerelles)	• Glissement ou trébuchement accidentels	• Voies encombrées/bloquées • Surfaces glissantes	• Chute d'une hauteur de moins de 2 mètres • Risque de blessure mineure	3	1	**A**	• Formation et compétence de l'équipage • Voies et chemins d'accès gardés propres et dégagés • Port de bottes antidérapantes • Bon entretien assurant que les planchers sont nettoyés si un produit glissant est renversé • Revêtements antidérapants sur les voies d'accès et de sortie • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	**A**
H-06-05	Différence de hauteur : Plongée à l'air avec activités d'installation en cours au-dessus	• Chute d'un objet sur le plongeur depuis les opérations d'installation en cours au-dessus	• Défaillance mécanique • Erreur humaine	• Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès	2	4	**S**	• Restrictions d'opération de plongée à l'air • Revue des opérations simultanées • Installations médicales pour diagnostic/traitement • Embarcations de sauvetage rapides ou navires de service pour sauver la personne tombée à l'eau	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-07-01	Tension (mécanique) accumulée par : Entretien sur des appareils tels que des soupapes de sécurité et des actionneurs avec ressort de rappel, des dispositifs hydrauliques	• Défaillance d'un dispositif à ressort • Défaillance des dispositifs hydrauliques	• Défaillance mécanique • Erreur humaine	• Rejet d'un projectile pouvant percuter le personnel à grande vitesse • Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures de maintenance • Évaluation des risques de sécurité • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-07-02	Tension (mécanique) accumulée par : arrimages/amarrages d'un navire	• Rupture d'une amarre ou d'un câble d'arrimage	• Conditions météorologiques inattendues • Erreur/mauvais jugement du capitaine du navire • Défaillance mécanique	• Fouettement à grande vitesse de l'amarre ou du câble d'arrimage sur un membre du personnel • Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures sécurisées d'amarrage • Inspection et test des amarres • Câbles multiples utilisés pour attacher des bateaux d'équipage et des navires • Quais de bateau abrités • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-08-01	Situations dynamiques : Conduite/stationnement de véhicules aux bases d'approvisionnement	• Accident de véhicule avec un autre véhicule ou avec un piéton, sur une route ou dans un stationnement de la base d'approvisionnement	• Vitesse excessive • Erreur du conducteur • Visibilité réduite	• Risque de blessure très grave ou de décès en raison de la collision	3	4	**I**	• Formation et vigilance routière des travailleurs des installations • Limites de vitesse pour les routes des installations à terre ou les aires de stationnement et affichage clair de cette limite • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-08-02	Situations dynamiques : Opérations avec chariot élévateur	• Impact d'un chariot élévateur avec un membre du personnel	• Chariot élévateur renversé de façon inattendue • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque de blessure grave par impact/blessure par écrasement ou invalidité partielle permanente	2	3	**S**	• Formation, compétence et certification des opérateurs de chariots élévateurs • Accès restreint aux zones où des opérations avec chariots élévateurs sont en cours • Chariots élévateurs équipés d'un système d'avertissement sonore pour la marche arrière • Gilet de haute visibilité/combinaison dans la zone d'opération du chariot élévateur • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**
H-08-03	Situations dynamiques : Entretien incluant des équipements en mouvement ou en rotation	• Personnel écrasé ou pincé par une partie mobile ou rotative de l'équipement	• Erreur humaine • Défaillance mécanique	• Risque de blessure très grave ou de décès • Projectile possible	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Arrêt de la machinerie avant le travail de verrouillage ou d'étiquetage • Équipement de protection individuelle (EPI) • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-08-04	Situations dynamiques : Utilisation d'outils à main	• Contact dangereux entre un outil à main (meulage, sciage) et une partie du corps	• Glissement ou erreur • Visibilité réduite • Panne d'équipement	• Risque de blessure modérée	4	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Protège-mains sur l'outil • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié (protège-mains, gants, etc.) • Installations médicales pour diagnostic/traitement	3	2	**S**
H-08-05	Situations dynamiques : Utilisation de couteaux dans les cuisines	• Contact dangereux entre un couteau (ou une machette ou d'autres objets tranchants) et une partie du corps	• Glissement ou erreur • Visibilité réduite • Panne d'équipement	• Risque de blessure modérée	4	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Protège-mains sur l'outil • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié (protège-mains, gants, etc.) • Installations médicales pour diagnostic/traitement	3	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-08-06	Situations dynamiques : Levage de routine (p. ex. : grues principales, matériel / ravitaillement, conteneurs, etc.)	• Chute d'objet	• Panne d'équipement • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation, compétence et certification des opérateurs d'équipement de levage et des personnes participant aux opérations de levage • Inspections régulières et maintenance préventive de l'équipement de levage et de manutention manuelle • Utilisation d'équipement de levage et d'élingues certifiés • Accès restreint aux zones de levage et de hissage (zones de levage et de hissage sécurisées) • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-08-07	Situations dynamiques : Levage de routine ou ripage de l'équipement de forage (p. ex. : tours de forage, tiges de forage, blocs obturateurs de puits, tubes prolongateurs marins, etc.)	• Chute d'objet lourd	• Panne d'équipement • Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Collision d'équipement (hydraulique)	• Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation, compétence et certification des opérateurs d'équipement de levage et des personnes participant aux opérations de levage • Inspections régulières et maintenance préventive de l'équipement de levage et de manutention manuelle • Utilisation d'équipement de levage et d'élingues certifiés • Tour de forage équipée d'un système anticollision	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Systèmes de manutention de tiges de forage commandés à distance à partir d'un panneau de contrôle mobile • Accès restreint aux zones de levage et de hissage (zones de levage et de hissage sécurisées) • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-08-08	Situations dynamiques : Levage lourd durant la construction (pieux, platelage, équipement sous-marin, conduites)	• Défaillance structurale de la grue • Chute d'objet massif	• Grue érigée à proximité d'autres tâches de manutention présentant un potentiel d'impacts • Surcharge de la grue • Défaillance structurale (mauvaise conception, usure, corrosion)	• Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès • Dommages possibles à d'autres équipements ou installations	2	4	**S**	• Formation, compétence et certification des opérateurs d'équipement de levage et des personnes participant aux opérations de levage de construction lourde • Analyses de sécurité/évaluations des risques particuliers avant le levage d'une construction lourde • Levage sécuritaire et procédures de manutention manuelle/des matériaux • Utilisation de grues, d'appareils de levage et d'élingues conçus et certifiés de façon adéquate • Certifications de la grue et verrouillage de sûreté en cas de poids excessif	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Inspections régulières et maintenance préventive de l'équipement de levage et de manutention manuelle/des matériaux • Accès restreint aux zones où des travaux de levage et de hissage de construction lourde sont en cours • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-08-09	Situations dynamiques : Utilisation d'élévateurs/d'ascenseurs	• Défaillance des élévateurs/ascenseurs	• Défaillance mécanique (freinage, usure du câble, etc.) • Surcharge • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Chute de l'équipement avec des personnes à bord • Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès	2	4	**S**	• Formation, compétence et certification du personnel chargé de l'entretien des élévateurs et des ascenseurs • Élévateurs conçus et réalisés conformément aux règlements de l'ASME • Inspections régulières et entretien préventif des élévateurs et des ascenseurs • Système de verrouillage de sûreté qui immobilise l'élévateur en cas de dépassement du poids maximum autorisé • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-08-10	Situations dynamiques : Utilisation d'équipement de transport du personnel	• Défaillance de l'équipement de transport du personnel	• Défaillance mécanique (freinage, usure du câble, etc.) • Surcharge • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Chute de l'équipement avec des personnes à bord • Risque d'impact très grave/blessure par écrasement ou décès	2	4	**S**	• Formation, compétence et certification des opérateurs d'équipement de levage et des personnes participant aux opérations de levage • Équipement de transport du personnel conçu et réalisé conformément aux règles de l'ASME • Inspections régulières et maintenance préventive de l'équipement de levage et de manutention manuelle/des matériaux • Utilisation d'équipement de levage et d'élingues certifiés • Système de verrouillage de sûreté qui immobilise l'élévateur en cas de dépassement du poids maximum autorisé • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-08-11	Situations dynamiques : Transferts directs depuis les navires, y compris les bateaux d'équipage (nacelles exclues)	• Le personnel glisse ou tombe pendant le transfert du quai côtier au navire ou du navire au FPSO ou au quai de bateau du terminal côtier	• Changement soudain de l'état de la mer • Mouvement du bateau d'équipage	• Risque de blessure par impact très grave ou de décès si un membre du personnel est écrasé entre le quai et le bateau	3	4	**I**	• Formation, compétence et certification des équipages de bateaux • Procédures et pratiques d'opération sécuritaires pour les transferts de bateaux de travail, y compris les limites environnementales	2	3	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
			• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Défaillance mécanique de la rampe d'accès	• Risque de noyade après une chute dans l'eau				• Inspections régulières et entretien préventif des quais de bateau et des rampes de transfert • Quai de bateau du terminal côtier protégé par le brise-lames • Port obligatoire de gilets de sauvetage lors des transferts de bateau de l'équipage • Embarcations de sauvetage rapides ou navires de service pour sauver la personne tombée à l'eau • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-08-12	Situations dynamiques : Utilisation de nacelles pour les transferts de personnel	• Chute de la nacelle abritant le personnel	• Défaillance mécanique (freinage, usure du câble, etc.) • Surcharge • Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Mouvement soudain du navire/nacelle (erreur de l'opérateur de la grue, vent soudain)	• Chute de la nacelle sur le bateau ou dans la mer • Risque de blessure par impact très grave ou de décès • Risque de noyade après une chute dans l'eau	2	4	**S**	• Formation, compétence et certification des opérateurs d'équipement de levage et des personnes participant aux opérations de levage • Procédures et pratiques d'opération sécuritaires pour les transferts en nacelle, y compris les limites environnementales • Inspections régulières et maintenance préventive de l'équipement de levage et de manutention manuelle/des matériaux • Utilisation d'équipement de levage et d'élingues certifiés	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Port obligatoire de gilets de sauvetage avant l'utilisation des nacelles • Embarcations de sauvetage rapides ou navires de service pour sauver la personne tombée à l'eau • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-09-01	Environnement naturel : État de la mer/mal de mer	• Événements météorologiques extrêmes	• Environnement local, y compris les états de mer excessifs	• Blessures modérées causées par des glissements, des trébuchements, des chutes • Mal de mer	3	2	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Limitations météorologiques des opérations • Surveillance et prévisions météorologiques • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**
H-09-02	Environnement naturel : Températures/ chaleur excessives	• Coup de chaleur d'un membre du personnel	• Environnement local	• Blessure très grave ou décès d'un membre du personnel	2	4	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Surveillance et prévisions météorologiques • Limitations météorologiques des opérations • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-09-03	Environnement naturel : Vents	• Glissement/trébuchement ou chute de hauteur • Objets volants (détachés ou non arrimés)	• Environnement local	• Blessure très grave ou décès d'un membre du personnel	2	4	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Surveillance et prévisions météorologiques • Limitations météorologiques des opérations • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	**S**
H-09-04	Environnement naturel : Opérations avec une visibilité réduite ou de nuit	• Glissement/trébuchement, choc/impact ou chute de hauteur • Personnel pénétrant dans la zone dangereuse involontairement et de manière inaperçue	• Environnement local	• Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	2	3	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Éclairage d'installation • Surveillance et prévisions météorologiques • Limitations météorologiques des opérations • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**
H-09-05	Environnement naturel : Foudre	• Membre du personnel frappé par la foudre	• Environnement local	• Blessure très grave ou décès d'un membre du personnel	2	4	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Surveillance et prévisions météorologiques • Limitations météorologiques des opérations • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-10-01	Surfaces chaudes : Conduites et équipement de procédé à haute température	• Contact d'un membre du personnel avec des pièces d'équipement chaudes	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Revêtement/protection thermique absents ou endommagés	• Brûlures sur certaines parties du corps • Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et compétence du personnel d'entretien • Isolation/protection sur les conduites et l'équipement chauds • Inspections régulières et entretien préventif des revêtements ou de l'équipement offrant de la protection contre les surfaces chaudes • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	A
H-10-02	Surfaces chaudes : Échappements de combustion (p. ex. : moteurs et turbines)	• Contact d'un membre du personnel avec des pièces d'échappement chaudes ou des gaz d'échappement	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Revêtement/protection thermique absents ou endommagés	• Brûlures sur certaines parties du corps • Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et compétence du personnel d'entretien • Conception de l'échappement du moteur et de la turbine pour disperser les vapeurs chaudes dans un endroit sûr • Isolation/protection sur les conduites et l'équipement chauds • Inspections régulières et entretien préventif des revêtements ou de l'équipement offrant de la protection contre les surfaces chaudes • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	A

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-10-03	Surfaces chaudes : Conduites de vapeur, y compris sur les appareils de récupération de chaleur	• Contact d'un membre du personnel avec des surfaces de conduites à vapeur chaudes	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Revêtement/protection thermique absents ou endommagés	• Brûlures sur certaines parties du corps • Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et compétence du personnel d'entretien • Isolation/protection sur les conduites et l'équipement chauds • Inspections régulières et entretien préventif des revêtements ou de l'équipement offrant de la protection contre les surfaces chaudes • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	A
H-10-04	Surfaces chaudes : Équipement de cuisson dans les cuisines	• Contact d'un membre du personnel avec l'équipement de cuisson à haute température	• Non-respect des procédures de cuisson sécuritaires • Équipement de cuisson laissé en marche	• Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures de cuisson sécuritaires dans la cuisine • Équipement de cuisson à haute température et protections • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	S

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-11-01	Fluides chauds : Glycol chaud (régénération)	• Rejet du fluide de régénération du glycol (températures supérieures à 150 °C)	• Corrosion • Défauts de matériels • Fatigue • Fuites de la bride • Défaut de soudage • Chute d'objet	• Risque de brûlures et de blessure très grave ou de décès	2	4	S	• Formation et compétence de l'équipage • Inspections régulières et entretien préventif de l'équipement technique et de traitement • Conception appropriée, y compris la vérification des équipements sous pression, de l'équipement et des soudures • Arrêts d'urgence de procédé • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	S
H-11-02	Fluides chauds : Huiles de cuisson de cuisine	• Déversement d'huile de cuisson chaude • Jet de vapeur chaude	• Défauts de matériels • Fatigue • Fuites de la bride • Erreur humaine	• Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente	3	3	I	• Formation et compétence de l'équipage • Procédure de cuisson sécuritaire dans la cuisine • Inspections régulières et entretien préventif de l'équipement technique et de traitement • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	S

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-12-01	Surfaces froides : Conduites et équipements cryogéniques	• Contact d'un membre du personnel avec des conduites ou des équipements cryogéniques (température inférieure à -80 °C)	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Revêtement/protection thermique absents ou endommagés	• Brûlures cryogéniques • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	3	3	**I**	• Formation et compétence de l'équipage • Protection isolante sur les conduites et l'équipement froids • Inspections régulières et entretien préventif des revêtements ou de l'équipement offrant de la protection contre les surfaces froides • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**
H-12-02	Surfaces froides : Équipement associé au traitement du gaz à basse température	• Contact d'un membre du personnel avec de l'équipement de traitement du gaz à basse température (température inférieure à -10 °C)	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Revêtement/protection thermique absents ou endommagés	• Brûlures à froid • Blessure modérée à un membre du personnel	3	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Protection isolante sur les conduites et l'équipement froids • Inspections régulières et entretien préventif des revêtements ou de l'équipement offrant de la protection contre les surfaces froides • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-13-01	Fluides froids : Liquides cryogéniques (réfrigérant GNL) dans les installations de liquéfaction et de stockage	• Rejet cryogénique du réfrigérant du procédé de production de GNL	• Corrosion • Défauts de matériels • Fatigue • Fuites de la bride • Défaut de soudage • Chute d'objet	• Gelure • Brûlures cryogéniques • Blessure très grave ou décès d'un membre du personnel	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Conception appropriée, y compris la vérification des équipements sous pression, de l'équipement et des soudures • Inspections régulières et entretien préventif de l'équipement technique et de traitement • Arrêts d'urgence de procédé • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-13-02	Fluides froids : Gaz froids (méthane) dans les installations de fractionnement	• Rejet de méthane froid en phase vapeur	• Corrosion • Défauts de matériels • Fatigue • Fuites de la bride • Défaut de soudage • Chute d'objet	• Brûlures à froid • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	2	3	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Conception appropriée, y compris la vérification des équipements sous pression, de l'équipement et des soudures • Inspections régulières et entretien préventif de l'équipement technique et de traitement • Arrêts d'urgence de procédé • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-14-01	Flamme nue : Travail à chaud, découpage et soudage	• Contact d'un membre du personnel avec des flammes ou des étincelles	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Blessure modérée à un membre du personnel	3	2	**S**	• Formation et compétence du personnel d'entretien • Permis de travail à chaud requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le à chaud (découpage/soudage) • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	**A**
H-15-01	Électricité : Mise en service et entretien d'équipements électriques (équipement haute et basse tension, distribution électrique et appareillage de commutation)	• Décharge électrique provenant de câbles/équipements électriques non isolés	• Câblage défectueux • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes, y compris l'isolation électrique • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le travail sur de l'équipement électrique • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-16-01	Rayonnement électromagnétique : Rayonnement thermique de la torche	• Températures nocives pendant le brûlage à la torche	• La torche dépasse la certification maximale • La hauteur de la torche est trop courte • Sélection incorrecte de l'angle de la torche • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente • Incapacité d'évacuation en raison de la chaleur	2	3	**S**	• Respect des exigences de dimension des torches de la part du fournisseur de torches • Calculs de rayonnement thermique dans la conception pour assurer des niveaux de rayonnement acceptables • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	2	**A**
H-16-02	Rayonnement électromagnétique : Rayonnement thermique des brûleurs d'essai de puits	• Température dangereuse venant des brûleurs d'essai de puits	• Défaillance mécanique • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque de blessure grave ou d'invalidité partielle permanente • Incapacité d'évacuation en raison de la chaleur	2	3	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Rideau d'eau pour limiter le rayonnement thermique sur le navire de forage • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**
H-16-03	Rayonnement électromagnétique : Soudage (chaleur et lumière)	• Exposition du personnel à des radiations de soudage	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Dommages aux yeux et à la peau (blessure grave ou invalidité partielle permanente)	2	3	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes	1	2	**A**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-17-01	Source non scellée de rayonnement ionisant : Inspection et entretien des capacité de procédé avec accumulation de matières radioactives naturelles (MRN)	• Exposition directe ou contact du personnel avec des matières radioactives naturelles (MRN)	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Non-respect des procédures de manutention sécuritaires	• Risque de contamination ou d'irradiation • Blessure modérée à un membre du personnel	2	2	**S**	• MRN imprévues • Formation et compétence de l'équipage • Procédures et exigences de sécurité rigoureuses pour le transport, la manutention et le stockage des matières radioactives • Contrôles de santé au travail	1	2	**A**
H-18-01	Source scellée de rayonnement ionisant : Utilisation de sources radioactives pendant la diagraphie des puits	• Exposition excessive du personnel aux rayonnements	• Non-respect des procédures de travail sécuritaires • Non-respect des procédures de manutention sécuritaires	• Exposition à long terme du personnel menant à un cancer potentiel (blessure très grave ou décès)	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Sources de radioactivité transportées et stockées dans des conteneurs fabriqués sur mesure • Sources de radioactivité gérées par un fournisseur de services tiers qualifié et compétent (p. ex. : Schlumberger ou un autre fournisseur de services suivant des normes SSE similaires)	1	3	**A**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Procédures et exigences de sécurité rigoureuses pour le transport, la manutention et le stockage des matières radioactives • Limitations de l'exposition du personnel aux rayonnements • Contrôles de santé au travail			
H-19-01	Asphyxie : Entrée dans des espaces confinés tels que des réservoirs et des capacités	• Asphyxie lors de l'entrée dans un espace confiné	• Manque d'oxygène • Atmosphère contaminée • Non-respect des procédures de travail sécuritaires	• Risque de blessure très grave ou de décès, y compris pour les services de secours d'urgence	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant l'entrée dans un espace confiné • Analyse de l'atmosphère avant l'entrée • Autorisation officielle avant l'accès à des espaces confinés • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Surveillance continue par une autre personne postée à l'extérieur de l'espace clos	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Équipement d'intervention d'urgence et procédures de sauvetage/récupération des personnes dans les espaces confinés, y compris les appareils respiratoires • Installations médicales pour diagnostic/traitement			
H-19-02	Asphyxie : Zones protégées par un système gazeux d'extinction incendie (p. ex. : CO_2), notamment dans les salles d'appareillage de commutation, les salles des moteurs, les zones des machines	• Rejet accidentel de gaz suppresseur d'oxygène (comme le CO_2) depuis les systèmes gazeux d'extinction incendie	• Incapacité d'isoler les systèmes de suppression d'oxygène pendant l'entretien • Manipulation incorrecte des bouteilles de gaz	• Brûlures à froid • Risque d'asphyxie (blessure très grave ou décès)	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les méthodes de travail et les procédures d'entretien respectant la sécurité et les dispositions de verrouillage connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-19-03	Asphyxie : Systèmes utilisant de l'azote	• Rejet accidentel d'azote	• Incapacité d'isoler les systèmes N_2 pendant l'entretien • Incapacité de purger les systèmes contenant du N_2 avant de commencer l'entretien • Manipulation inadéquate des bouteilles de gaz d'azote	• Risque d'asphyxie (blessure très grave ou décès)	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures de purge du système • Permis de travail requis avec les méthodes de travail et les procédures d'entretien respectant la sécurité et les dispositions de verrouillage connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-19-04	Asphyxie : Manque d'oxygène pendant les opérations de plongée avec bouteilles d'air	• Manque d'oxygène pendant les opérations de plongée	• Défaillance mécanique du compresseur ou du tuyau • Erreur humaine	• Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence du personnel effectuant les plongées • Inspections régulières et entretien préventif de l'équipement de plongée • Réservoirs d'oxygène de secours • Systèmes de communication avec les installations de surface • Plongeur ou navires de soutien pour secourir la personne se trouvant dans l'eau • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-19-05	Asphyxie : Gaz généré par des déversements de liquides cryogéniques (GNL et son réfrigérant)	• Rejet accidentel de fluide liquide cryogénique à forte vaporisation	• Incapacité de purger les systèmes contenant du liquide cryogénique avant le début de l'entretien	• Brûlures cryogéniques • Risque d'asphyxie (blessure très grave ou décès)	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les méthodes de travail et les procédures d'entretien respectant la sécurité et les dispositions de verrouillage connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	4	**S**
H-20-01	Gaz toxique : Soudage (fumée dégagée lors du soudage)	• Intoxication d'un membre du personnel pendant le soudage	• Accumulation des fumées dégagés dans les espaces clos	• Irritation des yeux, du nez et de la gorge • Maux de tête, vertiges et fatigue • Asthme professionnel • Maladie pulmonaire causée par une exposition à long terme • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	3	3	**I**	• Formation et compétence de l'équipage • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la tâche nécessitant un permis de travail • Systèmes de ventilation dans les espaces clos et lors du soudage • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié si les fumées de soudure sont toxiques • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-20-02	Gaz toxique : Turbines, moteurs, pompes entraînées par moteur diesel, génératrices (gaz d'échappement de combustion)	• Intoxication du personnel travaillant à proximité des turbines, des moteurs, des pompes à moteur diesel, des génératrices	• Dysfonctionnement de la combustion dans les turbines, les moteurs, les pompes et les génératrices • Accumulation des gaz d'échappement dans les espaces clos	• Irritation des yeux, du nez et de la gorge • Maux de tête, vertiges et fatigue • Asthme professionnel • Maladie pulmonaire causée par une exposition à long terme • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	3	3	**I**	• Formation et compétence de l'équipage • Gaz d'échappement évacué vers une zone de sûreté pour minimiser les impacts sur le personnel • Inspections régulières et entretien préventif de l'équipement muni d'un moteur à combustion • Systèmes de ventilation dans les espaces clos où se trouve un moteur à combustion • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**
H-20-03	Gaz toxique : Sulfure d'hydrogène (H_2S) causé par une activité bactérienne dans l'eau stagnante et les espaces confinés	• Exposition d'un membre du personnel à l'H_2S pendant l'entrée dans un espace confiné	• Eau stagnante • Bactéries sulfato-réductrices (BSR)	• Risque de blessure très grave ou de décès, y compris pour les services de secours d'urgence	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • La conception permet d'éviter l'accumulation d'eau stagnante, partout où possible • Permis de travail requis avec les pratiques/procédures de travail sécuritaires connexes • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant l'entrée dans un espace confiné	1	4	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
								• Analyse de l'atmosphère avant l'entrée • Autorisation officielle avant l'accès à des espaces confinés • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Surveillance continue par une autre personne postée à l'extérieur de l'espace clos • Équipement d'intervention d'urgence et procédures de sauvetage/récupération des personnes dans les espaces confinés, y compris les appareils respiratoires • Installations médicales pour diagnostic/traitement			

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-21-01 H-22-01	Liquide toxique : Dangers liés à des liquides toxiques Matière solide toxique : Dangers liés à des matières solides toxiques	• Exposition directe ou contact avec des produits irritants, corrosifs ou toxiques	• Déversement • Non-respect des procédures de travail (manutention) sécuritaires	• Risque de brûlure (causée par le contact) ou d'empoisonnement (causé par l'inhalation ou l'ingestion) • Problèmes respiratoires liés à l'inhalation • Blessure modérée à un membre du personnel	3	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédure pour la manipulation sécuritaire des produits chimiques • Fiche signalétique disponible pour toutes les substances toxiques • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la manipulation de produits toxiques • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	2	**A**
H-23-01	Produits corrosifs	• Exposition directe ou contact avec des produits irritants, corrosifs ou toxiques	• Déversement • Non-respect des procédures de travail (manutention) sécuritaires	• Risque de brûlure (causée par le contact) ou d'empoisonnement (causé par l'inhalation ou l'ingestion) • Blessure modérée à un membre du personnel	3	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures de manipulation sécuritaire des produits chimiques • Fiche signalétique disponible pour toutes les substances corrosives • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant la manipulation de produits corrosifs • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	2	**L**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-24-01	Biologique : Maladies transmissibles telles que la diphtérie, l'hépatite A, le tétanos, la typhoïde, le paludisme et la fièvre jaune	• Éclosion de maladie	• Les moustiques (paludisme et fièvre jaune), les tiques (maladie de Lyme), les puces (peste)	• Risque de blessure très grave ou de décès	3	4	**I**	• Programmes de formation et de vigilance pour l'équipage • Vaccinations • Disponibilité de la prophylaxie • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	3	**S**
H-24-01	Biologique : Aliments contaminés	• Intoxication alimentaire causée par des bactéries d'origine alimentaire (p. ex. : bactérie *E. coli*)	• Non-respect des procédures sécuritaires de manipulation et de stockage des aliments • Contamination extérieure	• Risque de maladie (intoxication alimentaire, diarrhée) • Blessure modérée ou maladie bénigne d'un membre personnel	2	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipe de cuisine et de restauration • Procédures et méthodes de travail respectant la sécurité pour la manipulation et la préparation des aliments • Contrôle de qualité des produits alimentaires livrés • Contrôles réguliers des zones de préparation des aliments et de la chambre froide • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	2	**A**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-24-02	Biologique : Eau contaminée	• Éclosion de maladie contagieuse	• Eau contaminée par des bactéries présentes dans l'eau (p. ex. : bactéries *Legionella*)	• Risque de blessure très grave ou de décès	2	4	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Présence à bord d'appareils de purification d'eau obtenue par osmose inverse • Vérification régulière de la qualité de l'eau • Installations médicales pour diagnostic/traitement	1	3	**A**
H-25-01	Facteurs humains : Manutention des matériaux	• Blessure lors de la manutention des matériaux	• Levage • Transport d'outils, de tuyaux, de produits chimiques en vrac	• Fatigue musculaire • Blessures au dos • Blessure modérée à un membre du personnel	4	2	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures de travail sécuritaires pour le levage/transport • Équipements d'aide au levage • Installations dotées de systèmes de manutention mécanique ou de rails pour aider à déplacer des charges lourdes/encombrantes • Installations médicales pour diagnostic/traitement	3	2	**S**
H-25-02	Facteurs humains : Vibration	• Épuisement, troubles musculaires	• Utilisation répétée d'outils manuels vibrants • Non-respect des procédures de travail (manutention) sécuritaires	• Risque de blessure mineure	2	1	**A**	• Formation et compétence de l'équipage • Procédures de travail sécuritaires pour manipuler les outils • Sélection et entretien d'outils dans le but de minimiser les vibrations • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	**A**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-25-03	Facteurs humains : Mauvais éclairage	• Exposition prolongée aux zones de travail à faible éclairage	• Éclairage inadéquat des installations	• Fatigue des yeux • Fatigue • Blessure légère à un membre du personnel	2	1	**A**	• Formation et vigilance de l'équipage • Évaluations ergonomiques en milieu de travail • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	**A**
H-25-04	Facteurs humains : Commandes mal disposés / mal placées	• Disposition des commandes inefficace pour effectuer des actions	• Mauvaise conception ergonomique • Erreur humaine	• Retard potentiel dans l'exécution des mesures de contrôle conduisant à un effet domino aggravant de l'événement • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	2	3	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Évaluations ergonomiques en milieu de travail • Test d'équipement • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-25-05	Facteurs humains : Emplacement peu commode des lieux de travail, et des zones de machines	• Mal de dos, troubles musculosqueletti ques	• Adoption prolongée d'une posture inconfortable	• Risque de blessure mineure chronique	3	1	**A**	• Formation et vigilance de l'équipage • Conception des installations comprenant des facteurs humains et des évaluations ergonomiques visant à réduire au minimum les dangers et les risques potentiels associés à une posture inconfortable pendant l'opération ou l'entretien • Évaluations ergonomiques en milieu de travail • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	1	**A**
H-25-06	Facteurs humains : Mauvaise organisation et conception des tâches	• Mauvaise conception des tâches menant à un accident ou à une inefficacité d'exploitation	• Erreur humaine • Manque de planification préalable au travail	• Incapacité de réaliser le travail de façon sécuritaire et efficace • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	2	3	**S**	• Formation et compétence de l'équipage • Causeries sécurité/analyse de sécurité de la tâche/évaluations des risques avant le début d'une tâche • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-25-07	Facteurs humains : Stress thermique	• Exposition prolongée à des températures élevées	• Températures ambiantes élevées dans la région • Chaleur résiduelle de l'équipement de traitement	• Déshydratation • Coup de chaleur • Risque de blessure très grave ou de décès	3	4	**I**	• Formation et vigilance de l'équipage • Climatisation dans les zones à forte chaleur/humidité • Pauses régulières • Accès à de l'eau pour se réhydrater • Installations médicales pour diagnostic/traitement	3	2	**S**
H-26-01	Psychologique : Stress (causes de stress, vie sur le lieu de travail / loin de la famille, travaille et vie dans une installation dangereuse, stress post-traumatique à la suite d'incidents graves, blessures personnelles)	• Personnel soumis à un stress élevé	• Tragédie familiale/loin de chez soi • Travailler et vivre dans une installation dangereuse • Stress post-traumatique à la suite d'un incident /accident grave, blessures personnelles	• Risque accru d'accident avec blessures modérées	3	2	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Congé • Counseling • Examens médicaux pour le personnel	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-26-02	Psychologique : Fatigue en raison du travail posté	• Accumulation de fatigue causée par le travail posté	• Manque de repos	• Risque accru d'accident avec blessures modérées	3	2	**S**	• Formation et vigilance des équipages • Restrictions relatives au travail et aux quarts • Congé • Examens médicaux pour le personnel	2	2	**S**
H-29-01	Médical : Inaptitude médicale	• Personnel non apte à effectuer un travail sur le plan médical	• Santé générale • Manque de repos	• Risque accru d'accident • Blessure modérée à un membre du personnel	3	2	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Congé • Examens médicaux pour le personnel	2	2	**S**
H-29-02	Médical : Mal de mer	• Mouvements de la mer excessifs et mal de mer sur les navires	• Météo • État général de la mer	• Risque accru d'accident avec blessures modérées	3	2	**S**	• Formation et vigilance de l'équipage • Restrictions météorologiques/maritimes pour les opérations maritimes • Médicaments contre le mal de mer • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-30-01	Bruit : Niveaux de bruit élevés dans le secteur des machines et les lieux de travail dans les zones de procédés	• Bruit de travail excessif	• Bruit élevé de l'installation et de l'équipement (génératrices, compresseurs, torches, pompes, moteurs, etc.) • Isolement acoustique endommagé ou retiré	• Perte auditive causée par le bruit • Augmentation de l'épuisement du personnel • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	3	3	**I**	• Formation et compétence de l'équipage • Évaluation du bruit et réalisation de cartes dans le cadre du processus de conception pour définir les zones à bruit élevé et utiliser ces données dans la conception appropriée et la mitigation des risques d'exploitation • Équipement à bruit élevé situé à distance des hébergements • Protection contre les appareils à bruit élevé, y compris les enceintes, les silencieux et l'application de matériaux de surface pour l'isolation acoustique • Port de l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié (bouchons d'oreille, cache-oreilles) • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ID	Danger	Événement d'accident	Causes	Conséquences	Risque initial			Prévention, contrôle et mitigation	Risque résiduel		
					P	S	CR		P	S	CR
H-30-02	Bruit : Bruit intrusif dans les aires de repos, les bureaux et les aires de loisirs	• Personnel exposé à un bruit excessif répété dans les hébergements	• Bruit intrusif dans les aires de repos, les bureaux et les aires de loisirs	• Perte auditive causée par le bruit • Augmentation de l'épuisement du personnel • Blessure grave ou invalidité partielle permanente d'un membre du personnel	3	3	**I**	• Formation et vigilance de l'équipage • Évaluation du bruit et réalisation de cartes dans le cadre du processus de conception pour définir les zones à bruit élevé et utiliser ces données dans la conception appropriée et la mitigation des risques d'exploitation • Équipement à bruit élevé situé à distance des hébergements • Protection contre les appareils à bruit élevé, y compris les enceintes, les silencieux et l'application de matériaux de surface pour l'isolation acoustique • Isolation des hébergements • Installations médicales pour diagnostic/traitement	2	2	**S**

ANNEXE O-5 : EXEMPLE D'APPROCHE PAR NŒUD PAPILLON AVEC ARBRE DE DÉFAILLANCE/ D'ÉVÉNEMENT (D-01 ÉRUPTION DE PUITS OU FUITE DE PUITS)

Figure AO-5.1 : Noeud papillon D-01 – Éruption de puits de forage ou fuite de puits de forage (approche de type arbre de défaillance et d'événement) (côté gauche)

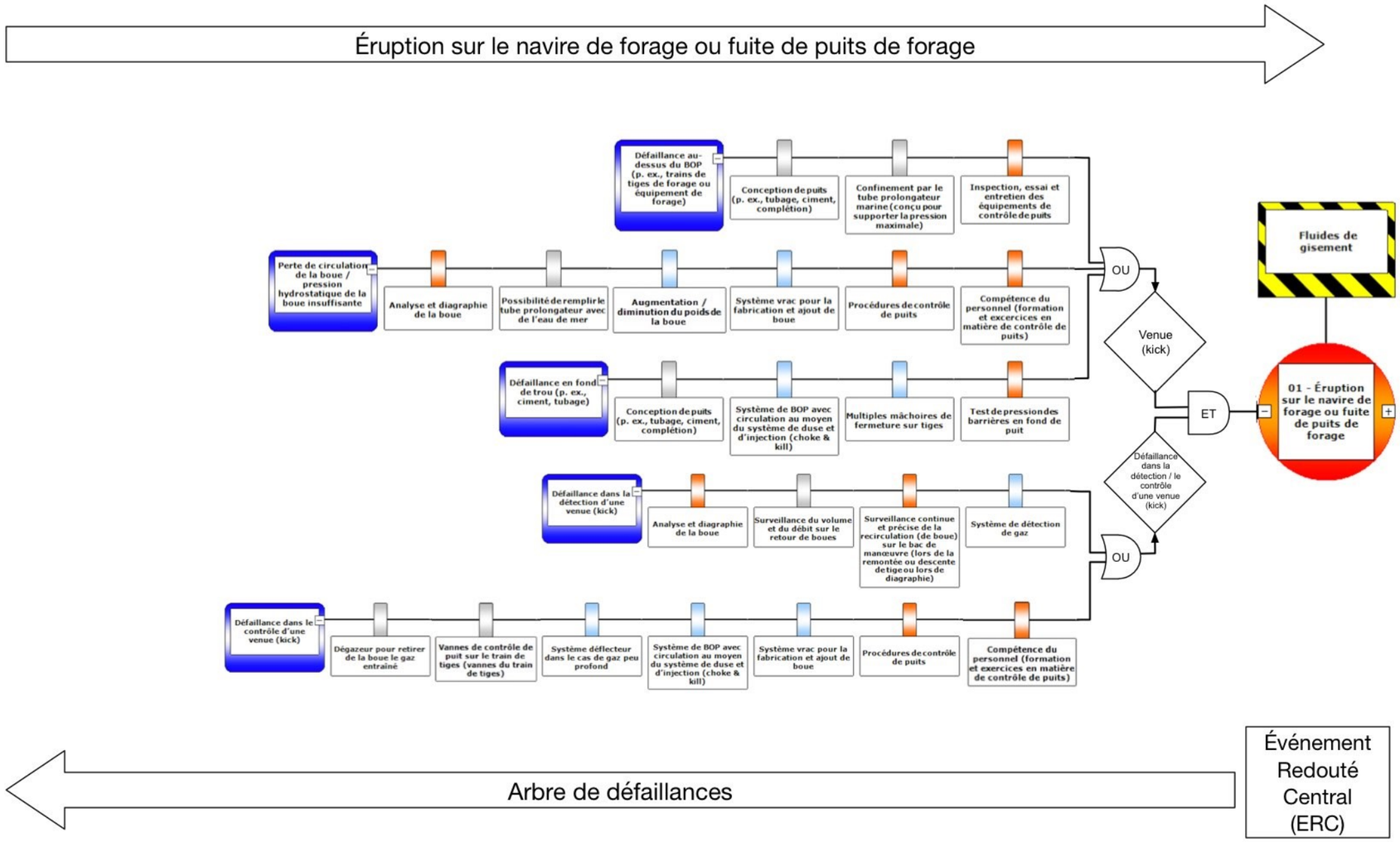
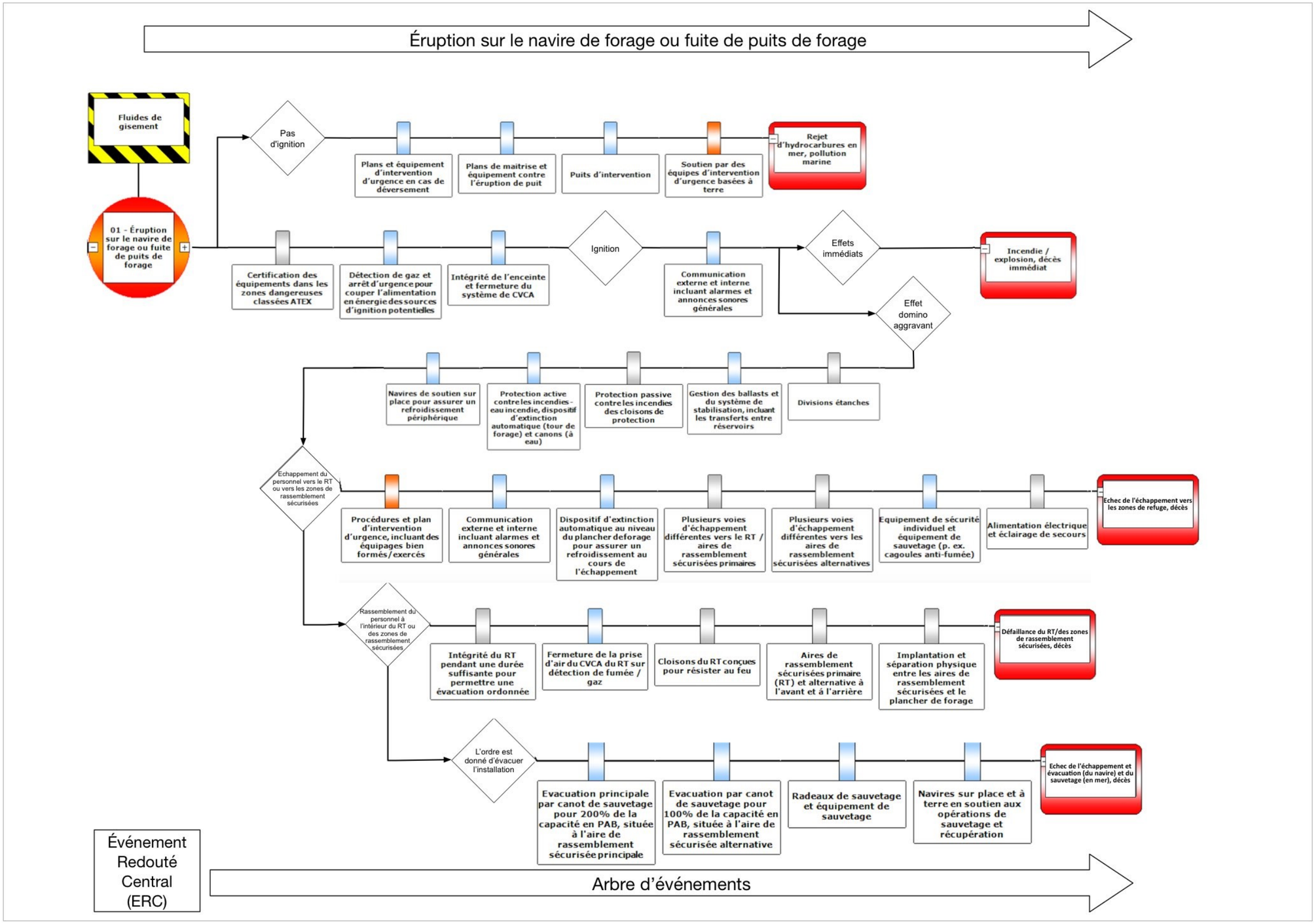



Figure AO-5.2 : Noeud papillon D-01 – Éruption de puits de forage ou fuite de puits de forage (approche de type arbre de défaillance et d'événement) (côté droit)