

DAEU du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay

Phase 2 – Définition de la zone d'immersion

Phase 2C : Modélisation de la dispersion des panaches turbides sur deux zones d'immersion potentielles



PROJET FINANCÉ
par le fonds européen
de développement régional
Dans le cadre de REACT-EU :
dispositif de relance de l'Union en
réponse à la pandémie de COVID-19



Etablissement Portuaire de Saint-Martin

Rapport d'étude

04 mars 2022

Ce rapport a été préparé conformément au système qualité de DHI certifié ISO 9001 par Bureau Veritas.

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



DAEU du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay

Phase 2 – Définition de la zone d'immersion

Phase 2C : Modélisation de la dispersion des panaches turbides sur deux zones d'immersion potentielles

Préparé pour Etablissement Portuaire de Saint-Martin
Représenté par M. Albéric Ellis, Directeur du port



La baie de la Potence et le Port de Galisbay (Photo GAIA)

Chef de Projet	Caroline TESSIER
Numéro de projet	21803656
Date de validation	4 mars 2022
Révision	1.0
Catégorie	Restreint



SOMMAIRE

1	Introduction	1
2	Identification de scénarios météo-océaniques	5
2.1	Rappels sur le modèle régional de courantologie autour de Saint-Martin.....	5
2.2	Identification de scénarios météo-océaniques.....	6
3	Méthodologie et hypothèses pour la modélisation des opérations de clapages.....	19
3.1	Le modèle hydrodynamique.....	19
3.2	Le modèle de dispersion des panaches turbides	20
3.3	Description générale de la modélisation des clapages.....	21
3.4	Caractéristiques des matériaux en présence	23
3.5	Paramétrisation du modèle de transport des sédiments fins.....	31
3.5.1	Granulométrie et vitesse de chute	31
3.5.2	Distribution des fractions sédimentaires	32
3.5.3	Lois d'érosion et de dépôt.....	32
3.5.4	Densité des dépôts	32
3.5.5	Volumes à claper et cadences des opérations	33
3.5.6	Tests de sensibilité	34
4	Résultats de modélisation des clapages sur les sites d'immersion B2 et B6	36
4.1	La dynamique des panaches générés lors des clapages.....	36
4.2	Les dépôts accumulés	41
4.3	Les concentrations maximales dans la colonne d'eau	48
4.4	Les bilans de masse	55
5	Conclusion	59
6	Références.....	60

ANNEXES

ANNEXE A – Description des scénarios météocéaniques identifiés

ANNEXE B – Résultats de modélisation des clapages sur les sites d'immersion B2 et B6

ANNEXE C – Tests de sensibilité des résultats du modèle aux principaux paramètres



FIGURES

Figure 1-1 : Le projet d'aménagement et d'extension du Port de Commerce de Galisbay, esquisse SETEC (à gauche) et le plan masse des opérations de dragage pour un chenal à -9m (à droite).....	1
Figure 1-2 : Localisation de la zone d'immersion pré-identifiée dans l'étude d'impact d'EGIS 2017.	1
Figure 1-3 : Localisation des sites d'immersions potentiels B2 et B6 identifiés en phase 2A par des fonds de ~600m (Réf. /1/)	3
Figure 2-1 : Emprise du modèle régional de courantologie de Saint-Martin (MIKE 3D HD).....	5
Figure 2-2 : Localisation des points d'extraction A1, A3 et B2, pour caractériser les scénarios météo-océaniques retenus.	6
Figure 2-3 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 1.	8
Figure 2-4 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 2	9
Figure 2-5 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 3.	10
Figure 2-6 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 4.	11
Figure 2-7 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 5.	12
Figure 2-8 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 6.	13
Figure 2-9 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 7.	14
Figure 2-10 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 8.	15
Figure 2-11 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 9.	16
Figure 3-1 : Maillage et bathymétrie interpolée sur les sites d'immersion B2 et B6 étudiés en Phase 2C.	19
Figure 3-2 : Chute convective d'une masse de sédiment clapé. Jensen et al. (2014).	21
Figure 3-3 : Etalement sur le fond d'un panache de sédiment. Jensen et al. (2014).....	21
Figure 3-4 : Schéma de principe du modèle de champ proche.	22
Figure 3-5 : Exemple de résultat obtenu à l'aide du module « Disposal » de MIKE 3 FM. Les sédiments libérés lors de la chute sont placés dans la colonne d'eau, le panache devenu passif est inséré au-dessus du fond.	22
Figure 3-6 : Profils de dragage dans la zone du cercle d'évitage (Réf. /4/)	23
Figure 3-7 : Photo sous-marine de l'affleurement de blocs de calcaires coralliens au nord-ouest du port de Galisbay, banc de la Médée (photo GAIA).	24
Figure 3-8 : Plan d'implantation des reconnaissances géotechniques de 2016 (Réf. /3/).....	24
Figure 3-9 : Coupe schématique du terrain obtenue par sondage carotté au point Ca3 (Réf. /3/).	25
Figure 3-10 : Photographie des sables marins superficiels présents dans les échantillons du sondage carotté de 0 à 3m (soit de -4.5 à -7.5 m NGG) au point Ca3 (Réf. /3/).	26
Figure 3-11 : Photographie des argiles indurées présentes dans les échantillons du sondage carotté de 3 à 6m (soit de -7.5 à -10.5 m NGG) au point Ca3 (Réf. /3/).	26
Figure 3-12 : Coupe schématique du terrain obtenue par sondage carotté au point Ca5 (Réf. /3/).	27
Figure 3-13 : Photographie des argiles indurées présentes dans les échantillons du sondage carotté de 3 m à 9 m (soit de -8.3 à -14.3 m NGG) au point Ca5 (argiles AaV1 de 3 à 3.8m et argiles AaV4 au-delà de 4m), Réf. /3/.....	28
Figure 3-14 : Coupe schématique du terrain obtenue par sondage carotté au point Ca6 (Réf. /3/).	29
Figure 3-15 : Photographie des calcaires (SuC1) présents dans les échantillons du sondage carotté de 3 m à 9 m (soit de -9.4 à -15.4 m NGG) au point Ca6 (Réf. /3/).	30
Figure 3-16 : Vitesse de chute en fonction de la concentration de matière en suspension pour les floccs fins à grossiers.	31
Figure 4-1 : Clapage des <u>argiles en B2</u> à t0, t0+10min, t0+20min et t0+30min.	37
Figure 4-2 : Clapage des <u>calcaires en B2</u> à t0, t0+10min, t0+20min et t0+30min.	38
Figure 4-3 : Clapage des <u>argiles en B6</u> à t0, t0+10min, t0+20min et t0+30min.	39
Figure 4-4 : Clapage des <u>calcaires en B6</u> à t0, t0+10min, t0+20min et t0+30min.	40

Figure 4-5 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B2.....	42
Figure 4-6 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B6.....	42
Figure 4-7 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B2.....	43
Figure 4-8 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B6.....	43
Figure 4-9 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B2.....	44
Figure 4-10 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B6.....	44
Figure 4-11 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B2.....	45
Figure 4-12 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B6.....	45
Figure 4-13 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B2.....	46
Figure 4-14 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B6.....	46
Figure 4-15 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B2.....	47
Figure 4-16 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B6.....	47
Figure 4-17 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des argiles en B2 (gauche) et B6 (droite). De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	49
Figure 4-18 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des calcaires en B2 (gauche) et en B6 (droite). De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	50
Figure 4-19 : Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des argiles en B2 (gauche) et B6 (droite). De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	51
Figure 4-20 : Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des calcaires en B2 (gauche) et en B6 (droite). De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	52
Figure 4-21 : Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des argiles en B2 (gauche) et en B6 (droite). De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	53
Figure 4-22 : Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des calcaires en B2 (gauche) et en B6 (droite). De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	54
Figure 4-23 : Secteurs de calcul des bilans de masse : rayons de 1 km autour des points de clapage B2 et B6 et polygone délimité par les frontières maritimes franco-britanniques et franco-néerlandaise.....	55
Figure 4-24 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario long.....	56
Figure 6-1 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B2.....	2
Figure 6-2 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B2.....	2
Figure 6-3 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B6.....	3
Figure 6-4 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B6.....	3
Figure 6-5 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des argiles en B2.....	4
Figure 6-6 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des calcaires en B2.....	4
Figure 6-7 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des argiles en B6.....	5
Figure 6-8 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des calcaires en B6.....	5
Figure 6-9 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des argiles en B2.....	6
Figure 6-10 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des calcaires en B2.....	6
Figure 6-11 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des argiles en B6.....	7
Figure 6-12 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des calcaires en B6.....	7
Figure 6-13 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des argiles en B2.....	8
Figure 6-14 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des calcaires en B2.....	8
Figure 6-15 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des argiles en B6.....	9
Figure 6-16 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des calcaires en B6.....	9
Figure 6-17 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des argiles en B2.....	10
Figure 6-18 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des calcaires en B2.....	10
Figure 6-19 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des argiles en B6.....	11
Figure 6-20 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des calcaires en B6.....	11
Figure 6-21 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des argiles en B2.....	12
Figure 6-22 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des calcaires en B2.....	12

Figure 6-23 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des argiles en B6.	13
Figure 6-24 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des calcaires en B6.	13
Figure 6-25 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B2.	14
Figure 6-26 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B2.	14
Figure 6-27 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B6.	15
Figure 6-28 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B6.	15
Figure 6-29 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des argiles en B2.	16
Figure 6-30 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des calcaires en B2.	16
Figure 6-31 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des argiles en B6.	17
Figure 6-32 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des calcaires en B6.	17
Figure 6-33 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des argiles en B2.	18
Figure 6-34 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des calcaires en B2.	18
Figure 6-35 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des argiles en B6.	19
Figure 6-36 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des calcaires en B6.	19
Figure 6-37 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B2.	20
Figure 6-38 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B2.	20
Figure 6-39 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B6.	21
Figure 6-40 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B6.	21
Figure 6-41 :Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	23
Figure 6-42 :Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	24
Figure 6-43 :Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	25
Figure 6-44 :Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	26
Figure 6-45 :Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	27
Figure 6-46 :Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	28
Figure 6-47 :Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	29
Figure 6-48 :Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	30
Figure 6-49 :Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	31
Figure 6-50 :Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	32
Figure 6-51 :Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	33
Figure 6-52 :Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	34
Figure 6-53 :Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	35
Figure 6-54 :Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	36
Figure 6-55 :Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	37
Figure 6-56 :Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	38
Figure 6-57 :Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	39
Figure 6-58 :Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	40
Figure 6-59 :Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	41

Figure 6-60 :Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	42
Figure 6-61 :Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	43
Figure 6-62 :Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	44
Figure 6-63 :Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	45
Figure 6-64 :Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	46
Figure 6-65 :Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	47
Figure 6-66 :Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	48
Figure 6-67 :Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	49
Figure 6-68 :Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	50
Figure 6-69 :Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	51
Figure 6-70 :Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	52
Figure 6-71 :Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	53
Figure 6-72 :Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	54
Figure 6-73 :Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	55
Figure 6-74 :Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	56
Figure 6-75 :Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	57
Figure 6-76 :Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	58
Figure 6-77 :Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	59
Figure 6-78 :Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	60
Figure 6-79 :Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	61
Figure 6-80 :Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.....	62
Figure 6-81 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 1.	63
Figure 6-82 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 2.	64
Figure 6-83 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 3.	65
Figure 6-84 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 4.	66
Figure 6-85 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 5.	67
Figure 6-86 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 6.	68
Figure 6-87 :Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 7.	69

Figure 6-88 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 8.	70
Figure 6-89 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 9.	71
Figure 6-90 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario long.	72
Figure 6-91 : Incidence des tests de sensibilité sur les dépôts : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).	1
Figure 6-92 : Incidence des tests de sensibilité sur les dépôts : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).	2
Figure 6-93 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [0-100m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).	3
Figure 6-94 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [100-200m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).	4
Figure 6-95 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [200-300m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).	5
Figure 6-96 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension (colonne) : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).	6
Figure 6-97 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [0-100m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).	7
Figure 6-98 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [100-200m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).	8
Figure 6-99 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [200-300m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).	9
Figure 6-100 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension (colonne) : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).	10

TABLEAUX

Tableau 2.1 : Description des scénarios météo-océaniques retenus.	7
Tableau 2.2 : Caractéristiques principales des scénarios météo-océaniques retenus.	7
Tableau 3.1 : Vitesses de chute des fractions sédimentaires modélisées.	31
Tableau 3.2 : Répartitions des fractions sédimentaires considérées dans les modélisations pour les deux matériaux clapés	32
Tableau 3.3 : Densité sèche des fractions sédimentaires modélisées.	32
Tableau 3.4 : Cycle d'opérations d'une barge.	33
Tableau 3.5 : Hypothèses du test de sensibilité sur les vitesses de chute : vitesses de chute constantes (pas de floculation).	34
Tableau 3.6 : Hypothèses du test de sensibilité sur la distribution des fractions sédimentaires pour les calcaires	34
Tableau 3.7 : Incidence des tests de sensibilité sur les dépôts maximums au niveau de la frontière nord FR/UK à la fin du scénario long.	35
Tableau 3.8 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension (moyennées sur la colonne d'eau) maximales au niveau de la frontière nord FR/UK au cours du scénario long.	35
Tableau 4.1 : Dépôts maximums au niveau des frontières maritimes françaises en fin de scénario.	41
Tableau 4.2 : Concentrations de matières en suspension (moyennées sur la colonne d'eau) maximales au niveau des frontières maritimes françaises au cours des scénarios.	48
Tableau 4.3 : Bilans de masse dans un rayon de 1 km autour des points de clapage B2 et B6.	57
Tableau 4.4 : Bilans de masse dans le polygone délimité par les frontières maritimes françaises.	58
Tableau 6.1 : Incidence des tests de sensibilité sur les bilans de masse dans le polygone délimité par les frontières maritimes françaises.	11
Tableau 6.2 : Incidence des tests de sensibilité sur les bilans de masse dans un rayon de 1 km autour des points de clapage B2 et B6.	11

1 Introduction

L'établissement Portuaire de Saint-Martin souhaite réaliser un projet d'extension du Port de Commerce de Galisbay et l'aménagement d'un Quai Croisière (Figure 1-1). Ce projet est associé à des opérations de dragages d'un chenal d'accès au port, dont la cote retenue est finalement de -9m au lieu de -12m dans le projet initial (Etude EGIS 2017).

Le programme actuel prévoit un dragage/déroctage de 317 000 m³ de sable (à valoriser dans le terre-plein), 103 000 m³ d'argile à claper en mer et 203 000 m³ de calcaire (dont 78 500 m³ à claper). Le site d'immersion pressenti dans l'étude d'impact EGIS 2017 est situé à l'ouest de Saint-Martin, par des fonds de 400-600 m, à environ 18k m du port de commerce (Figure 1-2).



Figure 1-1 : Le projet d'aménagement et d'extension du Port de Commerce de Galisbay, esquisse SETEC (à gauche) et le plan masse des opérations de dragage pour un chenal à -9m (à droite).

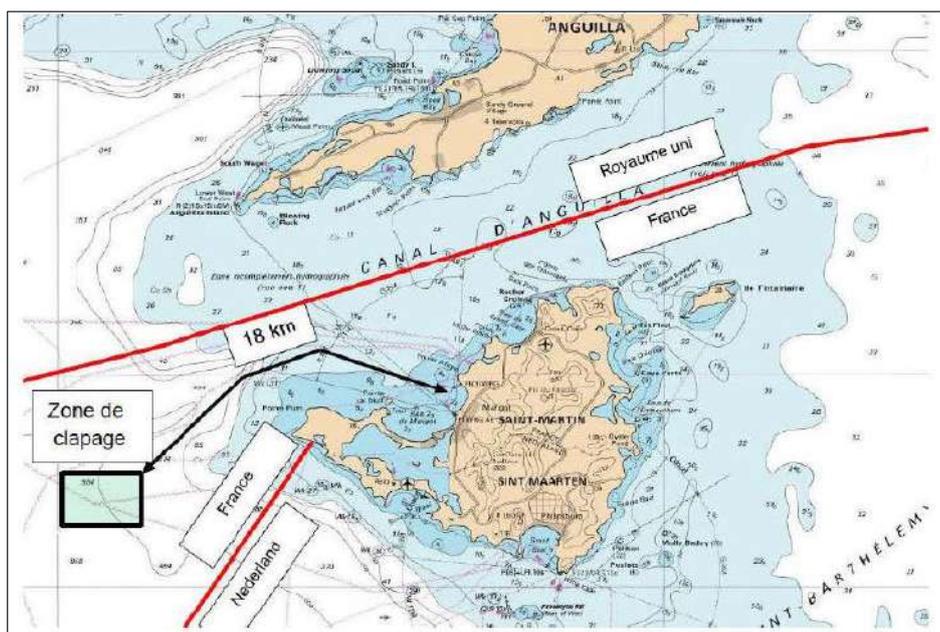


Figure 1-2 : Localisation de la zone d'immersion pré-identifiée dans l'étude d'impact d'EGIS 2017.

Dans ce cadre, un Dossier d'Autorisation Environnementale Unique (DAEU) doit être réalisé conformément au Code de l'Environnement. Le groupement GAIA – Impact-Mer – DHI – Birds&Birds a été mandaté pour réaliser les études réglementaires et assurer une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la passation et le suivi des études d'investigations océanographiques et du milieu biologique.

DHI est en charge des études de modélisations hydro-sédimentaires dans le but d'évaluer les impacts potentiels des panaches turbides générés lors des opérations de dragages dans la baie de Galisbay mais également au large lors des clapages. Ces études s'intègrent dans deux phases principales du projet :

- Phase 2 : Choix de la zone d'immersion
 - Phase 2A : Mise en place d'un modèle régional de courantologie (et de vagues) pour avoir une compréhension globale des conditions météo-océaniques au large et devant Galisbay. Identification de deux zones potentielles d'immersion, au regard des contraintes d'usages.
 - Phase 2C : Modélisation de la dispersion des panaches turbides sur deux zones d'immersion potentielles pour alimenter l'analyse multicritères devant mener au choix de la zone d'immersion.

- Phase 5 : Mise en place d'un modèle local à plus haute résolution pour réaliser, pour plusieurs scénarios météo-océaniques :
 - Modélisations plus précises des opérations de clapages au large
 - Modélisations des panaches turbides générés lors des travaux de dragages, pour les différentes méthodes et les différents matériaux dragués
 - Etude de l'ensablement du chenal et des bassins portuaires, estimation des dragages d'entretien

- En tranche Optionnelle 3 : Modélisation du cycle complet des dragages-immersions sur la saison complète des opérations.

Ce rapport présente les résultats de la Phase 2C, consistant à évaluer la dispersion des panaches turbides et les dépôts sédimentaires induits par les clapages, pour différents scénarios météocéaniques, et pour les deux zones d'immersion potentielles identifiées en Phase 2A (Réf. /1/) : les sites B2 et B6 (Figure 1-3), secteurs de moindre hydrodynamisme et limitant fortement les risques de retour à la côte. L'objectif des modélisations est de statuer sur le choix d'un site d'immersion préférentiel.

L'identification et la caractérisation des scénarios météocéaniques retenus sont présentées en section 2. La méthodologie et les hypothèses considérées pour la modélisation des clapages au large est présentée en section 3. Les résultats des modélisations sont présentés en section 4. Enfin, la conclusion sur le choix du site d'immersion retenu est en section 5.

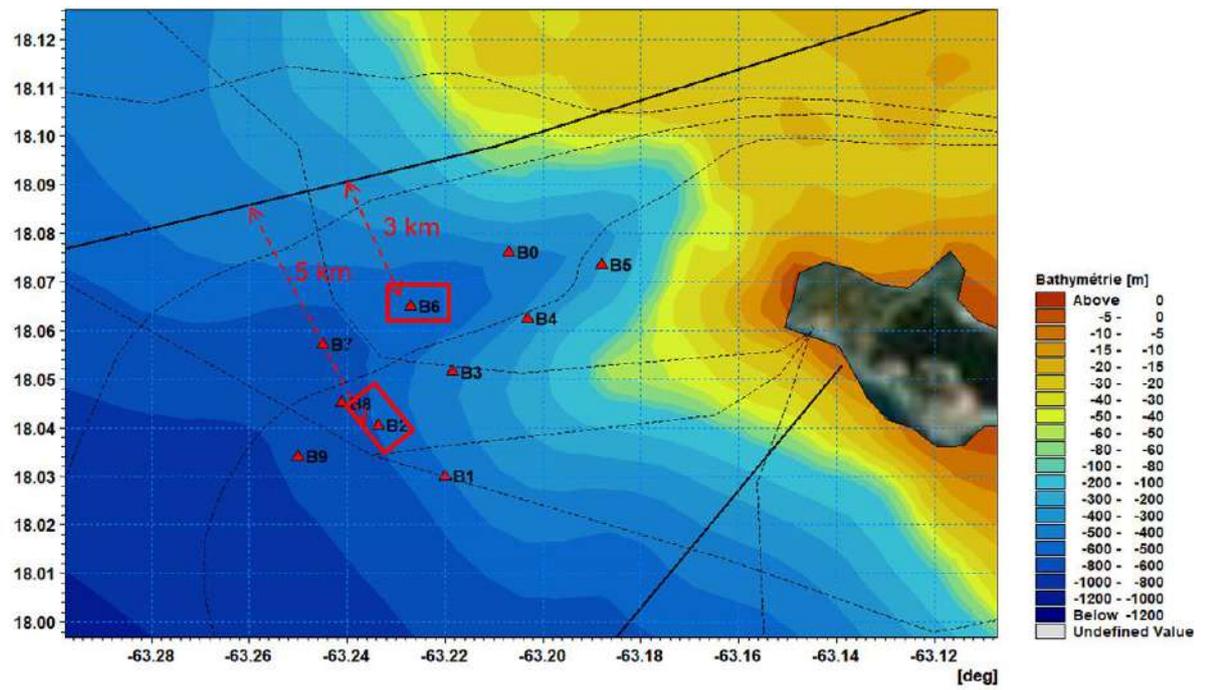


Figure 1-3 : Localisation des sites d'immersions potentiels B2 et B6 identifiés en phase 2A par des fonds de ~600m (Réf. /1/)

2 Identification de scénarios météo-océaniques

2.1 Rappels sur le modèle régional de courantologie autour de Saint-Martin

Un modèle régional de courantologie a été mis en place autour de Saint-Martin dans le cadre de la Phase 2A de la présente étude (Réf. /1/).

Pour rappel, le modèle régional de courantologie de Saint-Martin a été réalisé à l'aide du modèle MIKE 3 HD FM de la suite logicielle MIKE Powered by DHI. Il est basé sur un maillage flexible (à résolution variable) et a été développé pour les applications océanographiques, du large jusqu'à la côte et les environnements estuariens.

Pour l'étude de la dynamique autour de Saint-Martin, le modèle régional MIKE 3D a été emboîté dans le modèle de circulation grande échelle HYCOM GOF3.1 de résolution 1/12°. Ce système d'emboîtement de modèles avec augmentation de la résolution (« downscaling ») est réalisé en configuration réaliste, c'est-à-dire que tous les paramètres les plus importants dans la résolution des équations primitives de la dynamique océanique (le forçage atmosphérique et les conditions aux limites) proviennent d'un modèle déterministe opérationnel, et non de données statistiques ou de climatologie.

Le modèle régional de courantologie autour de Saint-Martin a été utilisé pour simuler une période de 10 années, de janvier 2011 à décembre 2020. Les sorties du modèle sont sauveées à un pas de temps horaire sur l'ensemble du domaine, en 3D.

Les caractéristiques du modèle (bathymétrie, forçages, etc.), sa validation avec les données disponibles à ce jour, ainsi que les analyses des résultats sont détaillées en Réf. /1/.

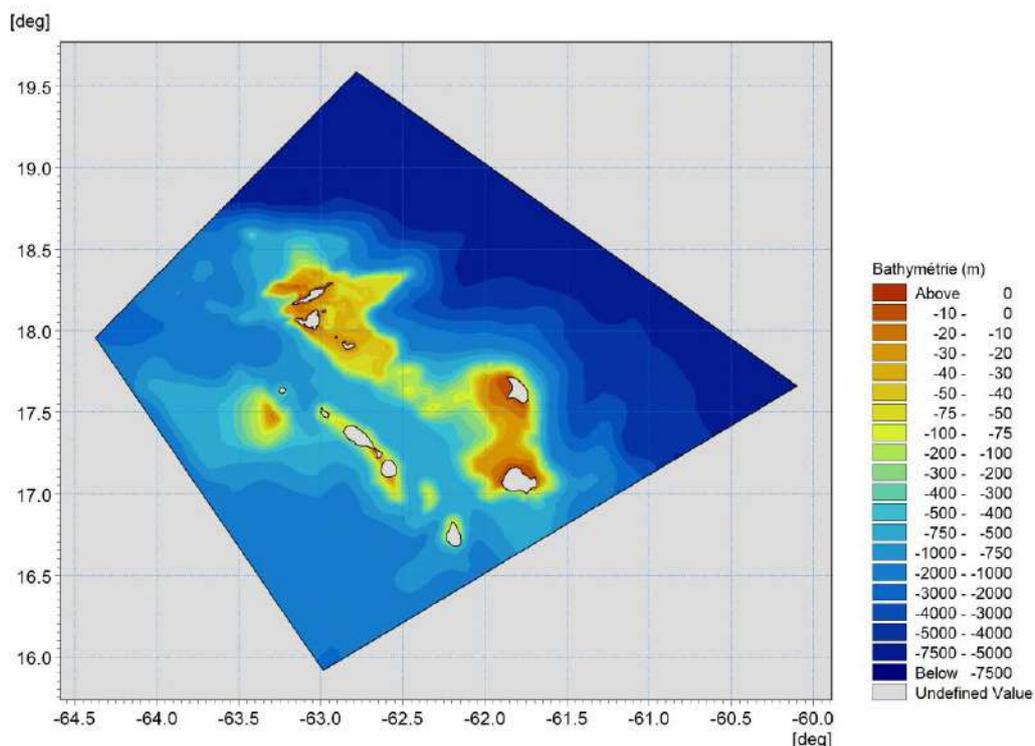


Figure 2-1 : Emprise du modèle régional de courantologie de Saint-Martin (MIKE 3D HD).

2.2 Identification de scénarios météo-océaniques

Neuf scénarios météo-océaniques de 15 jours, incluant les conditions météo-océaniques particulières suivantes, ont été modélisés :

- Condition fréquente de vents de NE (Alizés) : scénarios 1 et 2 ;
- Condition de vents d'Est-SE (et/ou de circulation générale du SE intensifiée) : scénarios 3 et 4 ;
- Condition de Northers (rotation du vent de l'Ouest au Nord) : scénarios 5 et 6 ;
- Courants au large portant sur toute la colonne d'eau vers le SE : scénario 7,
- Tempête tropicale en mer des Caraïbes (exemple du 22-29 mai 2018) : scénario 8 ;
- Courants au large intensifiés sur la colonne d'eau vers le NO : scénario 9.

Ces scénarios présentent des chronologies et des intensités d'événements variables, pour représenter la climatologie des différentes saisons, en conditions normales et événementielles (mais pas cycloniques).

Un scénario « long » de 1,5 mois a également été modélisé afin d'évaluer les impacts potentiels des opérations de clapage à moyen terme.

Les neuf scénarios météo-océaniques retenus sont listés et caractérisés dans le Tableau 2.1. Leurs statistiques météocéaniques principales sont données dans le Tableau 2.2. En Annexe A, une fiche présente chacun des scénarios avec les éléments suivants :

- Les roses des courants en surface en A1, A3 et B2 (Figure 2-2),
- Les roses des courants moyens sur la colonne d'eau en A1, A3 et B2,
- La rose des vents,
- La série temporelle des vents,
- Les isoplots des vitesses, directions, température et salinité dans la colonne d'eau en B2.

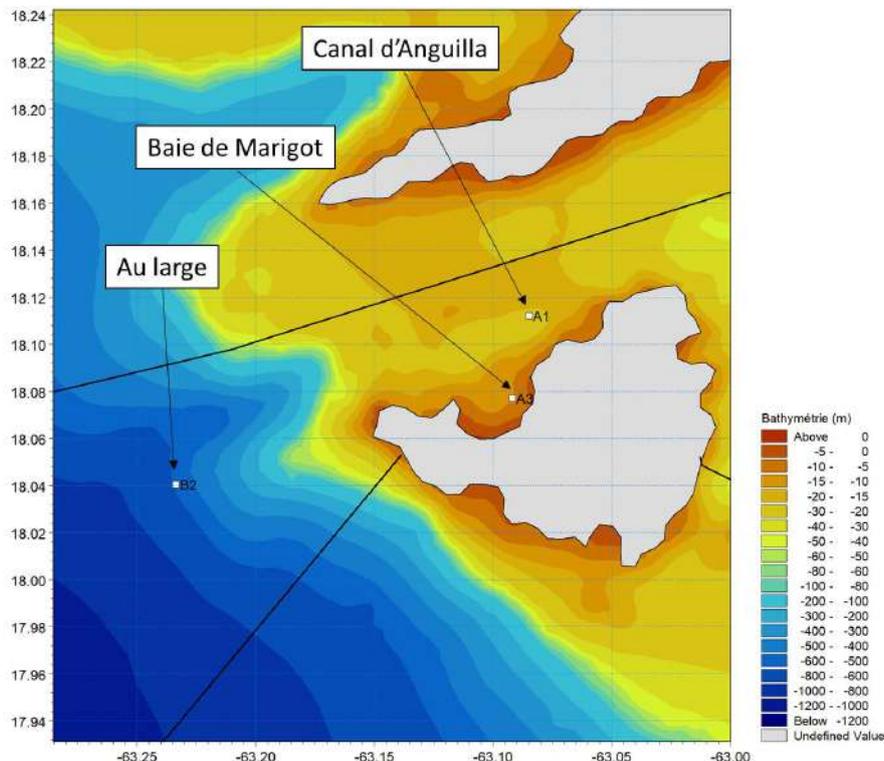


Figure 2-2 : Localisation des points d'extraction A1, A3 et B2, pour caractériser les scénarios météo-océaniques retenus.

Tableau 2.1 : Description des scénarios météo-océaniques retenus.

N°	Dates	Caractéristiques	Représentativité	Durée Fréquence
1	du : 10/02/2018 00h au : 25/02/2018 00h	Condition fréquente de vents de NE (Alizés) renforcés en début d'année (>8m/s)	10 %	>1 jour 43 fois/an
2	du : 13/07/2019 00h au : 28/07/2019 00h	Condition fréquente de vents de E-NE (Alizés), s'affaiblissant en saison humide (juin à novembre)	20 %	1 jour 60 fois/an
3	du : 12/03/2018 00h au : 27/03/2018 00h	Condition de vents d'Est-SE et circulation générale du SE intensifiée (>0.08m/s)	4 %	0,25 jour 52 fois/an
4	du : 30/09/2011 00h au : 15/10/2011 00h	Condition de vents d'Est-SE et circulation générale du SE modéré (<0.08m/s)	19 %	1 jour 57 fois/an
5	du : 25/02/2018 00h au : 12/03/2018 00h	Condition de Northers (rotation du vent de l'O au N), courants ponctuels au large en surface vers le SE	2%	>1 jour 0 à quelques fois/an
6	du : 18/11/2019 00h au : 03/12/2019 00h	Condition de Northers (rotation du vent de l'O au N), courants au large un peu plus forts en surface, variable en direction	2%	>1 jour 0 à quelques fois/an
7	du : 28/05/2019 00h au : 12/06/2019 00h	Courants faibles à modérés en B2 vers le SE sur toute la colonne d'eau	15 %	2 jours 27 fois/an
8	du : 18/05/2018 00h au : 02/06/2018 00h	Tempête tropicale en mer des Caraïbes (22-29 mai 2018)	0.1 %	10 jours 1 fois en 10 ans
9	du : 03/11/2019 00h au : 18/11/2019 00h	Courants forts (>0.15m/s) vers le NO dans toute la colonne d'eau, mélange de la masse d'eau sur la colonne, typique de fin d'année	28 %	3,5 jours 30 fois/an
Long	du : 10/02/2018 00h au : 27/03/2018 00h	Scénario 1 (12j à partir du 10/02) + Scénario 3 (pas de clapage) + Scénario 5 (12j à partir du 10/03). Porte majoritairement vers le NO.	(~15%)	

Tableau 2.2 : Caractéristiques principales des scénarios météo-océaniques retenus.

N°	Vent			Courant dans la colonne d'eau en B2			Courant en surface en B2		
	Direction, 'vient de' (°N)	Vitesse moyenne (m/s)	Vitesse maximale (m/s)	Direction, 'va vers' (°N)	Vitesse moyenne (m/s)	Vitesse maximale (m/s)	Direction 'va vers' (°N)	Vitesse moyenne (m/s)	Vitesse maximale (m/s)
1	ENE	10,8	14,2	NO	0,09	0,20	NO	0,34	0,53
2	E / ENE	7,4	9,7	NO	0,06	0,15	NO / N	0,16	0,34
3	ESE / E	5,9	9,4	NO	0,10	0,17	NNO / NO	0,24	0,49
4	ENE	5,8	8,5	NO	0,06	0,14	N / NNO	0,13	0,31
5	Rotation	5,9	9,2	NO	0,10	0,22	NO	0,10	0,26
6	Rotation	4,7	8,3	NO	0,10	0,22	NO / NNO	0,16	0,42
7	ESE / E	6,1	10,7	SE	0,05	0,16	E / SE	0,16	0,31
8	E	7,3	11,1	NO	0,21	0,52	NO / NNO	0,25	0,76
9	ENE / ESE	6,5	10,3	NO	0,14	0,25	NO / NNO	0,20	0,43

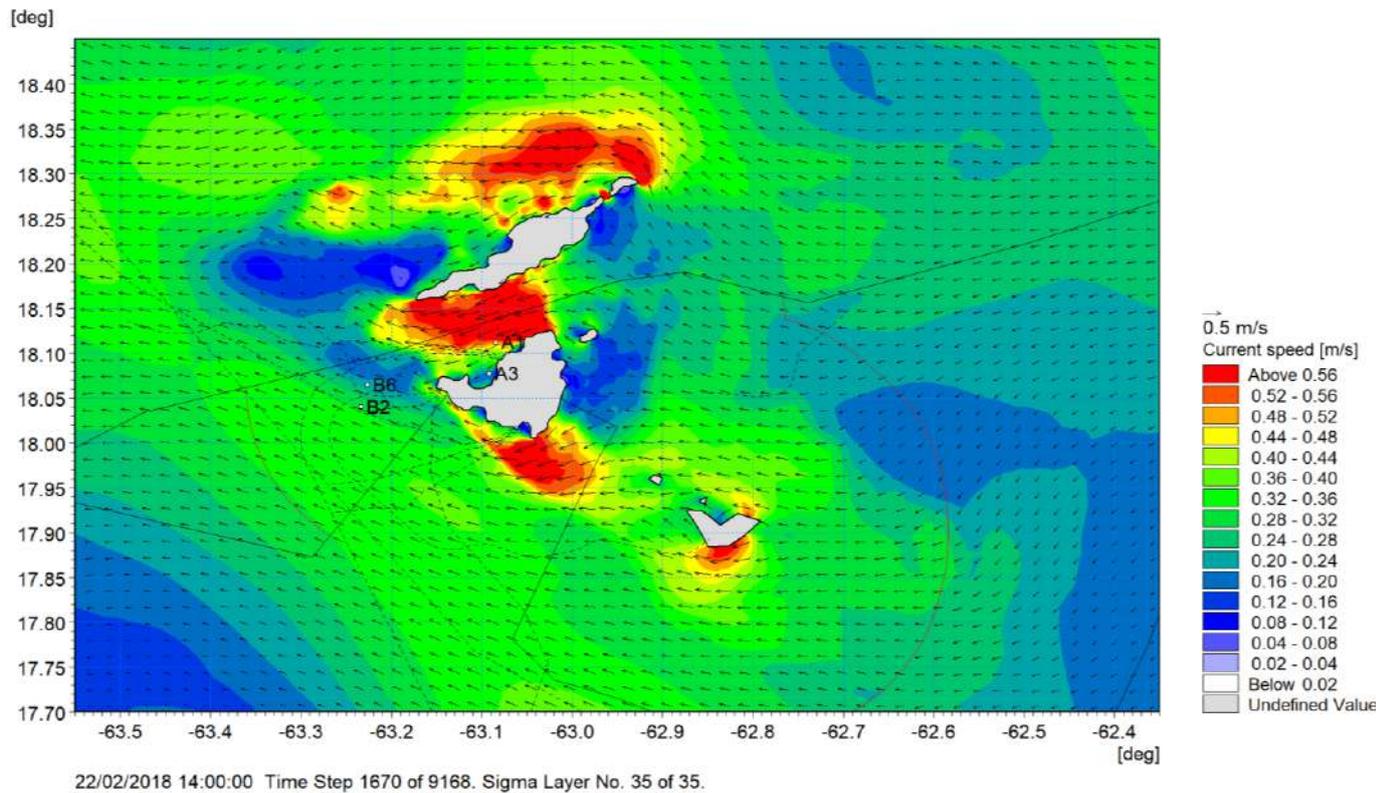
Scénario 1 [10%]

Le scénario 1 s'étend du 10 février 2018 au 25 février 2018. Il s'agit d'un scénario d'Alizé renforcé, caractéristique du début d'année. Les conditions météocéaniques varient peu au cours de ce scénario.

Le vent vient de l'ENE avec une vitesse moyenne de 10,8 m/s et maximale de 14,2 m/s.

Le courant porte vers l'OSO dans le canal d'Anguilla, vers le SSO dans la baie de Marigot (vers le SO en surface).

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, le courant porte vers le NO. Le courant y est surtout fort en surface (34 cm/s en moyenne, 53 cm/s au maximum). Les vitesses sont plus modérées dans la colonne d'eau (9 cm/s en moyenne), mais elles atteignent 20 cm/s au maximum.



Scénario 2 [20%]

Le scénario 2 s'étend du 13 juillet 2019 au 28 juillet 2019. Il s'agit d'un scénario d'Alizé modéré, caractéristique de la saison humide (juin à novembre).

Au cours de ce scénario, le vent provient de l'E ou de l'ENE. Il a une vitesse moyenne de 7,4 m/s et maximale de 9,7 m/s.

Le courant porte essentiellement vers l'OSO dans le canal d'Anguilla mais des inversions se produisent au cours du scénario, en particulier dans la colonne d'eau, où les courants vers l'ENE sont presque aussi fréquents mais moins forts.

Dans la baie de Marigot, les roses des courants sont similaires à celles du scénario 1 mais avec des vitesses moins fortes (courant de surface vers le SO, courant dans la colonne vers le SSO).

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, le courant porte vers le NO. Les vitesses de courant sont relativement modérées : 16 cm/s en moyenne et 34 cm/s au maximum en surface, 6 cm/s en moyenne et 15 cm/s au maximum dans la colonne d'eau, la première moitié de la période présentant des courants légèrement plus forts que la seconde.

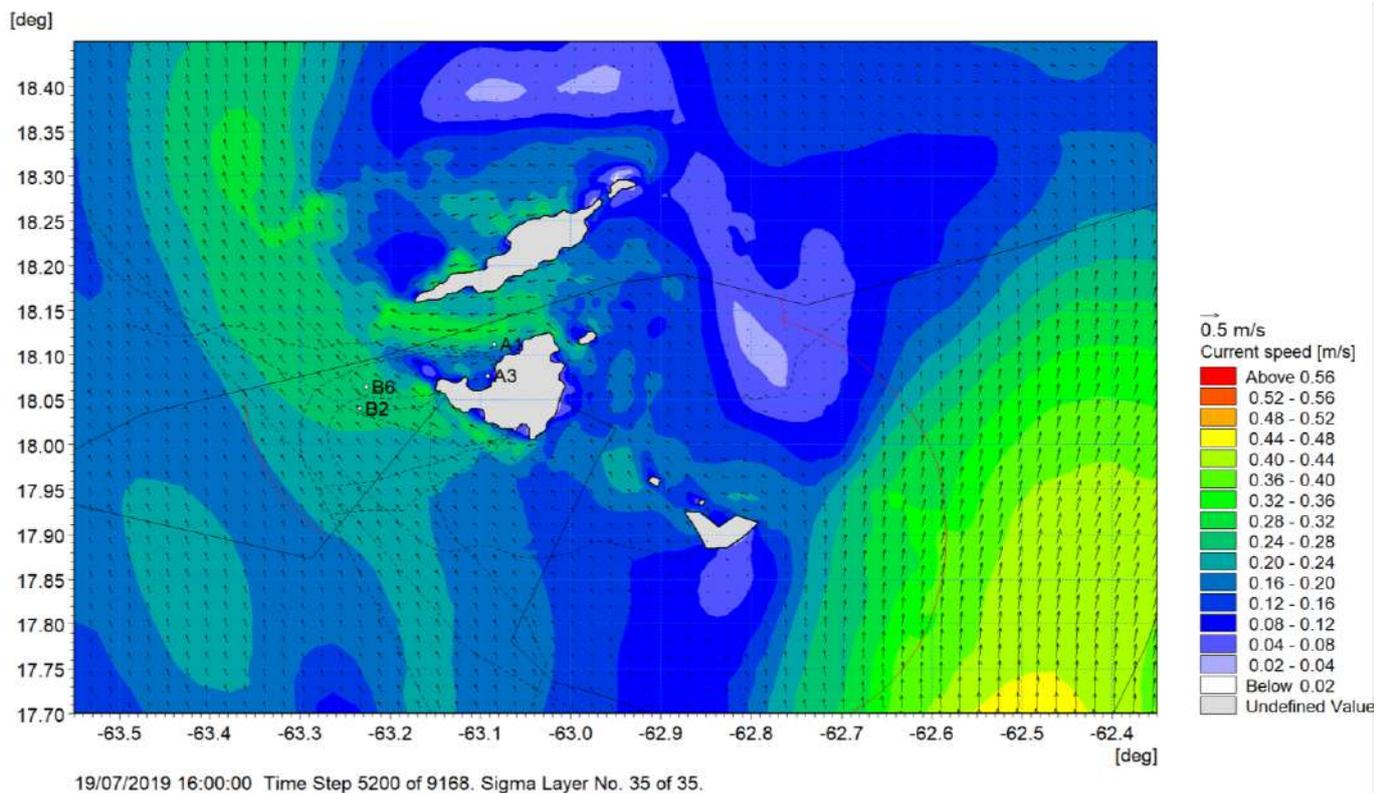


Figure 2-4 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 2

Scénario 3 [4%]

Le scénario 3 s'étend du 12 mars 2018 au 27 mars 2018. Il s'agit d'un scénario de circulation générale du sud-est intensifiée relativement intense.

Au cours de ce scénario, le vent provient de l'ESE ou de l'E. Il a une vitesse moyenne de 5,9 m/s et maximale de 9,4 m/s.

Les courants s'inversent régulièrement dans le canal d'Anguilla au cours de ce scénario.

Dans la baie de Marigot, les courants sont faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, le courant porte vers le NNO/NO. Les vitesses de courant sont assez importantes en surface, en particulier au cours de la deuxième moitié du scénario, avec 24 cm/s en moyenne et 49 cm/s au maximum. Elles sont en revanche modérées dans la colonne d'eau avec 10 cm/s en moyenne et 17 cm/s au maximum.

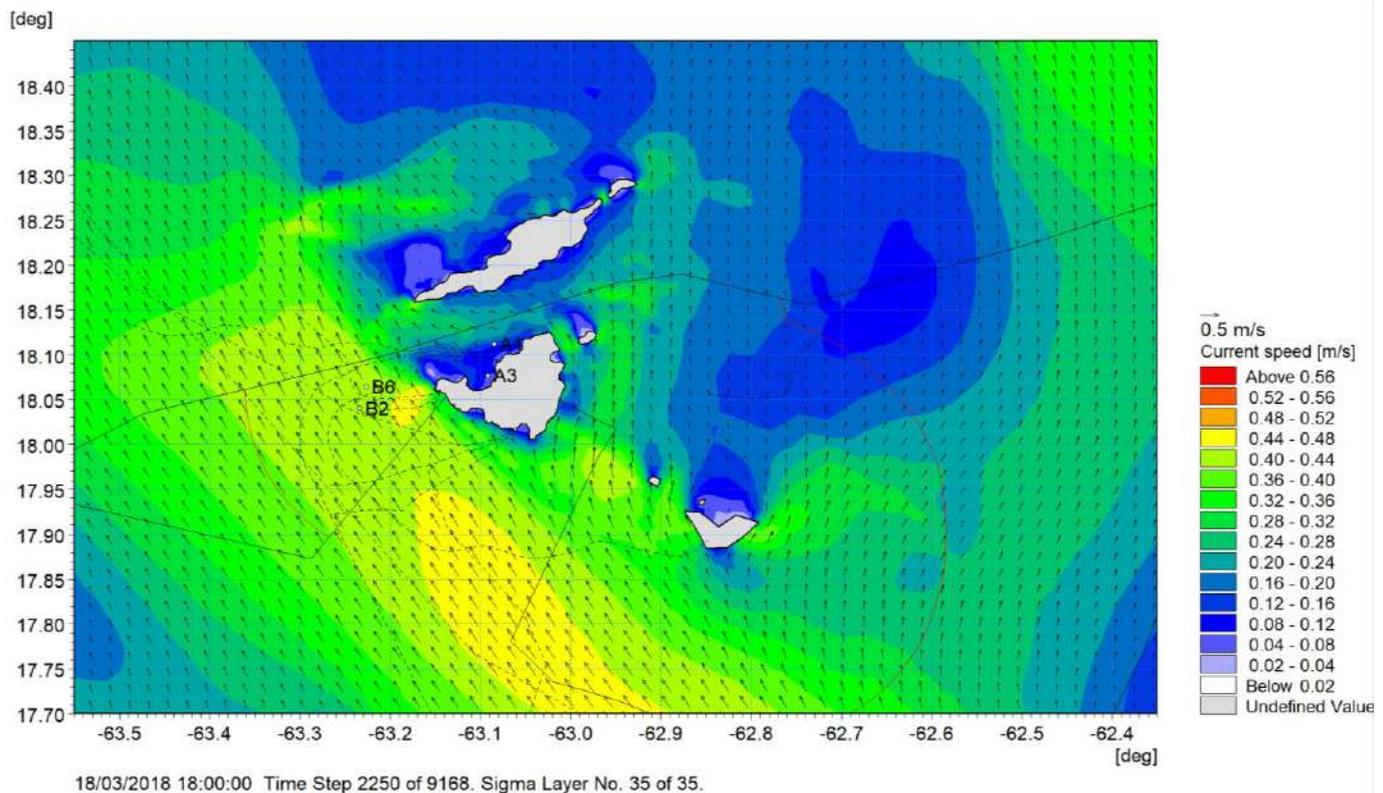


Figure 2-5 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 3.

Scénario 4 [19%]

Le scénario 4 s'étend du 30 septembre 2011 au 15 octobre 2011. Il s'agit d'un scénario de circulation générale du sud-est intensifiée d'intensité modérée.

Au cours de ce scénario, le vent provient essentiellement de l'E et de l'ESE. Il a une vitesse moyenne de 5,8 m/s et maximale de 8,5 m/s.

Les courants s'inversent régulièrement dans le canal d'Anguilla au cours de ce scénario.

Dans la baie de Marigot, les courants sont faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, le courant dans la colonne d'eau porte vers le NO, avec des vitesses modérées : 6 cm/s en moyenne, 14 cm/s au maximum. En surface les courants portent vers le N/NNO, avec une vitesse moyenne de 13 cm/s et maximale de 31 cm/s.

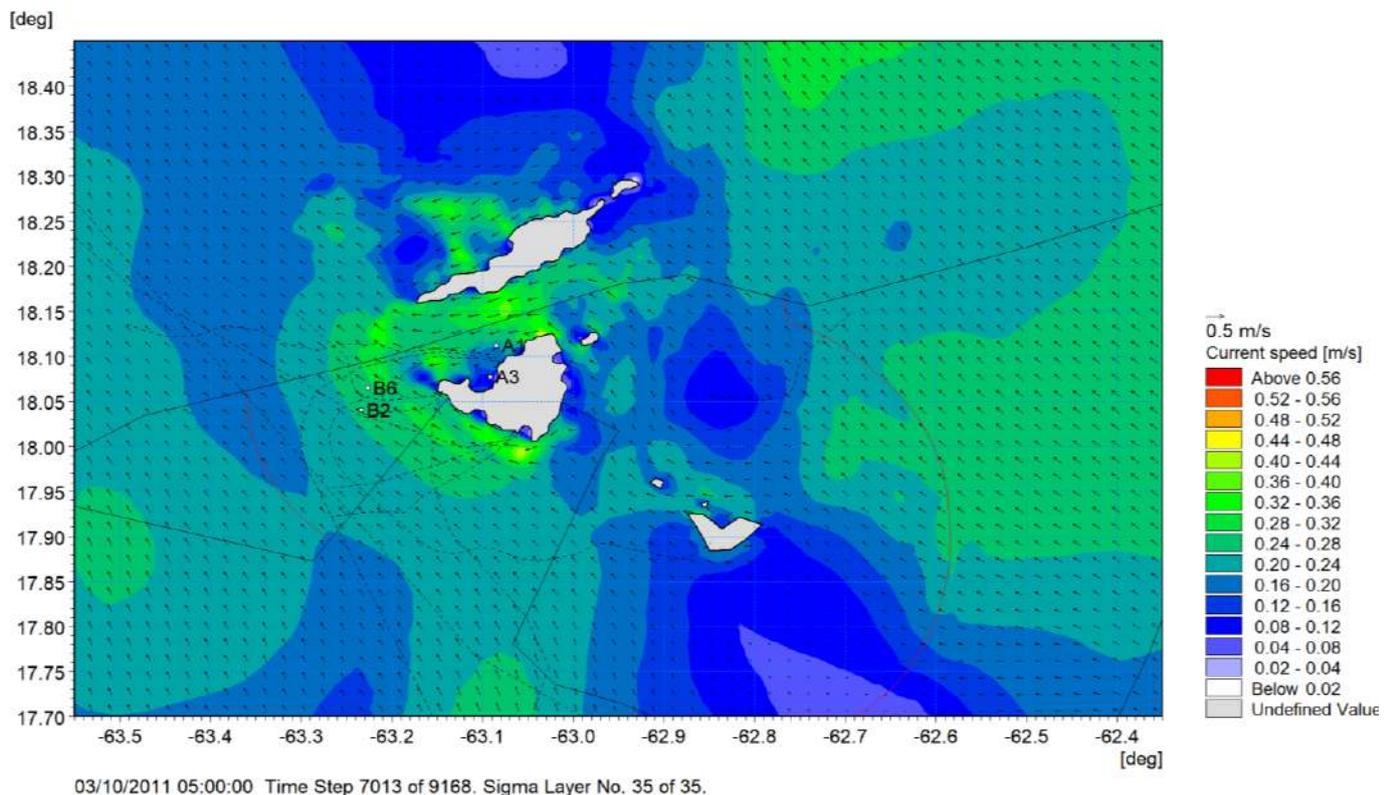


Figure 2-6 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 4.

Scénario 5 [2%]

Le scénario 5 s'étend du 25 février 2018 au 12 mars 2018. Il s'agit d'un scénario de « Northers » avec une rotation des vents tout au long du scénario : d'abord du nord-est, ils tournent pour venir de l'est, puis s'inversent et viennent de l'ouest, puis du nord et enfin de l'est jusqu'à la fin du scénario. La vitesse moyenne du vent est de 5,9 m/s et sa vitesse maximale de 9,2 m/s.

Au cours de ce scénario, les courants dans le canal d'Anguille s'inversent, mais portent majoritairement (en fréquence comme en vitesse) vers l'OSO.

Dans la baie de Marigot, les courants sont faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, les courants portent vers le NO. Dans la colonne d'eau, la vitesse de courant moyenne est de 10 cm/s, la vitesse maximale est de 22 cm/s. En surface la vitesse moyenne est également de 10 cm/s, et la vitesse maximale est de 26 m/s. Dans ce scénario les courants les plus forts sont rencontrés dans la colonne d'eau (de -400 m à la surface), sur quelques jours en milieu de scénario.

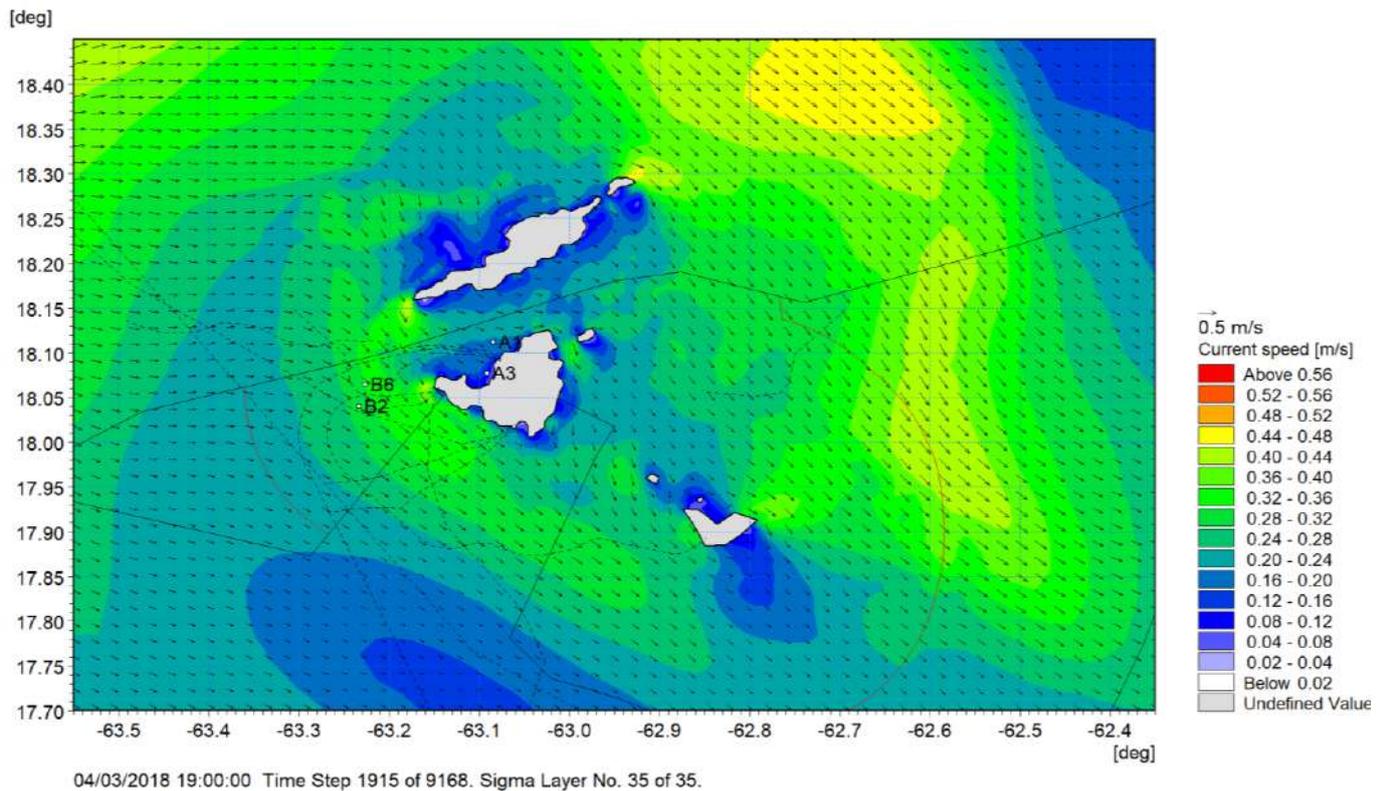


Figure 2-7 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 5.

Scénario 6 [2%]

Le scénario 6 s'étend du 18 novembre 2019 au 3 décembre 2019.

Il s'agit d'un scénario de « Northers » avec une rotation des vents tout au long du scénario : d'abord de l'est, ils s'inversent pour venir de l'ouest, puis du nord, et de l'est de nouveau. La vitesse moyenne du vent est de 4,7 m/s et sa vitesse maximale de 8,3 m/s.

Au cours de ce scénario, les courants dans le canal d'Anguille s'inversent régulièrement au cours du scénario. Ils portent toujours majoritairement vers l'OSO.

Dans la baie de Marigot, les courants sont très faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, les courants portent vers le NO. Dans la colonne d'eau, la vitesse de courant moyenne est de 10 cm/s, la vitesse maximale est de 22 cm/s. En surface, la vitesse moyenne est de 16 cm/s, et la vitesse maximale est de 42 cm/s. Dans ce scénario les courants les plus forts sont rencontrés dans la colonne d'eau (de -400 m à la surface), sur quelques jours au cours de la première moitié du scénario.

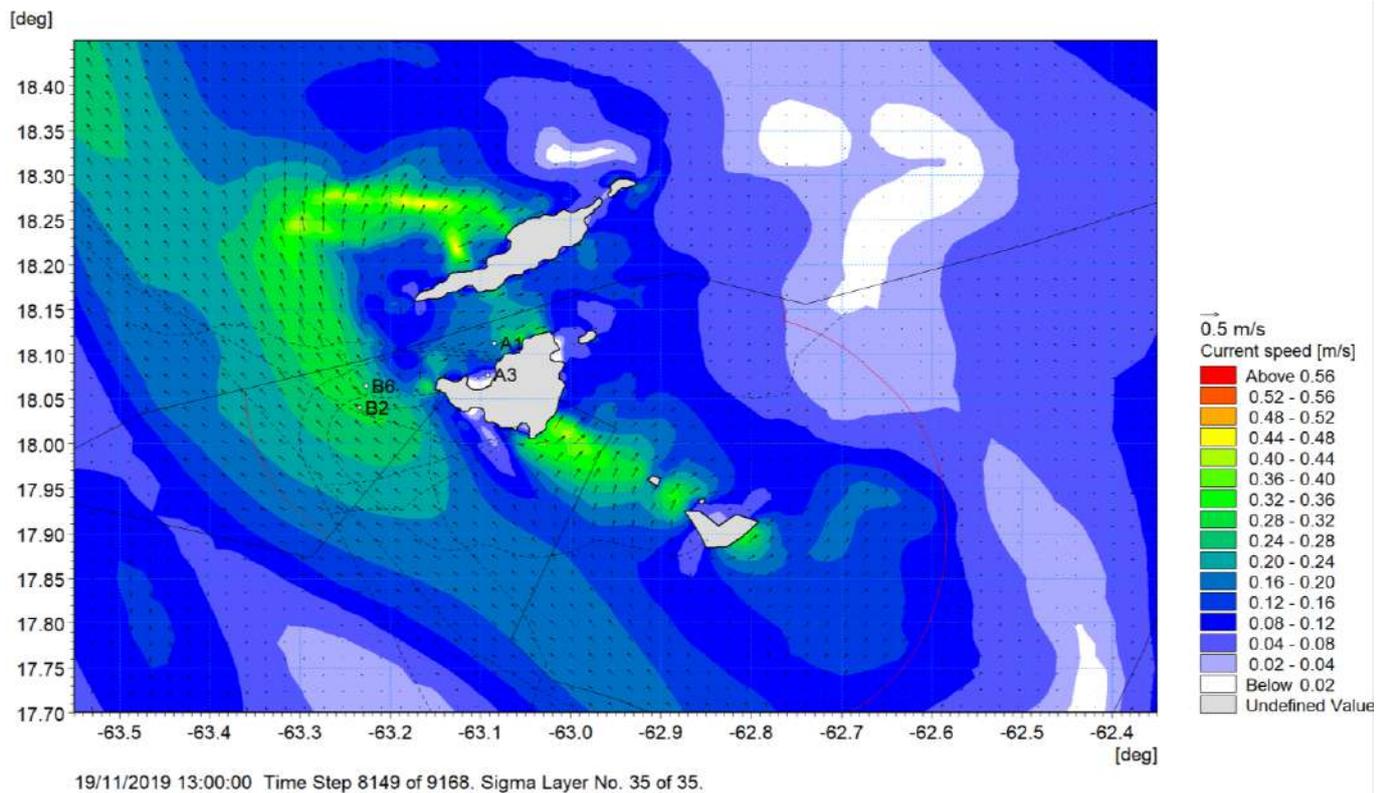


Figure 2-8 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 6.

Scénario 7 [15%]

Le scénario 7 s'étend du 28 mai 2019 au 12 juin 2019. Il s'agit d'un scénario de circulation générale vers le sud-est.

Au cours de ce scénario, le vent provient de l'E ou de l'ESE. Il a une vitesse moyenne de 6,1 m/s et maximale de 10,7 m/s.

Les courants s'inversent régulièrement dans le canal d'Anguilla au cours de ce scénario. En surface la composante des courants vers le NE est presque aussi importante que vers l'OSO. Dans la colonne d'eau, le courant porte plus essentiellement vers le NE.

Dans la baie de Marigot, les courants sont faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, les courants dans la colonne d'eau portent vers le SE avec une vitesse moyenne de 5 cm/s et une vitesse maximale de 16 cm/s. Les courants en surface portent vers le SE à l'E avec une vitesse moyenne de 16 cm/s et une vitesse maximale de 31 cm/s.

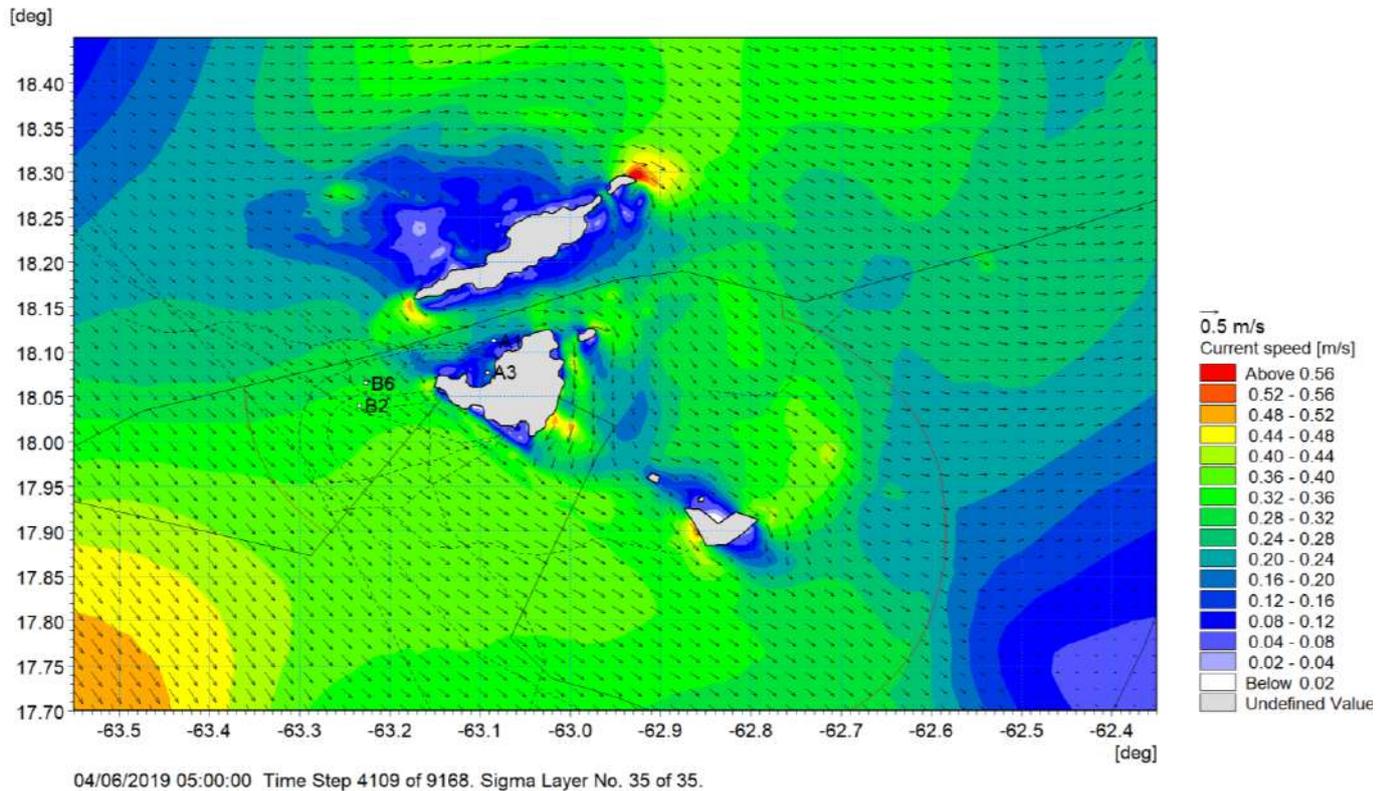


Figure 2-9 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 7.

Scénario 8 [0.1%]

Le scénario 8 s'étend du 18 mai 2018 au 02 juin 2018. Il s'agit d'un scénario de tempête tropicale en mer des Caraïbes.

Au cours de ce scénario, le vent provient très majoritairement de l'E, avec une vitesse moyenne de 7,3 m/s et maximale de 11,1 m/s.

Au cours de ce scénario les courants dans le canal d'Anguilla portent très largement vers l'OSO.

Dans la baie de Marigot, les courants sont faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, les courants dans la colonne d'eau portent vers le NO avec une vitesse moyenne de 21 cm/s et une vitesse maximale de 52 cm/s. Les courants en surface portent vers le NNO avec une vitesse moyenne de 25 cm/s et une vitesse maximale de 76 cm/s.

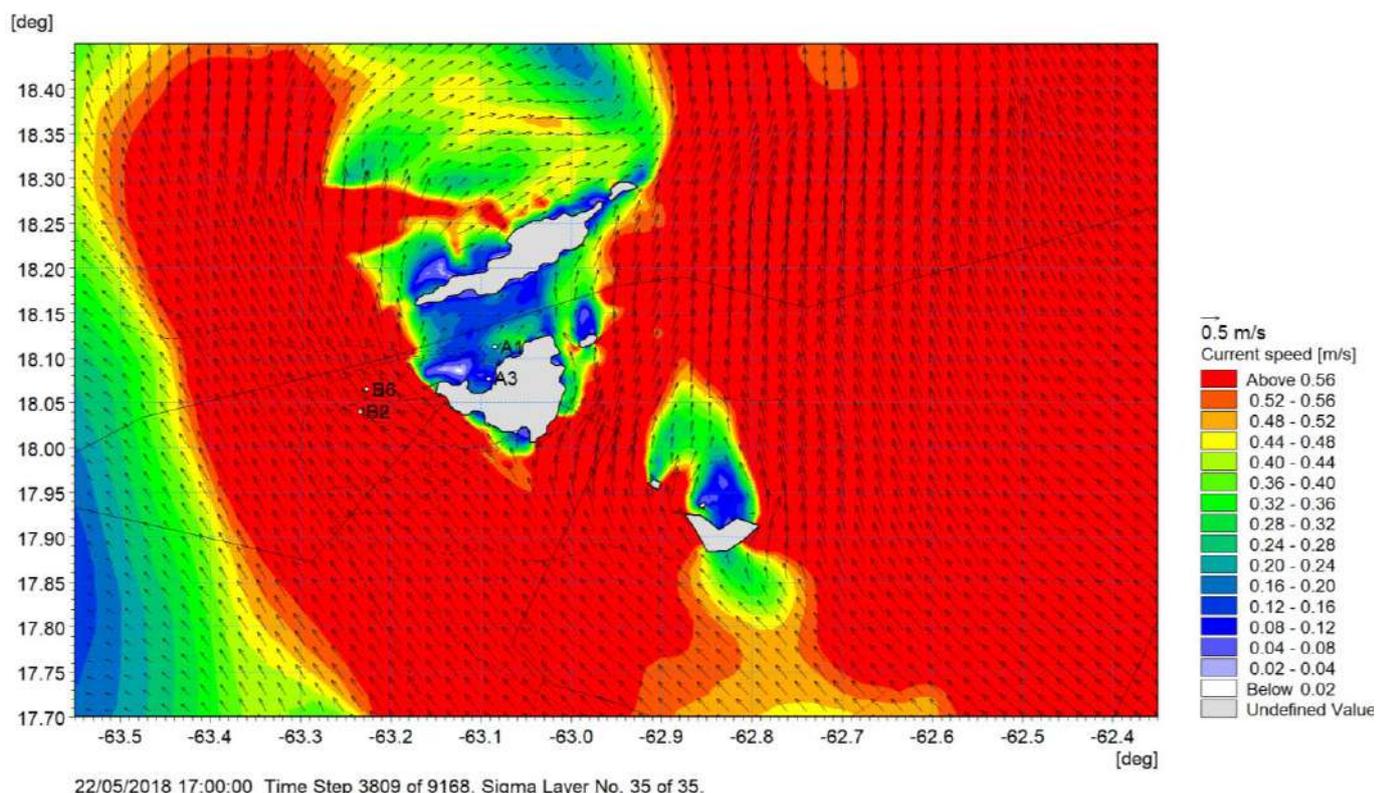


Figure 2-10 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 8.

Scénario 9 [28%]

Le scénario 9 s'étend du 3 novembre 2019 au 18 novembre 2019.

Il s'agit d'un scénario de courants forts vers le NO dans toute la colonne d'eau, typique de fin d'année, et associé à une variation de la température et de la salinité jusqu'au fond de la colonne d'eau.

Au cours de ce scénario, le vent provient principalement de l'E mais aussi du NO en fin de scénario. Il a une vitesse moyenne de 6,5 m/s et maximale de 10,3 m/s.

Au cours de ce scénario les courants dans le canal d'Anguilla portent très largement vers l'OSO.

Dans la baie de Marigot, les courants sont faibles et portent vers le SO en surface et vers le SSO dans la colonne d'eau.

Au niveau des sites d'immersion identifiés, en particulier en B2, les courants dans la colonne d'eau portent vers le NO avec une vitesse moyenne de 14 cm/s et une vitesse maximale de 25 cm/s. Les courants en surface portent vers le NNO avec une vitesse moyenne de 20 cm/s et une vitesse maximale de 43 cm/s.

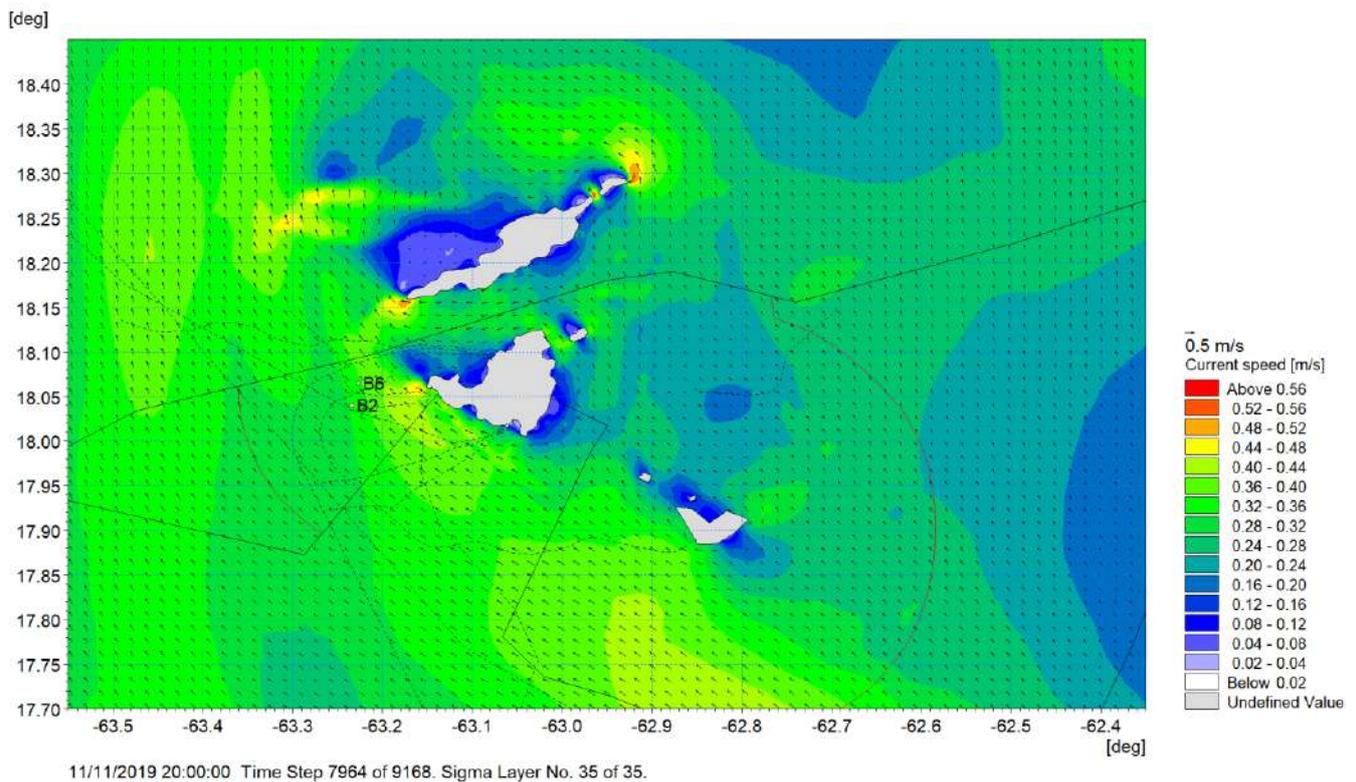


Figure 2-11 : Exemple de champs des courants en surface au cours du scénario 9.

Scénario long (1.5 mois)

Le scénario "long" s'étend du 10 février 2018 au 27 mars 2018.

Il consiste en la succession des scénarios 1, 5 et 3 : les conditions usuelles d'Alizés sont suivies d'un événement de Northers puis des vents d'est-sud-est s'établissent avec une circulation générale du sud-est intensifiée.

Ce scénario permet ainsi de considérer des conditions pessimistes de possible dispersion vers le nord-ouest des panaches turbides induits par les clapages au large.

3 Méthodologie et hypothèses pour la modélisation des opérations de clapages

3.1 Le modèle hydrodynamique

Les modélisations hydrodynamiques 3D ont été réalisées pour chaque scénario de 15 jours et pour la simulation d'1.5mois, en maintenant la configuration du modèle MIKE 3D établie en Phase 2A (Réf. /1/).

Cependant, dans le cadre de la Phase 2C, qui s'intéresse à la modélisation de la dispersion des panaches turbides, le maillage a été affiné localement sur les zones d'immersion potentielles B2 et B6 (situés dans le canyon à l'ouest de Saint-Martin, par 600 m de profondeur), pour atteindre une taille de maille horizontale de l'ordre de 50 m.

La résolution verticale n'a pas été modifiée pour ne pas augmenter les temps de calcul, elle pourra être affinée dans le cadre de la Phase 5. La bathymétrie locale sera alors également prise en compte.

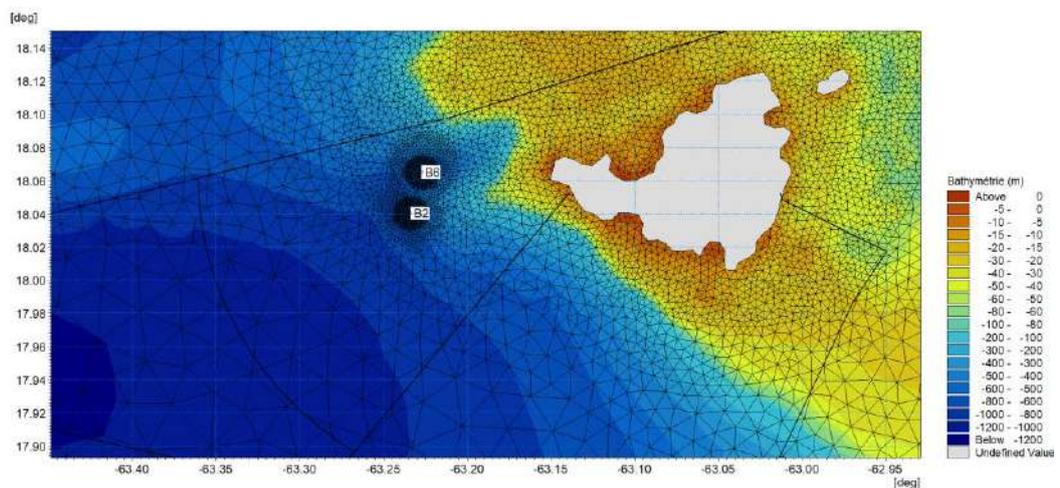


Figure 3-1 : Maillage et bathymétrie interpolée sur les sites d'immersion B2 et B6 étudiés en Phase 2C.

3.2 Le modèle de dispersion des panaches turbides

Le module de transport des sédiments fins MT (Mud Transport) a été couplé au module hydrodynamique HD3D pour simuler la dispersion des panaches turbides générés lors des opérations de clapages en mer des sédiments dragués du port de commerce de Galisbay.

Ce module permet de prendre en compte les processus de transport dans la colonne d'eau (avec vitesse de chute constante ou avec floculation) et les processus d'érosion-dépôt sous l'action des courants et des vagues. Plusieurs fractions de sédiment peuvent être prises en compte si cela s'avère pertinent.

Le module de transport des sédiments fins (MT : Mud Transport) :

Le module MT permet de simuler la dynamique de sédiments fins (vases à sables fins), qui se fait principalement en suspension dans la colonne d'eau. Le modèle peut gérer plusieurs classes de particules et plusieurs couches de sédiments sur le fond. Les processus pris en compte sont :

- *le transport par les courants des particules présentes dans la colonne d'eau ;*
- *la chute des particules dans la colonne d'eau, avec ou sans floculation (agrégation des particules) ;*
- *le dépôt des particules sur le fond sédimentaire ;*
- *l'érosion des sédiments par les courants et les houles ;*
- *la consolidation des sédiments multicouches (par l'intermédiaire de flux de transferts entre les couches).*

Le module MT permet ainsi de reproduire la dynamique des sédiments fins sous l'action des courants et des vagues dans un secteur côtier ou portuaire. Il est aussi très utilisé pour simuler la dispersion des rejets de dragages et leur reprise éventuelle par les courants et les vagues.

*DHI a développé un module spécifique de rejets de dragages (**Dredging**), permettant de reproduire précisément les trajets des opérations de dragages et la libération de panaches dans la colonne d'eau, en surface ou au fond.*

*DHI a également développé un module spécifique de rejets de clapages (**Disposal**), consistant en une approche couplée champ proche/champ lointain permettant de reproduire précisément la dynamique du panache sédimentaire lors du clapage (descente convective, impact et étalement sur le fond, dispersion passive).*

L'ensemble des modélisations a été réalisé à partir de la version des logiciels MIKE la plus récente disponible au moment de l'étude, à savoir MIKE 2021.1.

3.3 Description générale de la modélisation des clapages

Le comportement d'une masse de sédiment clapé en mer peut être séparé en trois phases :

- La **chute convective** (« *convective descent* ») dans la colonne d'eau, au cours de laquelle la masse de sédiment chute sous l'effet de la gravité (Figure 3-2),
- L'**impact et l'étalement sur le fond** (« *bottom collapse* »), lorsque le panache de sédiment atteint le fond (Figure 3-3),
- La **dispersion passive** du panache turbide.

Les deux premières phases sont des processus de « champ proche », où la dynamique et l'énergie du panache contrôlent son comportement.

La dernière phase est un processus de « champ lointain », où le transport et la dispersion du matériau sont contrôlés par les courants ambiants et la turbulence.

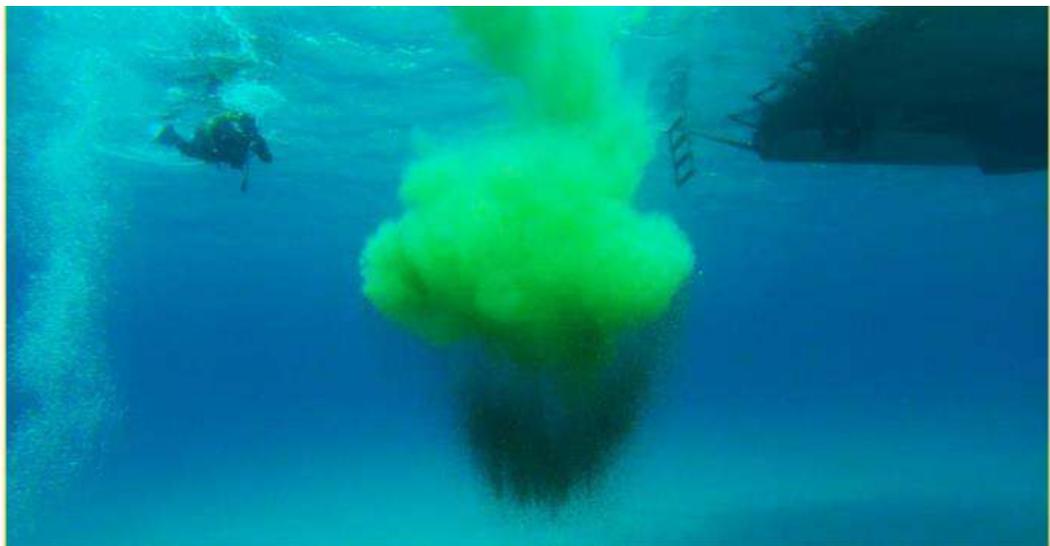


Figure 3-2 : Chute convective d'une masse de sédiment clapé. Jensen et al. (2014).

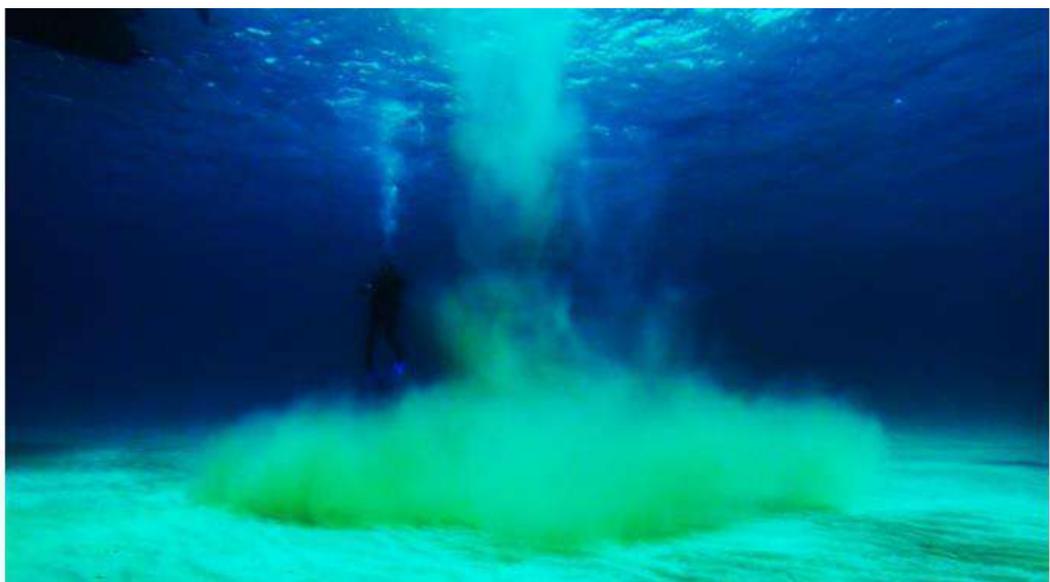


Figure 3-3 : Etalement sur le fond d'un panache de sédiment. Jensen et al. (2014).

A l'aide du module « Disposal » de MIKE 3 FM, une approche couplée champ proche / champ lointain est utilisée pour modéliser ces processus.

Les phases de champ proche sont d'abord calculées par un modèle sous-maille permettant de reproduire les fortes vitesses verticales et les vitesses radiales sur le fond après l'impact. Les sédiments libérés lors de la chute convective et lors de l'étalement sur le fond sont insérés dans la colonne d'eau du modèle MIKE 3 (champ lointain). Si plusieurs fractions sédimentaires de tailles différentes sont modélisées, les fractions les plus lourdes, dont la vitesse de chute individuelle dépasse la vitesse de chute de la masse sédimentaire, sont insérés directement dans la couche de fond du modèle MIKE 3. Lorsque le panache sédimentaire atteint le fond, les sédiments sont également déposés dans le modèle MIKE 3, en fonction de la vitesse de chute du panache et de la contrainte critique de dépôt de la fraction sédimentaire modélisée.

Lorsque le panache devient passif, soit dans la colonne d'eau (par exemple, si la densité du panache devient égale ou inférieure à la densité ambiante) soit après avoir atteint le fond (par exemple, lorsque la vitesse du panache au fond devient proche de la vitesse de l'écoulement ambiant), le panache passif est inséré dans la colonne d'eau du modèle MIKE 3 avec les caractéristiques de profondeur d'équilibre atteinte, taille et concentration du panache calculées par le modèle de champ proche.

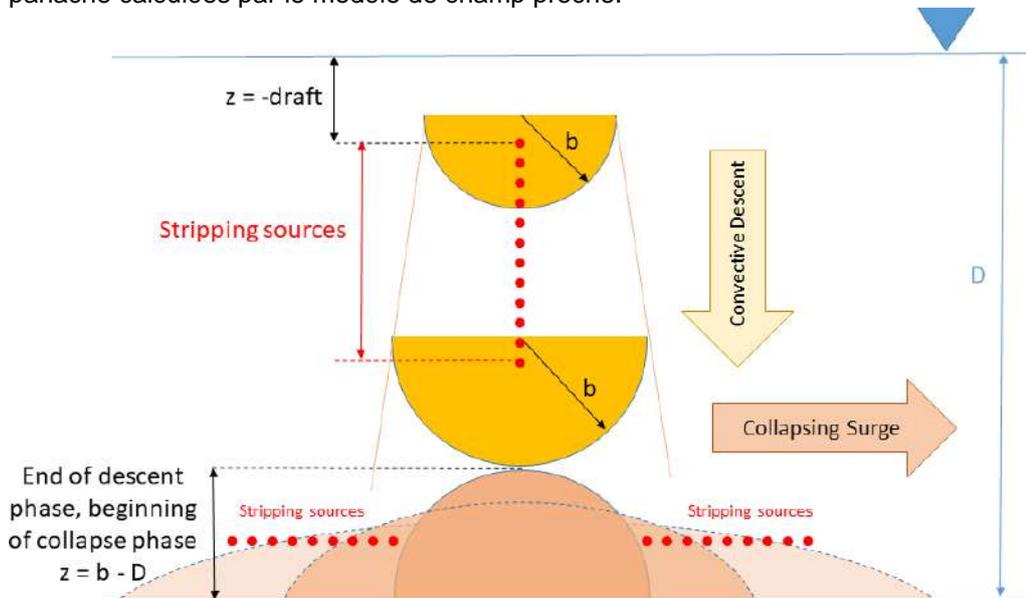


Figure 3-4 : Schéma de principe du modèle de champ proche.

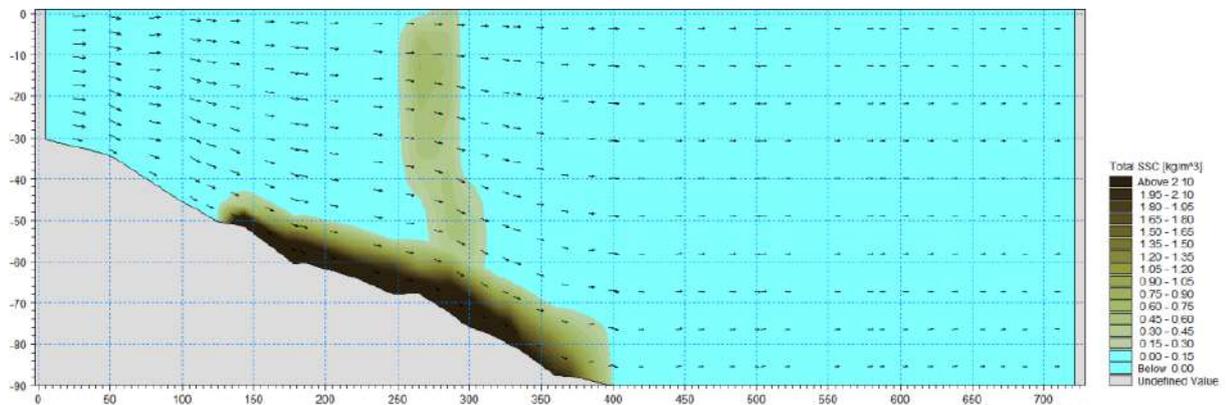


Figure 3-5 : Exemple de résultat obtenu à l'aide du module « Disposal » de MIKE 3 FM. Les sédiments libérés lors de la chute sont placés dans la colonne d'eau, le panache devenu passif est inséré au-dessus du fond.

3.4 Caractéristiques des matériaux en présence

Les fonds marins qui seront dragués dans le cadre du projet d'extension du port de Galisbay se constituent de trois grands types de matériaux principaux :

- du sable, qui sera valorisé dans le terre-plein ;
- de l'argile, qui sera clapée en mer ($103\ 000\ m^3$) ;
- du calcaire, dont une partie sera clapée en mer (à hauteur de $78\ 500\ m^3$).

La Figure 3-8 présente les plans des reconnaissances géotechniques réalisées dans le cadre de ce projet en 2016 (Réf. /3/). Les coupes schématiques de la nature du sol et les photos des matériaux, issues des carottages sont présentées de la Figure 3-9 à la Figure 3-15 pour les stations Ca3 (futur quai commercial), Ca5 (cercle d'évitage) et Ca6 (futur chenal).

Les carottes montrent la présence de dépôts marins sableux sur les premiers mètres de la couche de fond, puis en-dessous de cette couche, soit des argiles de démantèlement (Ca3 et Ca5), soit des calcaires coralliens (Ca6). La profondeur de dragage prévue dans les chenaux et le cercle d'évitage du projet est de -9,0 m CM. En fonction du point, les argiles ou les calcaires peuvent être atteints à cette profondeur. Sur la carotte Ca6, la couche de calcaire est située en dessous de la côte de dragage. La zone d'affleurement à -9mCM a été détectée dans le secteur du SPT2 lors des campagnes géophysiques historiques.

Ces deux matériaux, argiles et calcaires, seront fragmentés en plusieurs fractions sédimentaires (de très fines à très grossières) au cours des opérations de dragages. Comme il est envisagé un dragage mécanique, les argiles indurées resteront en grande partie sous forme d'amas denses lors des opérations de dragage et de clapage, mais avec une désagrégation d'une partie avec libération de particules fines, qui est estimée par DHI à 20% dans la barge et 10% au cours de la chute convective (expérience interne sur d'autres projets).

Les calcaires coralliens quant à eux possèdent des propriétés particulières de réhydratation au contact de l'eau, ce qui va générer une mixture de particules blanches très fines lors des opérations de dragage. Ce phénomène a notamment été observé lors des dragages du Grand Port Maritime de Guadeloupe. Le retour de l'entreprise de dragage Jan De Nul fait état d'une libération de particules très fines de $10\ \mu m$ de 10% (dragage mécanique) à 30% (déroctage), ayant la spécificité de ne pas flocculer et pouvant donc se disperser très loin. Des incertitudes persistent sur le comportement des matériaux en fonction de la technique de dragage utilisée et très peu d'information existe sur le comportement de tels sédiments lors des clapages en mer. Il est cependant attendu une fragmentation certaine lors du dragage et une libération de fines par réhydratation dans la barge et lors de la chute convective lors du clapage.

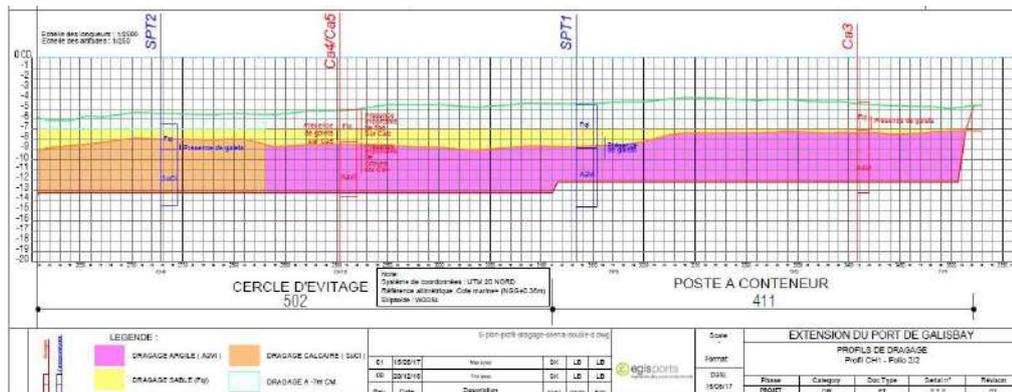


Figure 3-6 : Profils de dragage dans la zone du cercle d'évitage (Réf. /4/)



Figure 3-7 : Photo sous-marine de l’affleurement de blocs de calcaires coralliens au nord-ouest du port de Galisbay, banc de la Médée (photo GAIA).

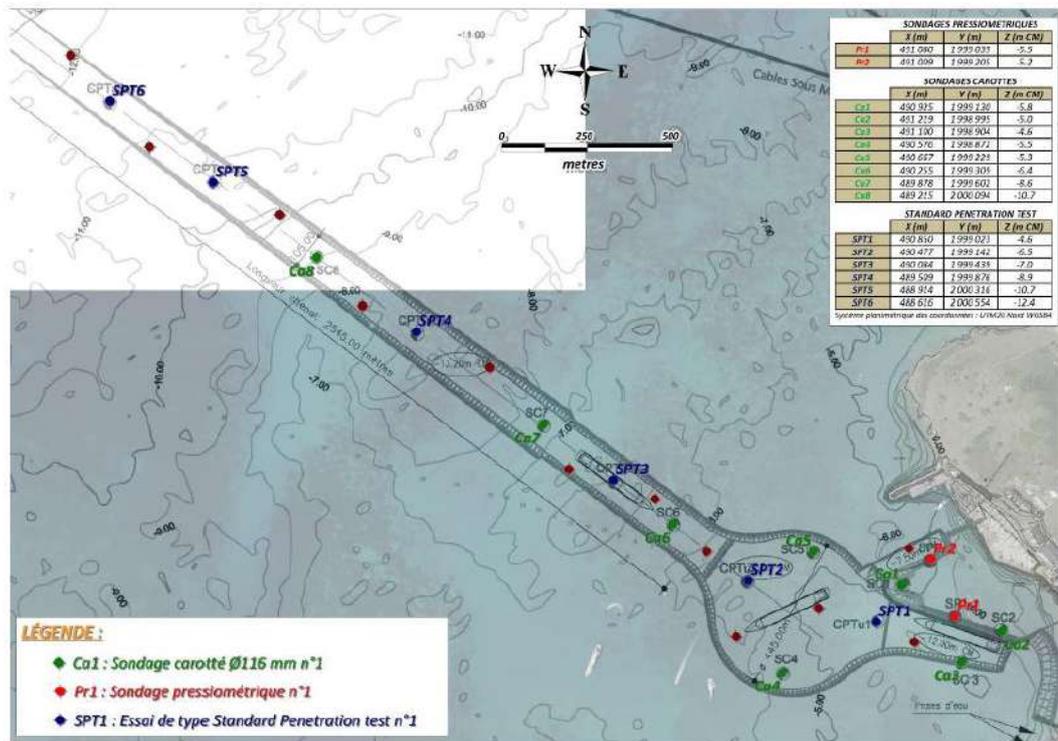


Figure 3-8 : Plan d’implantation des reconnaissances géotechniques de 2016 (Réf. /3/).

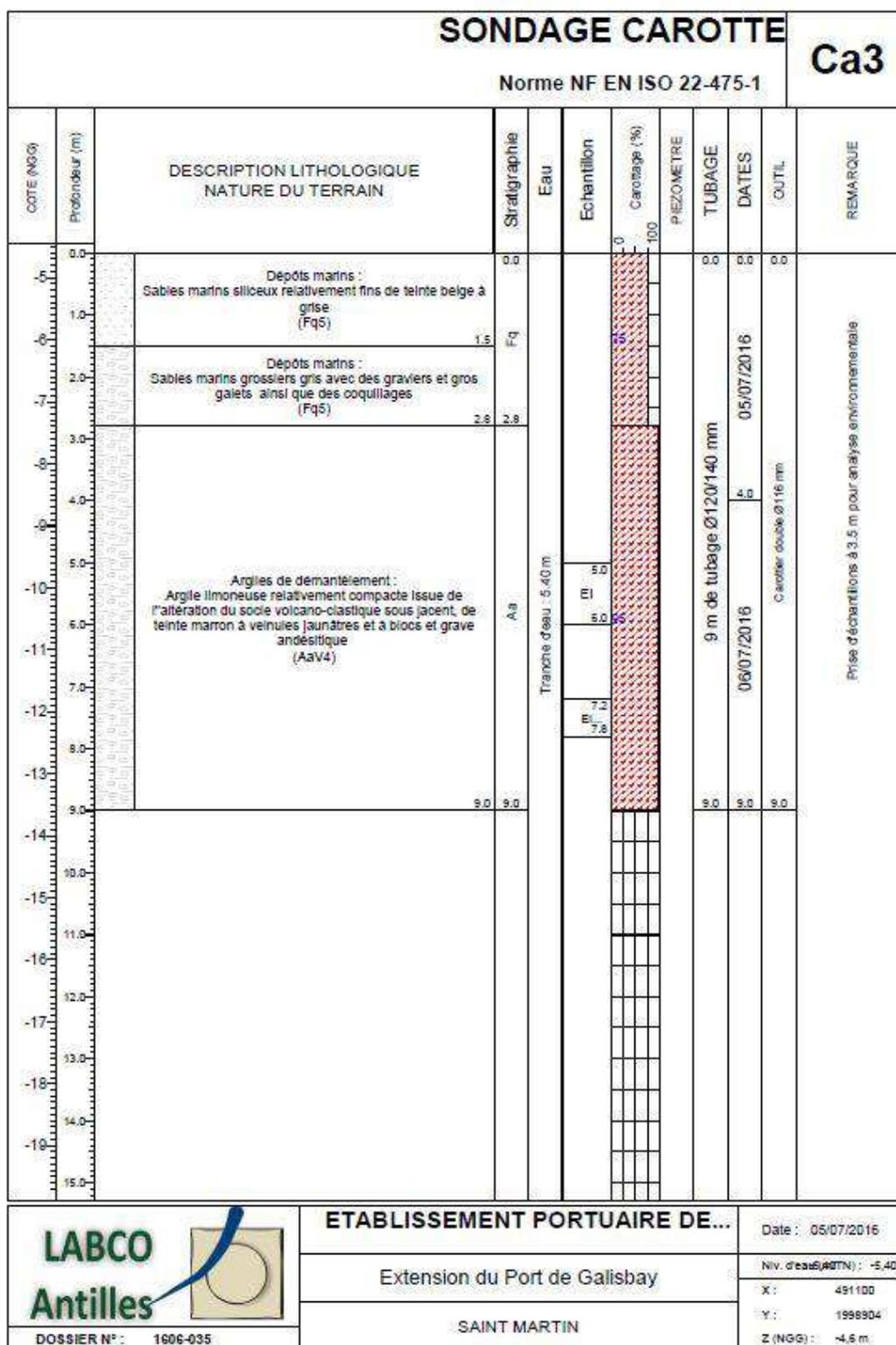


Figure 3-9 : Coupe schématique du terrain obtenue par sondage carotté au point Ca3 (Réf. /3/).



Figure 3-10 : Photographie des sables marins superficiels présents dans les échantillons du sondage carotté de 0 à 3m (soit de -4.5 à -7.5 m NGG) au point Ca3 (Réf. /3/).



Figure 3-11 : Photographie des argiles indurées présentes dans les échantillons du sondage carotté de 3 à 6m (soit de -7.5 à -10.5 m NGG) au point Ca3 (Réf. /3/).

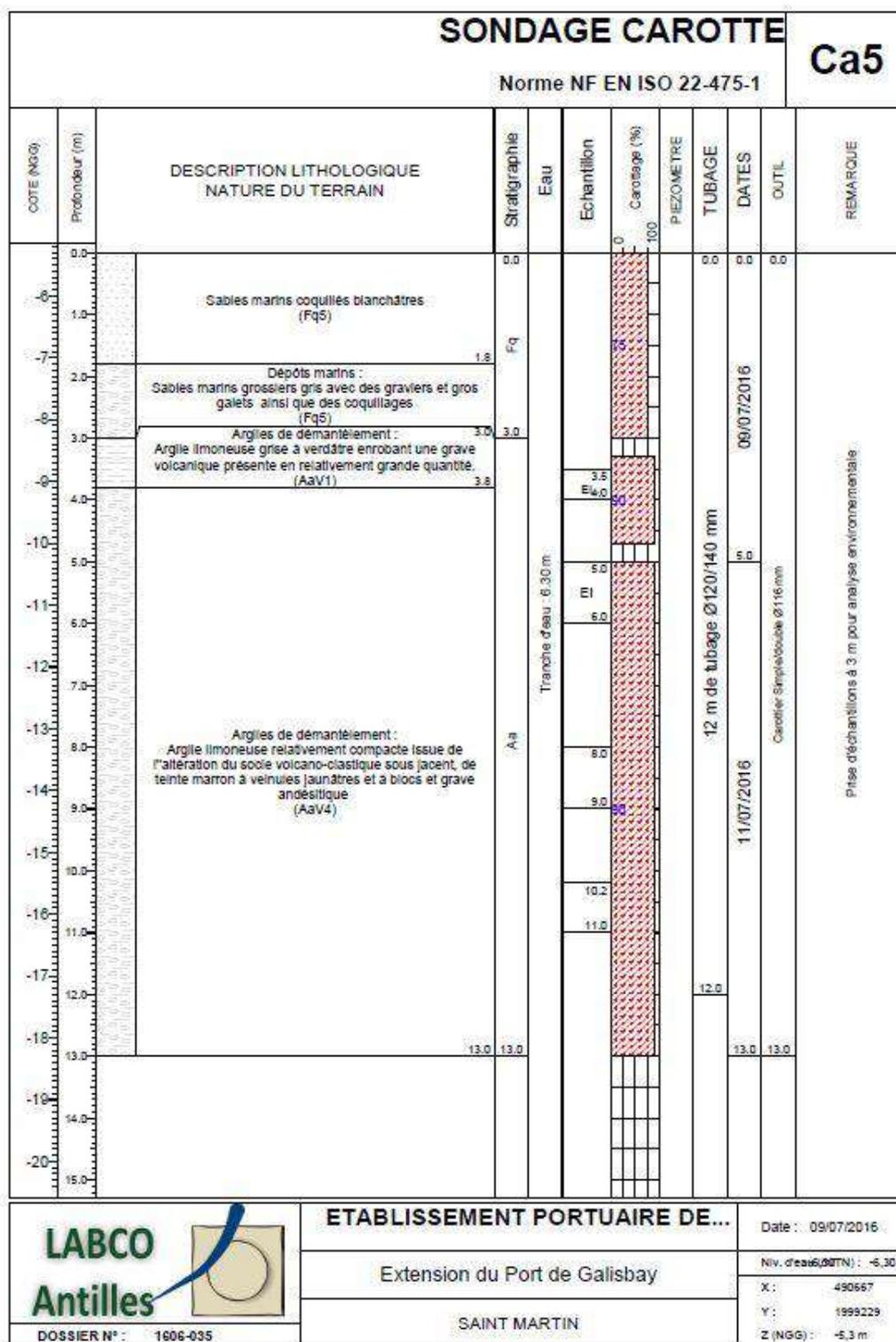


Figure 3-12 : Coupe schématique du terrain obtenue par sondage carotté au point Ca5 (Réf. /3/).

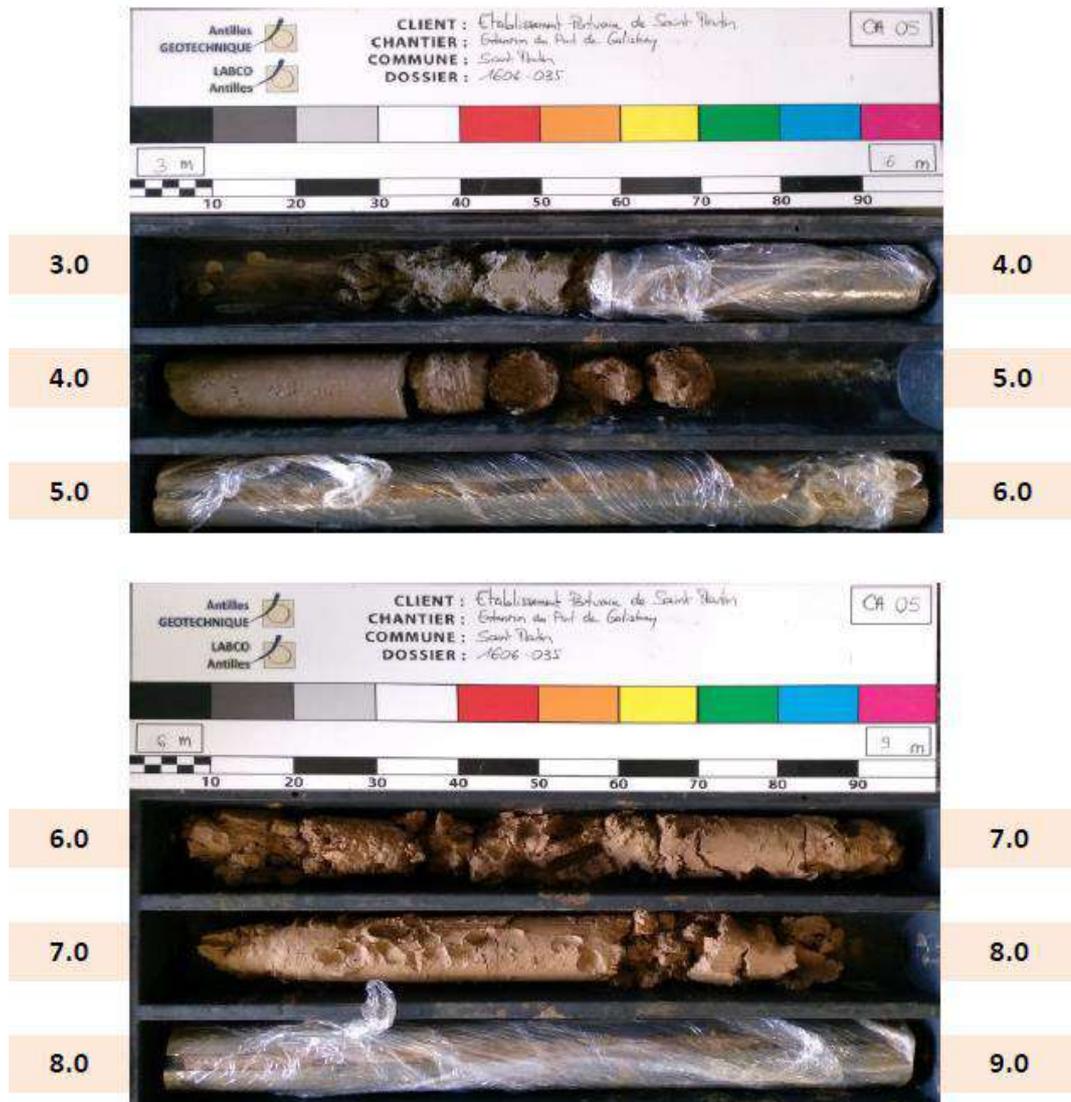


Figure 3-13 : Photographie des argiles indurées présentes dans les échantillons du sondage carotté de 3 m à 9 m (soit de -8.3 à -14.3 m NGG) au point Ca5 (argiles AaV1 de 3 à 3.8m et argiles AaV4 au-delà de 4m), Réf. /3/.

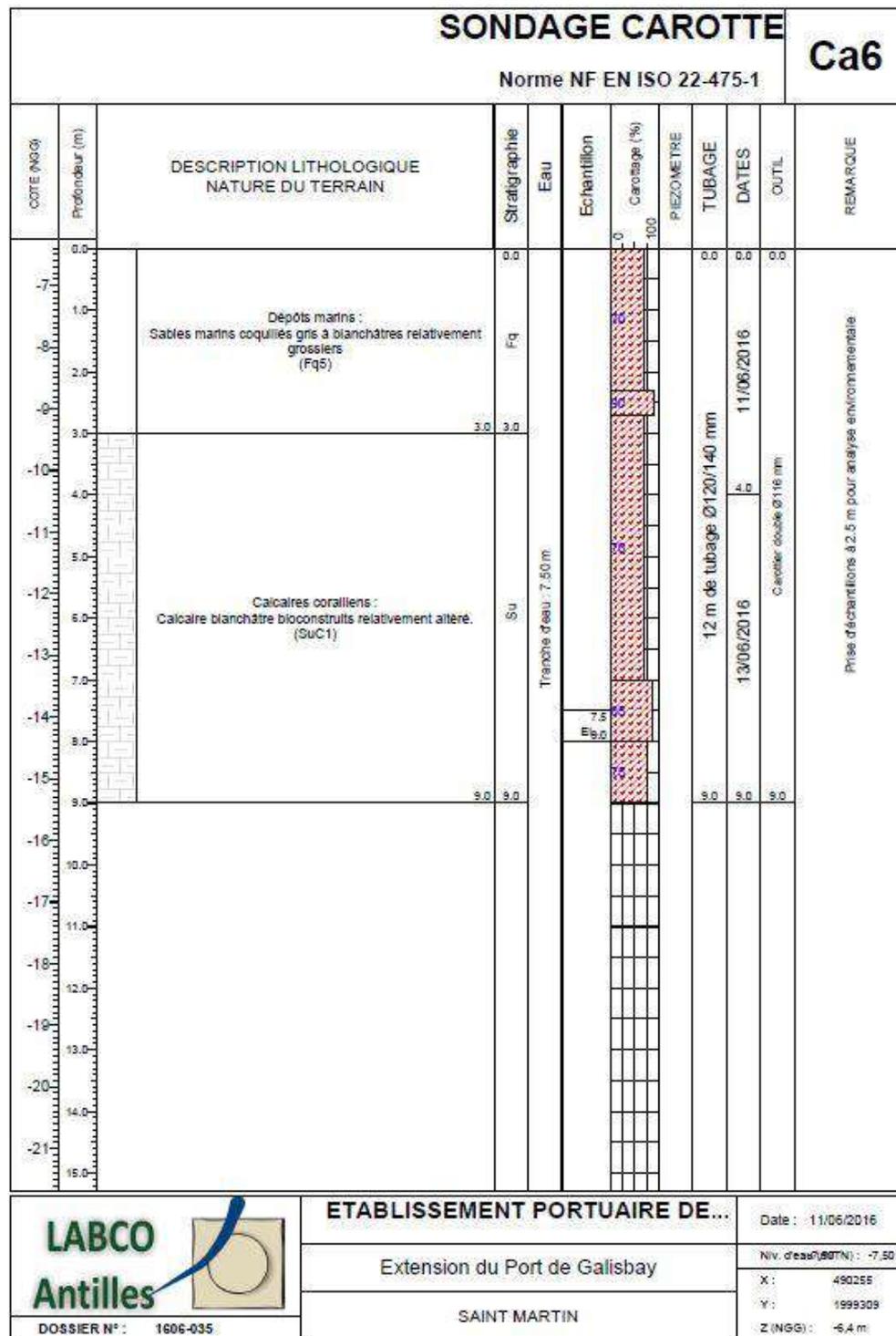


Figure 3-14 : Coupe schématique du terrain obtenue par sondage carotté au point Ca6 (Réf. /3).

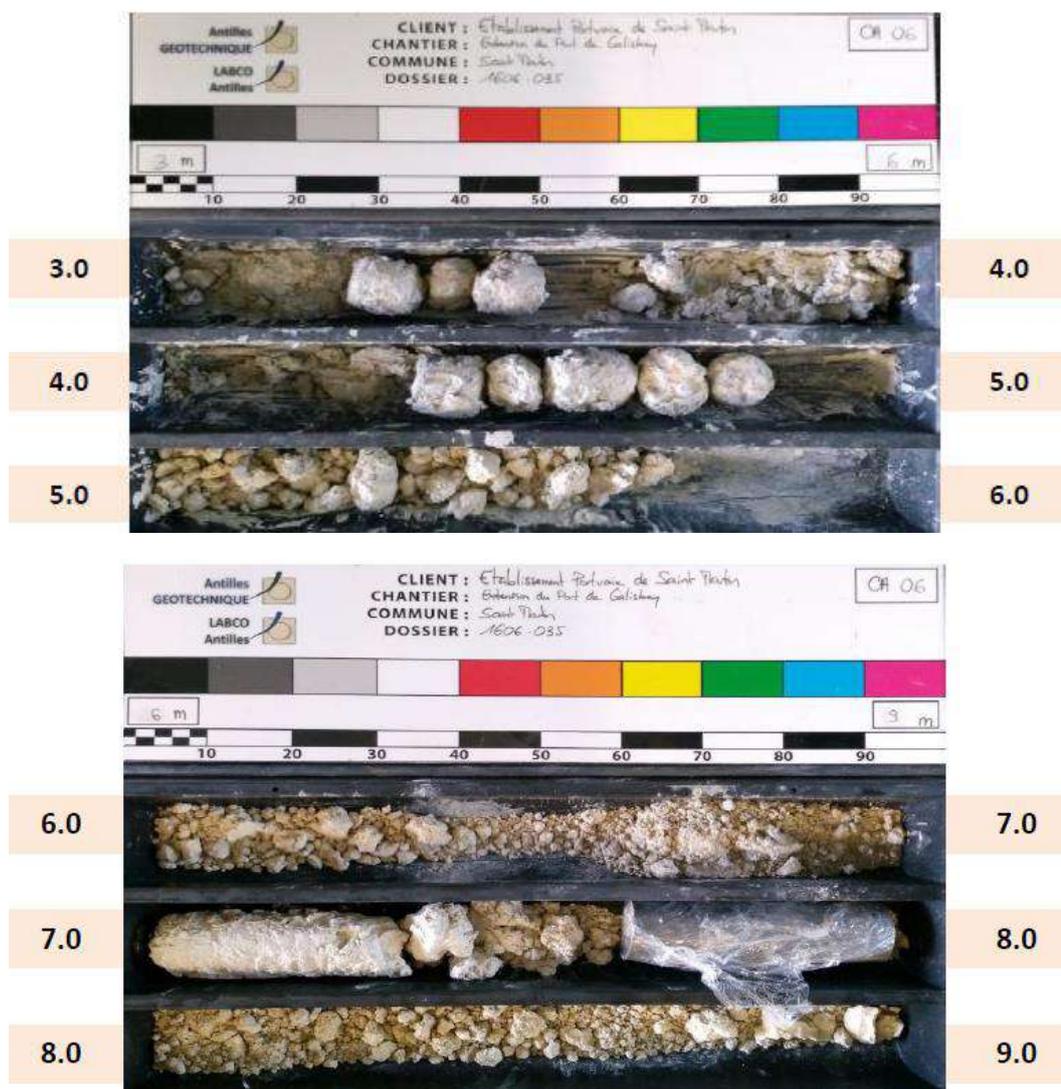


Figure 3-15 : Photographie des calcaires (SuC1) présents dans les échantillons du sondage carotté de 3 m à 9 m (soit de -9.4 à -15.4 m NGG) au point Ca6 (Réf. /3/).

3.5 Paramétrisation du modèle de transport des sédiments fins

3.5.1 Granulométrie et vitesse de chute

Le modèle considère six classes de sédiments fins, afin de bien représenter la dynamique de toute la gamme des tailles de matériaux clapés, de la mixture de fines générée lors du dragage des calcaires jusqu'aux amas grossiers de calcaires et d'argiles.

Des vitesses de chute adaptées ont été paramétrées pour chacune de ces classes (Tableau 3.1).

La floculation est prise en compte pour les fractions les plus fines : les vitesses de chute sont plus fortes pour les fortes concentrations (Figure 3-16). Pour les fractions les plus grossières, la vitesse de chute des particules est considérée constante, indépendante de la concentration en suspension.

La paramétrisation des vitesses de chute des matériaux calcaires a fait l'objet d'un test de sensibilité (cf. Section 3.5.6.), notamment en considérant l'absence de floculation évoquée Section 3.4.

Tableau 3.1 : Vitesses de chute des fractions sédimentaires modélisées.

Fractions sédimentaires	Granulométrie équivalente	Vitesse de chute
Flocs fins	10 μm	min : 0.003 mm/s max : 3.02 mm/s
Flocs moyens	40 μm	min : 0.167 mm/S max : 10.56 mm/s
Flocs grossiers	80 μm	min : 2.36 mm/s max : 18.75 mm/s
« Sables » fins	140 μm	constante : 1,7 cm/s
« Sables » grossiers	500 μm	constante : 0,5 m/s
Amas denses (« clumps »)	1100 μm	constante : 1,075 m/s

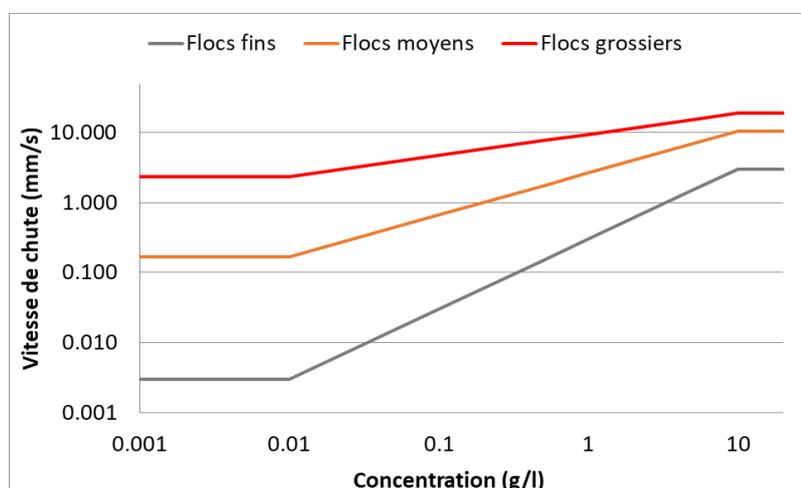


Figure 3-16 : Vitesse de chute en fonction de la concentration de matière en suspension pour les flocs fins à grossiers.

3.5.2 Distribution des fractions sédimentaires

La répartition des fractions sédimentaires considérées pour chacun des deux matériaux lors des modélisations des clapages est donnée dans le Tableau 3.2. Elle repose sur l'analyse des caractéristiques des matériaux en présence, détaillées en Section 3.4.

Tableau 3.2 : Répartitions des fractions sédimentaires considérées dans les modélisations pour les deux matériaux clapés

	Solid content	Fraction 10 µm	Fraction 40 µm	Fraction 80 µm	Fraction 140 µm	Fraction 500 µm	Amas denses/blocs
Argiles indurées	59%	10%	10%	5%	5%	5%	65%
Calcaires coralliens	64%	20%	15%	10%	10%	20%	25%

Des tests de sensibilité ont été réalisés sur la distribution des calcaires (cf. voir Section 3.5.6), notamment en augmentant la part des blocs de grande taille.

3.5.3 Lois d'érosion et de dépôt

La loi d'érosion de Parthéniades est considérée avec une constante d'érosion de $5 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s/m}^2$.

La loi de dépôt est celle de Krone.

Les contraintes critiques d'érosion et de dépôts sont prises égales respectivement à 0,1 et 0,07 N/m², correspondant à des sédiments vaseux peu consolidés facilement remobilisables.

La rugosité du fond est prise égale à 1 mm.

3.5.4 Densité des dépôts

Le modèle sédimentaire est paramétré ici avec une seule couche sédimentaire de faible densité (180 kg/m³) représentant les dépôts frais très peu consolidés. En condition initiale, il n'y a pas de sédiment dans le modèle, la couche sédimentaire apparaît sur le domaine en fonction des dépôts issus des panaches turbides générés par les opérations de clapage.

Tableau 3.3 : Densité sèche des fractions sédimentaires modélisées.

Fractions sédimentaires	Granulométrie équivalente	Densité sèche (pour le dépôt)
Flocs fins	10 µm	180 kg/m ³
Flocs moyens	40 µm	180 kg/m ³
Flocs grossiers	80 µm	180 kg/m ³
« Sables » fins	140 µm	1000 kg/m ³
« Sables » grossiers	500 µm	1000 kg/m ³
Amas denses (« clumps »)	1100 µm	Argiles : 1400 kg/m ³ Calcaires : 2200 kg/m ³

3.5.5 Volumes à claper et cadences des opérations

Au total, 103 000 m³ d'argiles ainsi que 78 500 m³ de calcaires sont à claper au large.

Les cadences et rendement des opérations modélisées ont été déterminées à partir des informations issues de l'AVP de SETEC de juillet 2021 (Réf. /5/) et d'échanges complémentaires par email avec SETEC.

Les barges ont une capacité théorique de 600 m³, mais elles transporteront en réalité environ 420 m³ d'argile et 360 m³ de calcaires par trajet.

Le cycle total d'opérations d'une barge est d'un peu plus de 7h (Tableau 3.4). Dès qu'une barge est chargée et part, la suivante commence à être chargée. Trois barges travailleront ainsi en déphasage.

A ce rythme, il faut environ 27 jours pour claper l'ensemble des argiles et 24 jours pour l'ensemble des calcaires.

Tableau 3.4 : Cycle d'opérations d'une barge.

Opérations	Durée en minutes
Chargement	145
Navigation en charge	135
Déchargement en mer	10
Navigation à vide	135
Amarrage à la drague	5

Il est envisagé à ce stade que les clapages aient lieu sur plusieurs périodes d'une à deux semaines par mois, en alternance avec les dragages des sables superficiels qui seront refoulés dans le terre-plein. Les scénarios courts, d'une durée de 15 jours, considèrent l'hypothèse de 12 jours d'opérations de clapages, suivis de 3 jours sans clapage mais avec la poursuite de la dispersion des panaches turbides en mer.

Le scénario long, d'une durée de 45 jours, considère deux périodes d'opération de 12 jours commençant à un mois d'intervalle.

A ce rythme, un scénario court correspond à respectivement 44% et 50% de la quantité totale d'argiles et de calcaires à claper, et le scénario long correspond à respectivement 88% et 99% des argiles et des calcaires. Le scénario long se rapproche donc d'un scénario de clapage de la quantité totale d'un matériau, en particulier pour les calcaires.

3.5.6 Tests de sensibilité

Les tests de sensibilité des résultats des simulations des clapages des matériaux calcaires décrits ci-après ont été réalisés sur le scénario météo-océanique long. Les tests se sont concentrés sur les matériaux calcaires car il s'agit du matériau pour lequel l'incertitude sur le comportement est la plus grande.

Vitesse de chute constante (pas de floculation)

Un test de sensibilité faisant l'hypothèse de vitesses de chute constantes et non variables avec la concentration de matière en suspension a été réalisé. Ainsi, les particules ne floculent pas et peuvent se disperser très loin. Une valeur représentative de la granulométrie moyenne de chaque classe a été considérée sur la base de la loi de Stokes (Tableau 3.5). Les panaches de très faible concentration ont cependant dans ce cas une vitesse de chute plus forte ici qu'avec la floculation avec laquelle a valeur minimale dans chaque classe est bien plus faible (Tableau 3.1).

Tableau 3.5 : Hypothèses du test de sensibilité sur les vitesses de chute : vitesses de chute constantes (pas de floculation).

Fractions sédimentaires	Granulométrie équivalente	Vitesse de chute
Flocs fins	10 µm	constante : 0,09 mm/s
Flocs moyens	40 µm	constante : 1,4 mm/s
Flocs grossiers	80 µm	constante : 0,6 cm/s
« Sables » fins	140 µm	constante : 1,7 cm/s
« Sables » grossiers	500 µm	constante : 0,5 m/s
Amas denses (« clumps »)	1100 µm	constante : 1,075 m/s

Distribution des fractions sédimentaires : davantage d'amas denses

Un test de sensibilité considérant une répartition différente des fractions sédimentaires composant les matériaux calcaires a également été réalisé. Ce test décrit les matériaux calcaires avec une part plus importante d'amas denses (40% au lieu de 25%), et une part réduite de floccs moyens à grossiers (5% au lieu de 10 à 15%).

Tableau 3.6 : Hypothèses du test de sensibilité sur la distribution des fractions sédimentaires pour les calcaires

	Fraction 10 µm	Fraction 40 µm	Fraction 80 µm	Fraction 140 µm	Fraction 500 µm	Amas denses/ blocs
Calcaires coralliens	20%	5%	5%	10%	20%	40%

Résultats des tests de sensibilité

Les résultats des tests de sensibilité en termes de dépôts, concentrations de matières en suspension et bilans de masse sont donnés en Annexe C. Les tableaux ci-dessous reportent les valeurs maximales des dépôts et des concentrations en suspension moyennes dans la colonne d'eau atteignant les frontières maritimes françaises.

L'hypothèse de vitesse de chute constante a pour effet d'augmenter de 20% à 30% l'estimation des épaisseurs modélisées et de réduire légèrement la turbidité à la frontière maritime franco-britannique au nord du site d'immersion. La vitesse de chute constante est en effet représentative de la granulométrie moyenne dans chaque classe et donc les panaches de faible concentration peuvent de ce fait avoir une vitesse de chute légèrement plus forte qu'avec la loi de floculation.

L'hypothèse d'une distribution plus grossière des matériaux calcaires diminue de moitié les dépôts par rapport à la simulation de référence, car les dépôts se font plus localement, proche du site d'immersion. Les panaches turbides sont également réduits significativement, car les sédiments tendent à chuter au fond plus rapidement et la part de fines (<80µm) en suspension est réduite.

En termes de bilans de masse, les résultats obtenus avec la simulation de référence et le test avec vitesse de chute constante sont assez proches, les différences sont plus importantes avec le test où davantage de fractions grossières sont considérées, car ces fractions chutent rapidement localement. La paramétrisation dont les résultats sont les plus conservatifs en termes d'export des sédiments hors des eaux françaises est la simulation de référence.

Tableau 3.7 : Incidence des tests de sensibilité sur les dépôts maximums au niveau de la frontière nord FR/UK à la fin du scénario long.

Dépôt maximum à la frontière en fin de scénario (mm)		
Test de sensibilité (scénario long)	Calcaire	
	B2	B6
Référence	4.4	5.0
Vitesse de chute constante	5.4	6.6
Distribution plus grossière	2.2	2.2

Tableau 3.8 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension (moyennées sur la colonne d'eau) maximales au niveau de la frontière nord FR/UK au cours du scénario long.

Concentration de MES moyennées sur la colonne d'eau maximum à la frontière (mg/L)		
Test de sensibilité (scénario long)	Calcaire	
	B2	B6
Référence	0.9	3.4
Vitesse de chute constante	0.7	2.9
Distribution plus grossière	0.5	2.5

4 Résultats de modélisation des clapages sur les sites d'immersion B2 et B6

4.1 La dynamique des panaches générés lors des clapages

Pour illustrer la dynamique des clapages modélisés, les figures ci-après présentent, aux points B2 et B6 et pour les argiles et les calcaires, des coupes du panache turbide généré par un clapage, sur 30 minutes à partir du moment du clapage.

Globalement, les panaches turbides se localisent essentiellement dans la colonne d'eau lors de la chute des particules, car une part des fines et sables est piégée au niveau de la thermocline. Le panache est situé typiquement entre 100 et 200 m de profondeur pour les argiles, et entre 200 et 300 m de profondeur pour les calcaires.

Les argiles, majoritairement constitués d'amas denses (65%), chutent vite et localement au niveau du point de rejet, ils induisent des panaches turbides moins étendus et moins concentrés que les calcaires.

Les calcaires sont dispersés plus loin que les argiles, car ils contiennent une part de fines plus importante du fait de la prise en compte de leur réhydratation lors des opérations. Le panache turbide est plus concentré et étendu, et se disperse moins vite.

Ce comportement dans la colonne d'eau est similaire à B2 et à B6, les hauteurs d'eau et les masses d'eau étant assez semblables. Les sorties autour du point B6 sont réalisées sur une distance plus courte donc le panache est mieux visible qu'au point B2 mais le comportement est assez similaire sur la verticale.

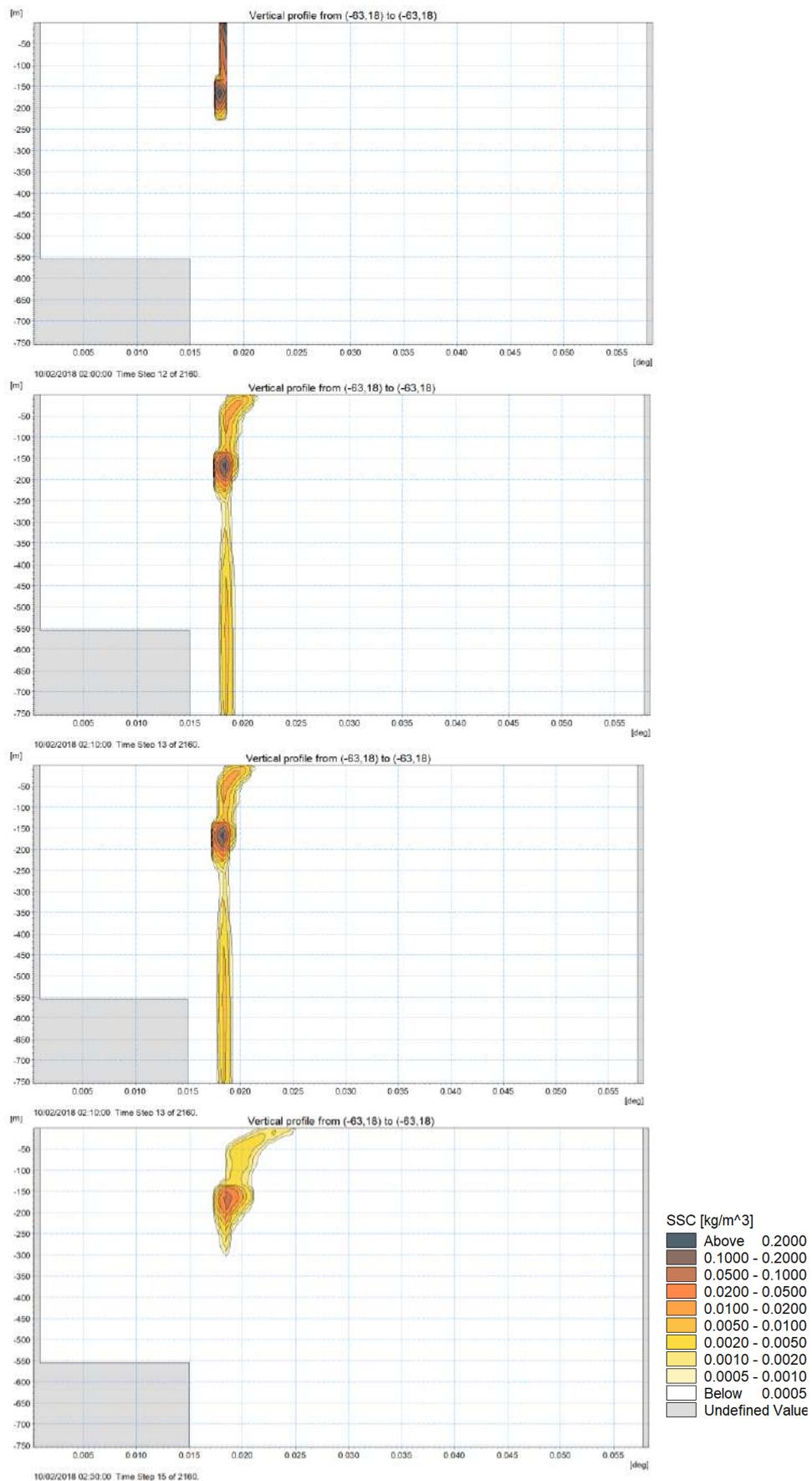


Figure 4-1 : Clapage des argiles en B2 à t₀, t₀+10min, t₀+20min et t₀+30min.

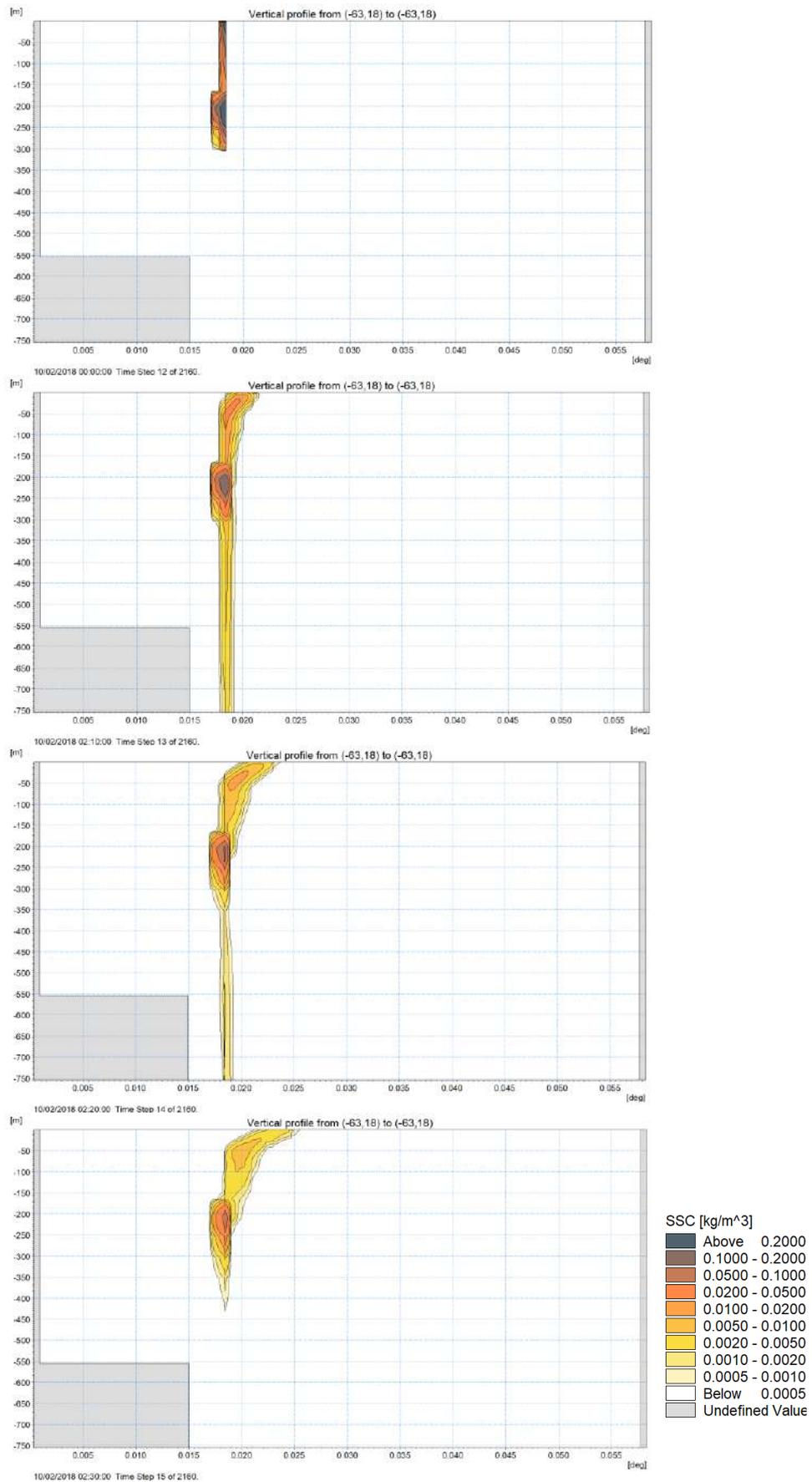


Figure 4-2 : Clapage des calcaires en B2 à t₀, t₀+10min, t₀+20min et t₀+30min.

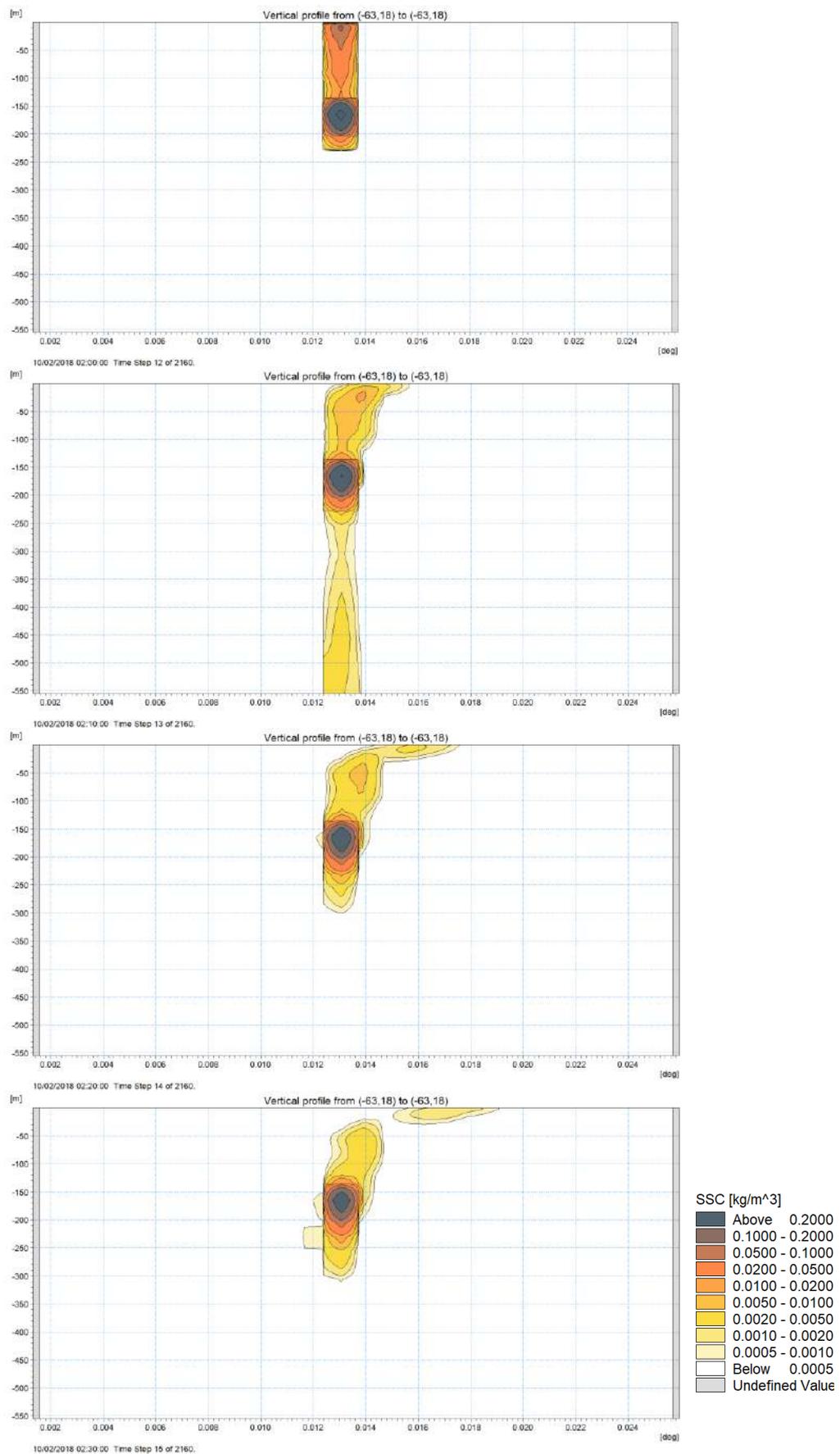


Figure 4-3 : Clapage des argiles en B6 à t0, t0+10min, t0+20min et t0+30min.

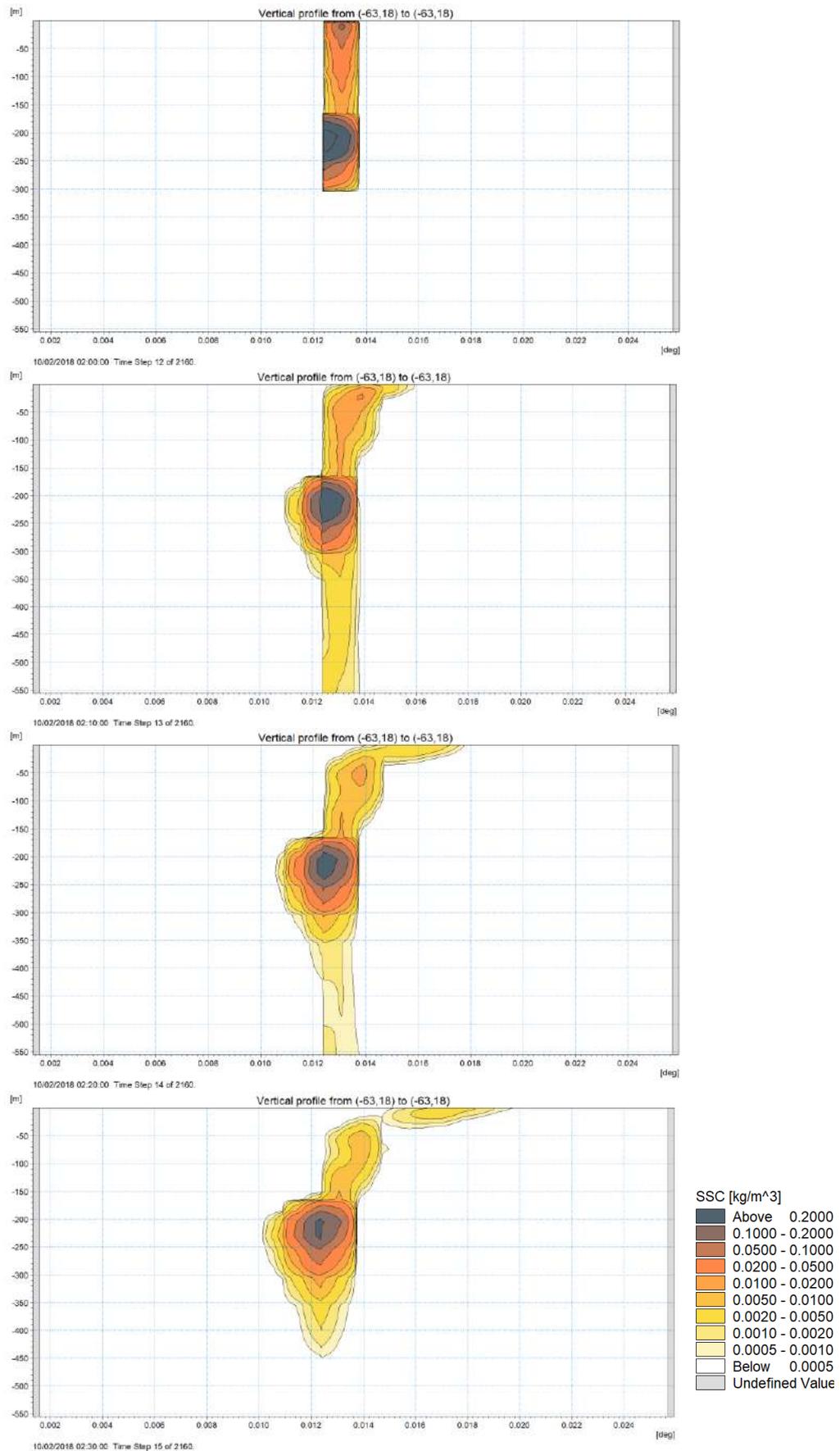


Figure 4-4 : Clapage des calcaires en B6 à t₀, t₀+10min, t₀+20min et t₀+30min.

4.2 Les dépôts accumulés

Les cartes des dépôts en fin de simulation pour les scénarios 1, 7 et long, pour les deux matériaux (argiles et calcaires) et pour les deux points de rejet (B2 et B6) sont présentées ci-après. L'ensemble de ces cartes pour tous les scénarios sont présentées en Annexe B.1.

Le Tableau 4.1 synthétise, pour chacun des scénarios, matériaux et point de clapage étudiés, l'épaisseur maximale déposée en fin de scénario au niveau des frontières maritimes françaises.

On rappelle qu'un scénario court correspond à respectivement 44% et 50% de la quantité totale d'argiles et de calcaires à claper, et que le scénario long correspond à respectivement 88% et 99% des argiles et des calcaires (cf. Section 3.5.5).

Les cartes obtenues à l'issue des simulations montrent que pour un rejet au point B2, les dépôts sont dispersés un peu plus loin, mais sur des épaisseurs plus faibles que pour un rejet en B6, où ils tendent à couvrir une zone plus importante et plus proche de la délimitation maritime au nord, entre la France (Saint-Martin et Saint-Barthélemy) et le Royaume-Uni (Anguilla).

Ces observations sont confirmées par le Tableau 4.1, qui montre que les dépôts maximums à la frontière sont plus élevés dans le cas d'un rejet au point B6 par rapport au point B2 d'un facteur 2 pour les argiles et d'un facteur 1,6 pour les calcaires.

Les argiles, majoritairement constitués d'amas denses (65%), chutent vite et localement au niveau du point de rejet. Les épaisseurs d'argiles supérieures à 1 mm restent limitées aux eaux territoriales françaises sur les scénarios courts et pour un rejet en B2, elles peuvent dépasser 2 mm à la frontière pour un rejet en B6. Sur le scénario long, les dépôts d'argile atteignent 2 à 3 mm à la frontière maritime franco-britannique au nord du site de clapage, en B2 et en B6 respectivement.

Les calcaires sont dispersés plus loin que les argiles, car la part de fines libérées est plus importante du fait de la réhydratation du matériau lors des opérations. Sur les scénarios courts, au niveau de la frontière maritime franco-britannique, les épaisseurs déposées sont en général inférieures à 2 mm pour un rejet en B2, et à 4 mm pour un rejet en B6. Pour le scénario long, ils atteignent 4 à 5 mm pour un rejet en B2 et en B6 respectivement.

Tableau 4.1 : Dépôts maximums au niveau des frontières maritimes françaises en fin de scénario.

Dépôt maximum à la frontière en fin de scénario (mm)				
Scénario	B2		B6	
	Argile	Calcaire	Argile	Calcaire
1	0.9	1.7	1.5	2.1
2	1.0	1.8	0.8	1.3
3	1.2	2.4	1.6	2.4
4	0.9	1.8	2.8	4.4
5	0.9	2.0	2.3	3.7
6	0.9	1.9	2.1	3.8
7	0.4	0.8	1.2	1.6
8	0.3	0.7	1.1	2.3
9	0.7	1.8	2.2	4.4
long	2.2	4.4	3.4	5.0

Dépôts	
Scénario 1	Argiles

B2

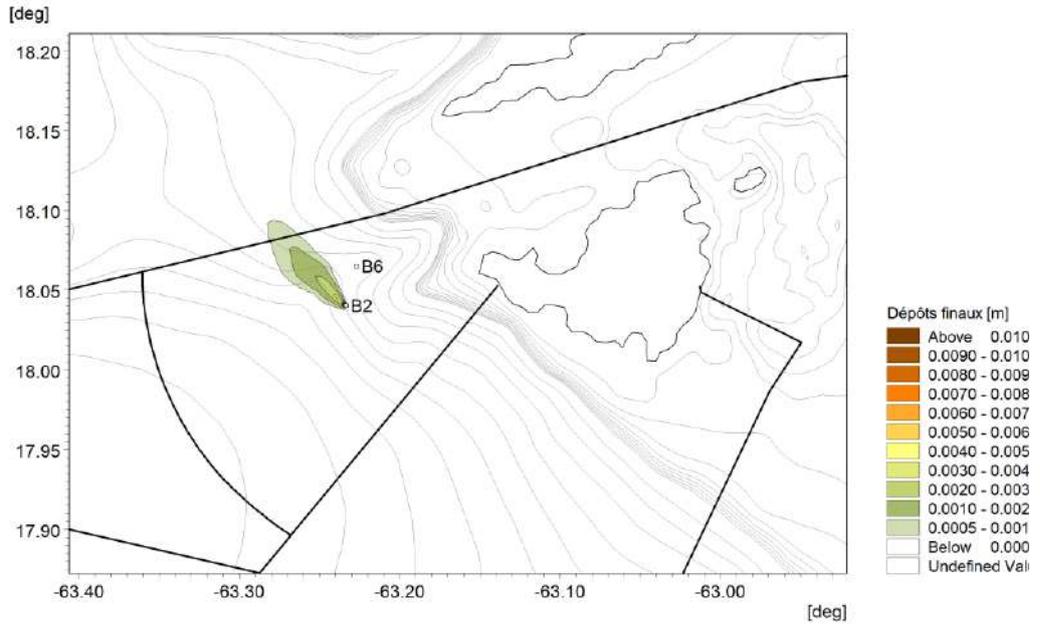


Figure 4-5 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B2.

B6

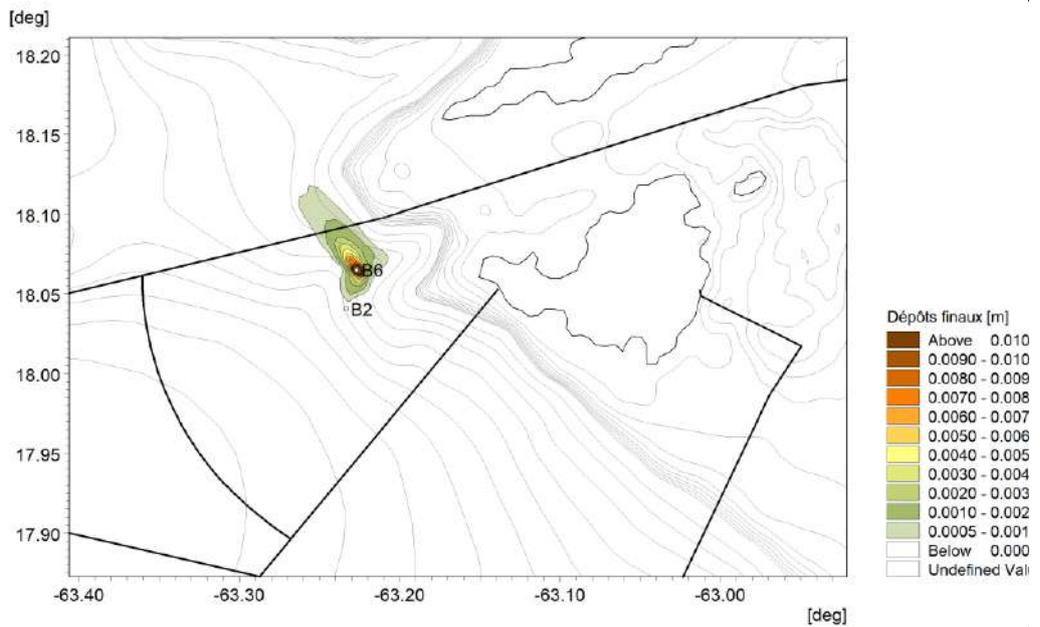


Figure 4-6 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B6.

Dépôts	
Scénario 1	Calcaire

B2

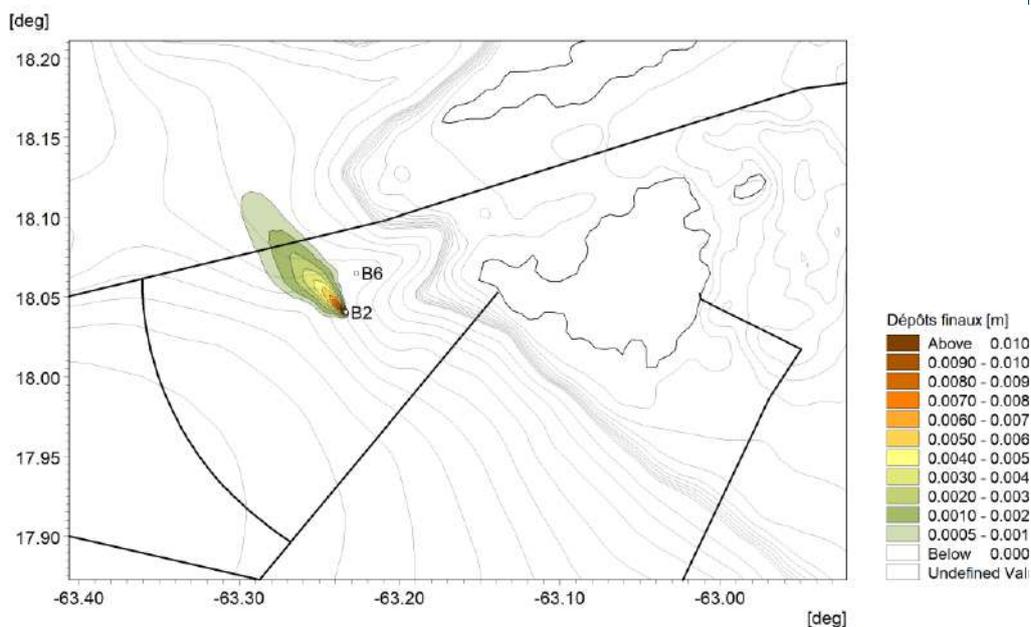


Figure 4-7 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B2.

B6

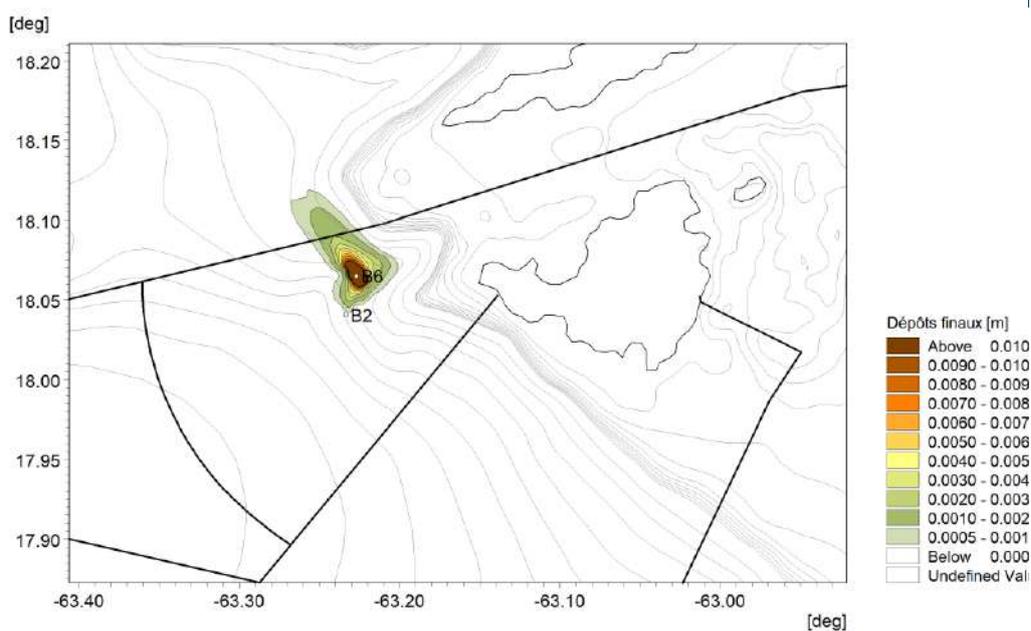


Figure 4-8 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 7	Argile

B2

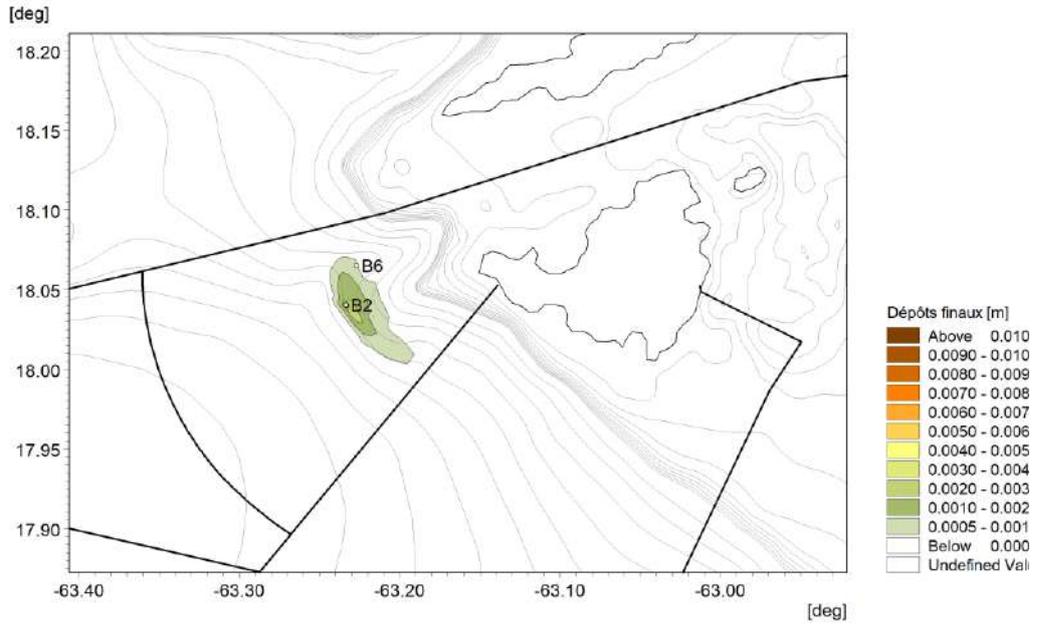


Figure 4-9 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B2.

B6

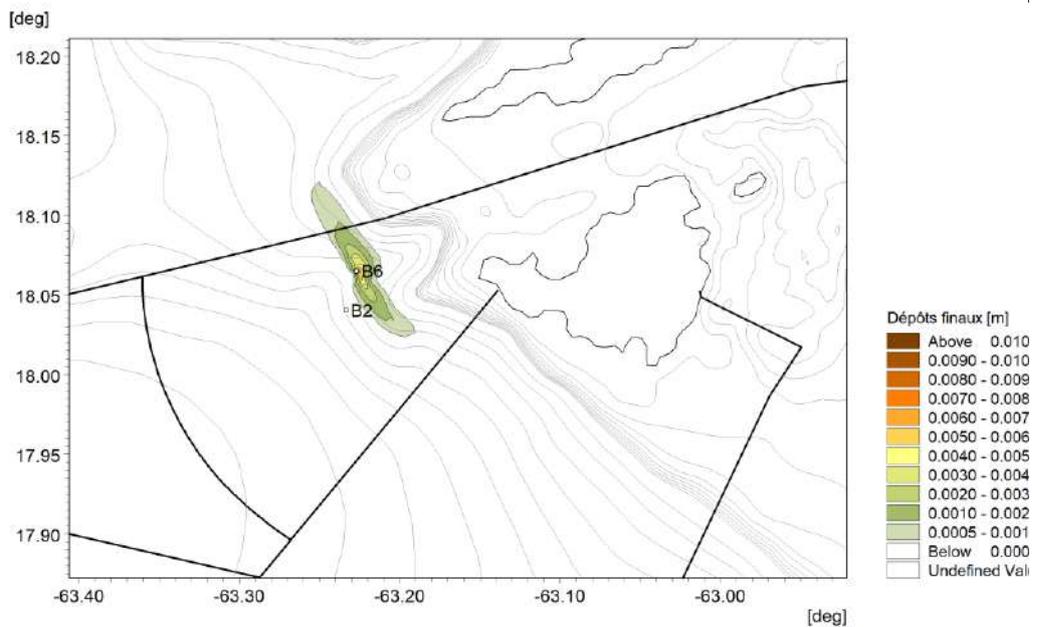


Figure 4-10 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B6.

Dépôts	
Scénario 7	Calcaire

B2

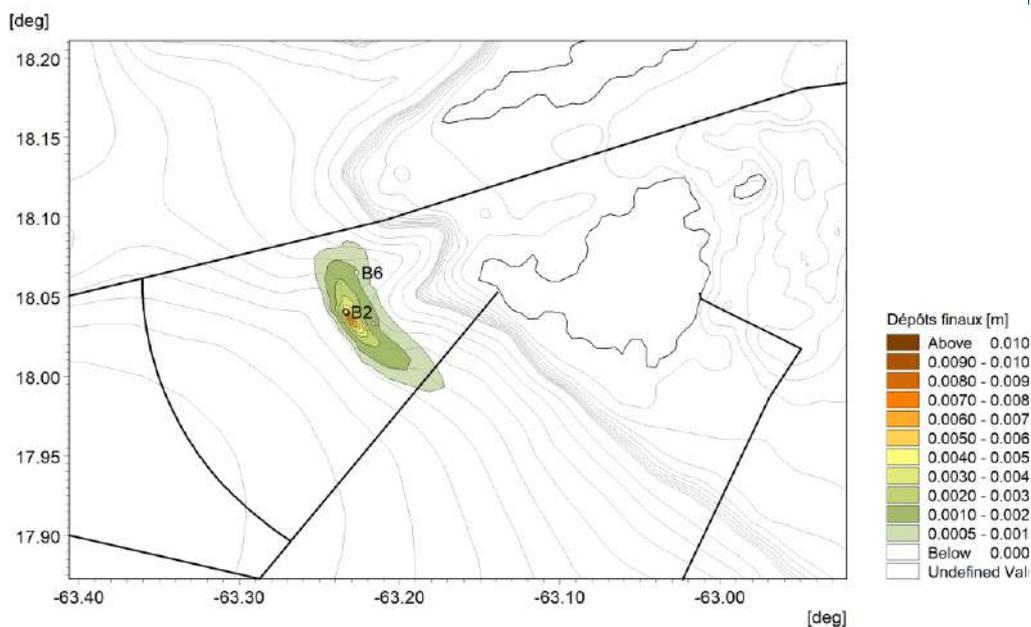


Figure 4-11 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B2.

B6

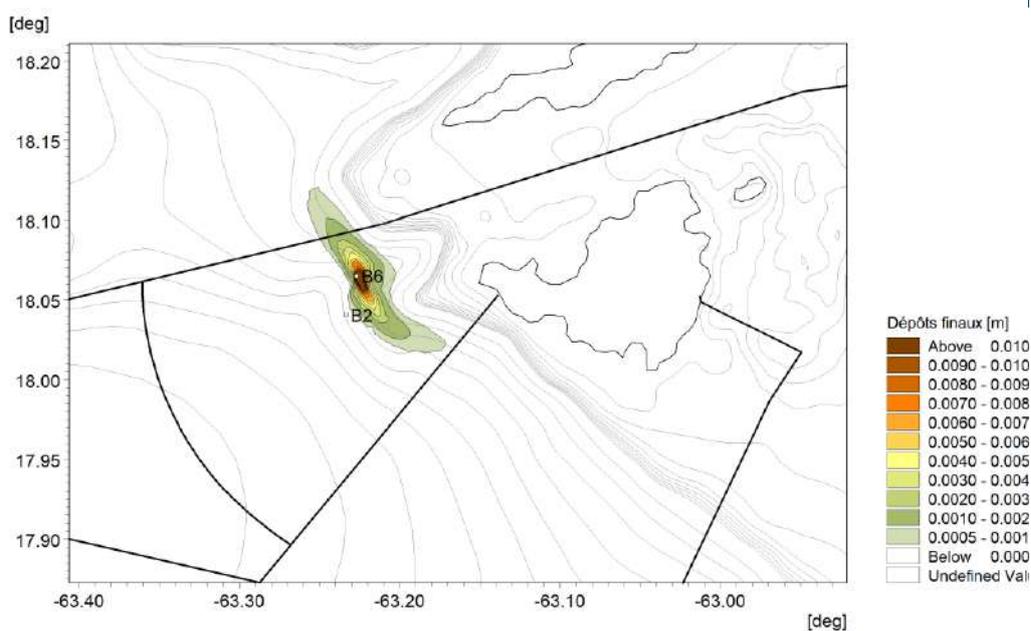


Figure 4-12 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario long	Argile

B2

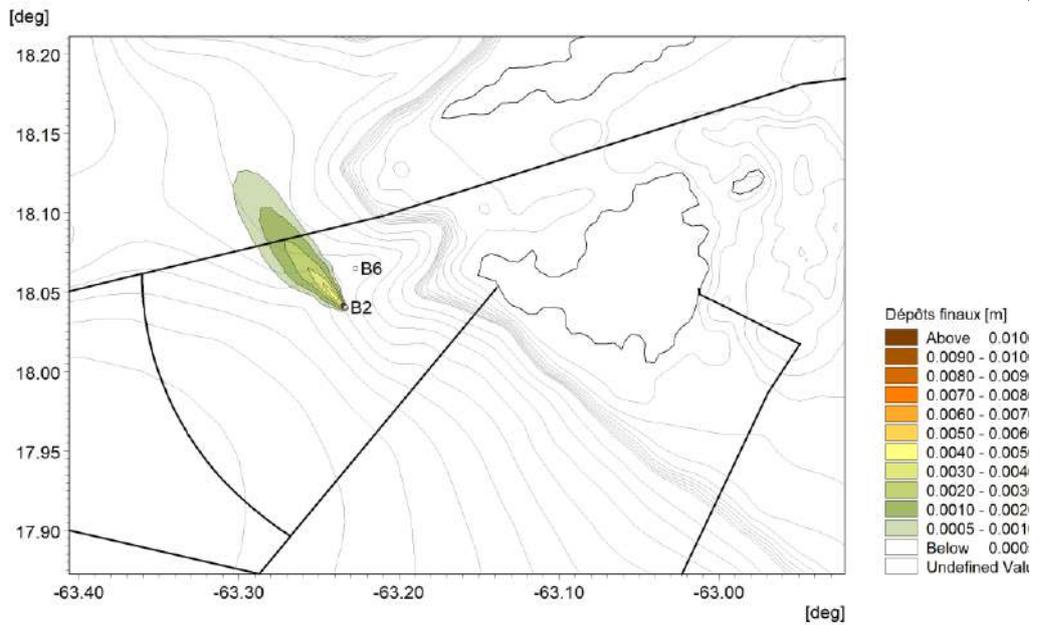


Figure 4-13 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B2.

B6

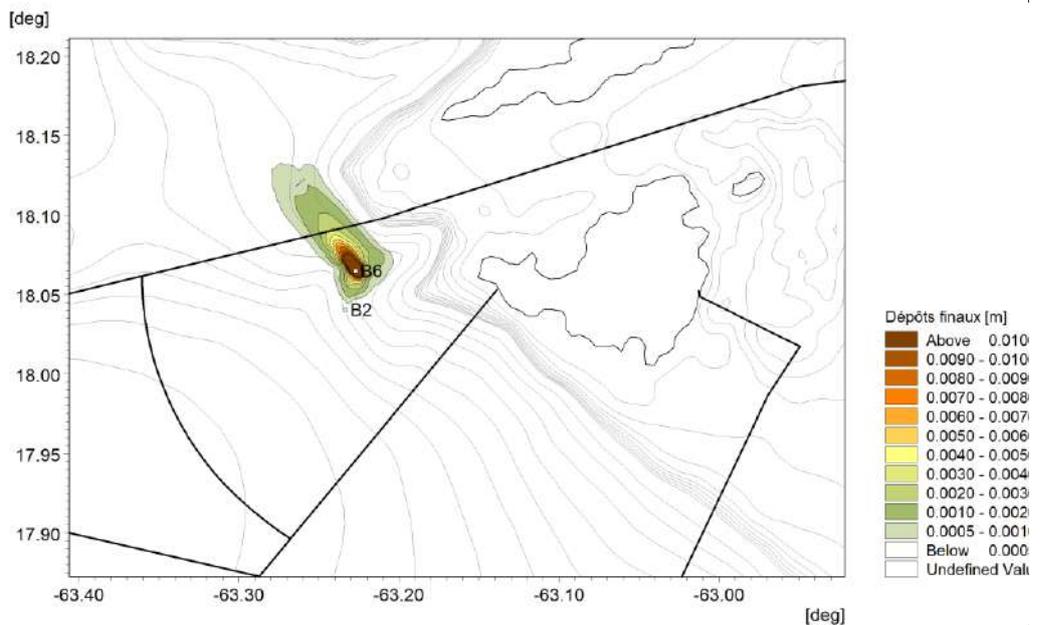


Figure 4-14 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B6.

Dépôts	
Scénario long	Calcaire

B2

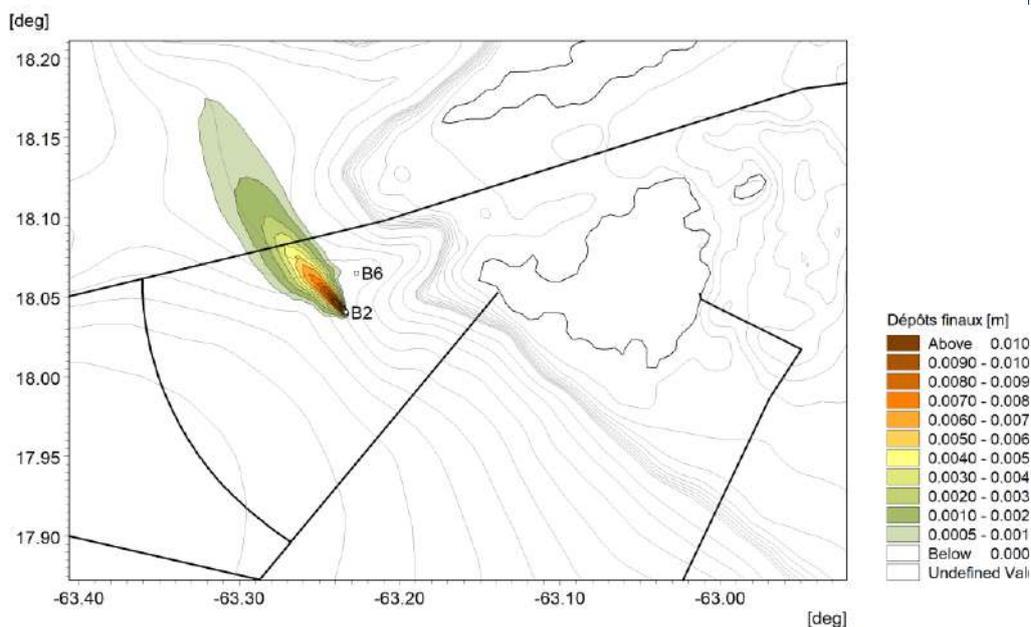


Figure 4-15 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B2.

B6

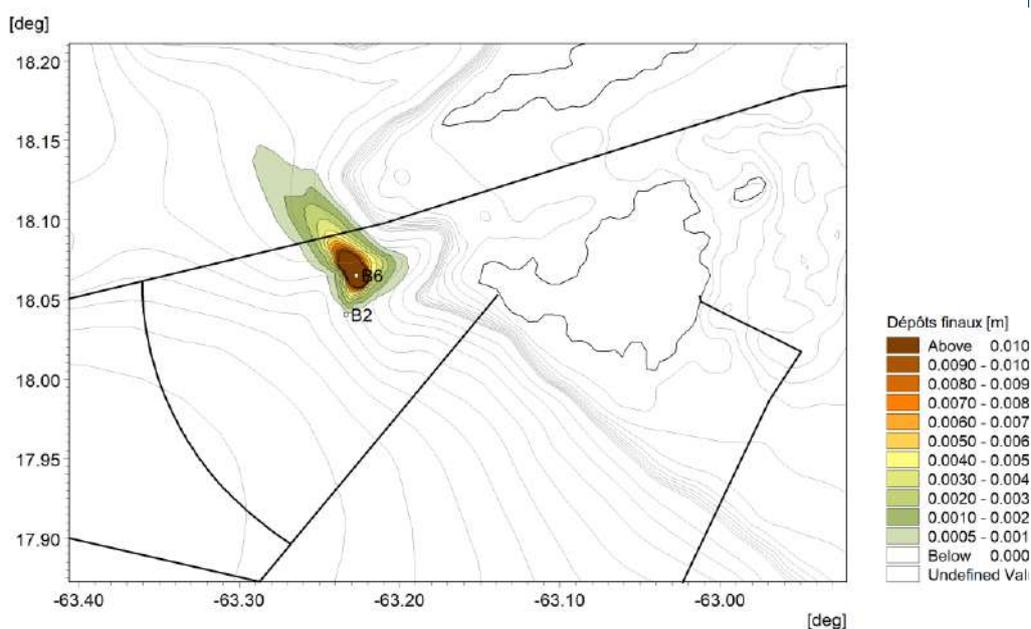


Figure 4-16 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B6.

4.3 Les concentrations maximales dans la colonne d'eau

Les cartes des concentrations maximales de matière en suspension en subsurface ([0 – 100 m], [100 – 200 m], [200 – 300 m]) et dans la colonne d'eau pour les scénarios 1, 7 et long, pour les deux matériaux (argiles et calcaires) et pour les deux points de rejet (B2 et B6) sont présentées ci-après. L'ensemble de ces cartes pour tous les scénarios sont présentées en Annexe B.2.

Le Tableau 4.2 synthétise, pour chacun des scénarios, matériaux et point de clapage étudiés, les concentrations moyennes sur la colonne d'eau et maximales au cours des scénarios au niveau des frontières maritimes françaises.

Les résultats des simulations montrent que les panaches turbides sont moins concentrés, et d'extension réduite, lors des rejets en B2, alors qu'ils sont plus étendus pour les rejets au point B6, où ils tendent par ailleurs à remonter au nord d'Anguilla, et donc à se rapprocher de la zone de pêche du nord d'Anguilla.

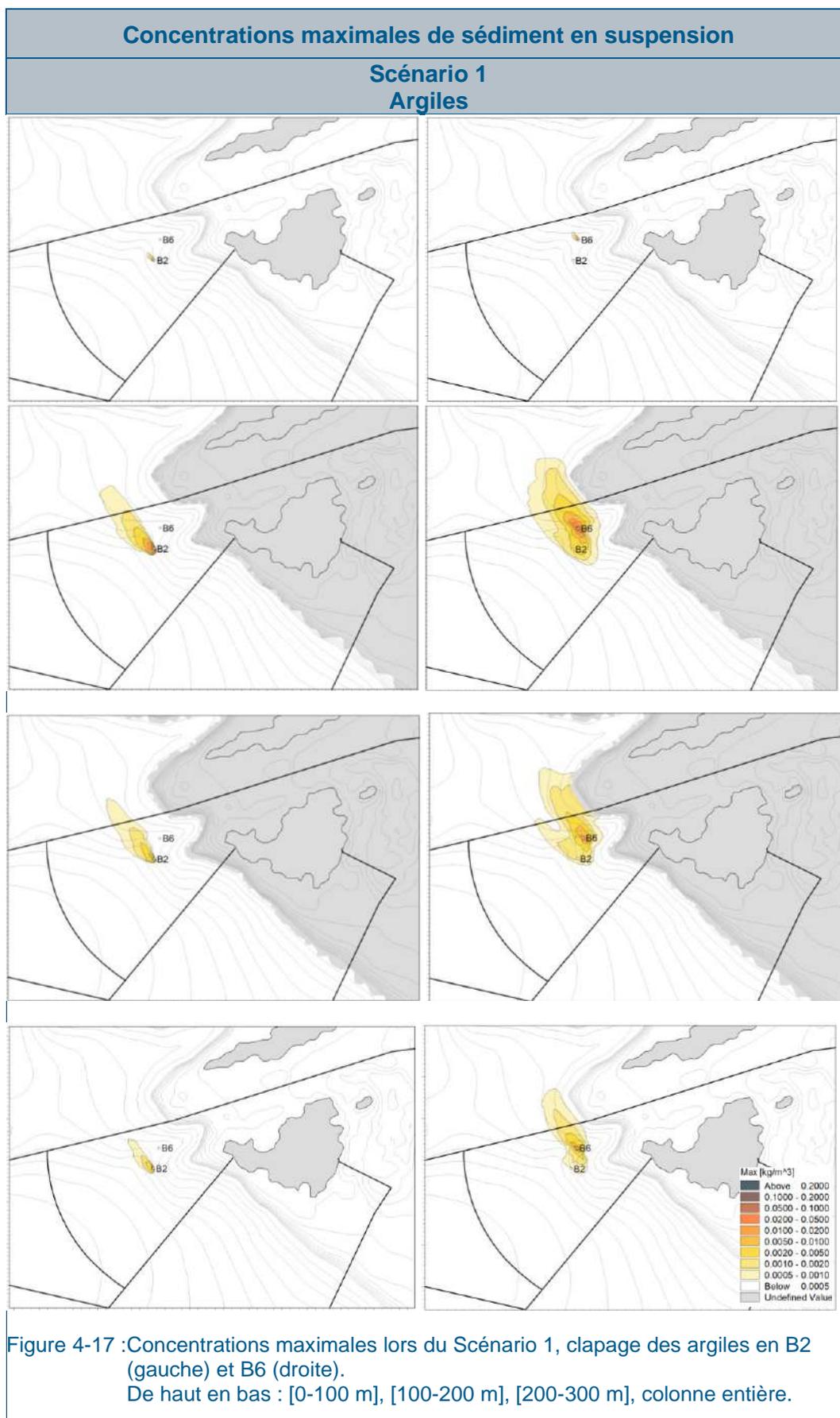
Globalement, les concentrations en surface restent faibles et localisées dans la zone d'immersion. Les concentrations maximales sont localisées dans la colonne d'eau lors de la chute des particules, car une part des fines et sables est piégée au niveau de la thermocline, entre 100 et 200 m de profondeur pour les argiles et entre 200 et 300 m de profondeur pour les calcaires. Dans le cas des rejets en B6, les panaches tendent à être également davantage étendus dans la colonne d'eau (sur la verticale) par rapport aux rejets en B2. Ces observations sont confirmées par le Tableau 4.2, qui montre que des concentrations maximums à la frontière plus élevées dans le cas d'un rejet au point B6 par rapport au point B2, d'un facteur 2,9 pour les argiles et d'un facteur 3,3 pour les calcaires.

Sous l'influence de la dynamique principale au large de Saint-Martin, les panaches s'étirent majoritairement vers le nord-ouest, avec des concentrations moyennes dans la colonne d'eau inférieures à 1 mg/L à la limite maritime franco-britannique dans le cas des rejets en B2. Lorsque les rejets sont faits en B6, les concentrations moyennes dans la colonne d'eau au niveau de la frontière peuvent atteindre, voire dépasser 3 mg/L. Les concentrations à la frontière maritime sont systématiquement plus importantes lors des rejets en B6 qu'en B2.

Seul le scénario 7 montre une dispersion des panaches vers le sud-est par les courants dominants au cours de ce scénario, mais l'extension de ces panaches reste limitée.

Tableau 4.2 : Concentrations de matières en suspension (moyennées sur la colonne d'eau) maximales au niveau des frontières maritimes françaises au cours des scénarios.

Concentration de MES moyennées sur la colonne d'eau maximum à la frontière au cours des scénarios (mg/L)				
Scénario	B2		B6	
	Argile	Calcaire	Argile	Calcaire
1	0.4	0.9	1.6	3.4
2	0.5	0.6	0.9	1.7
3	0.2	0.4	1.8	2.9
4	0.5	0.8	1.3	2.2
5	0.5	0.6	1.4	1.9
6	0.4	0.7	1.4	2.4
7	0.4	0.7	1.2	1.6
8	0.4	0.8	0.7	1.6
9	0.5	0.5	0.6	1.5
long	0.4	0.9	1.8	3.4



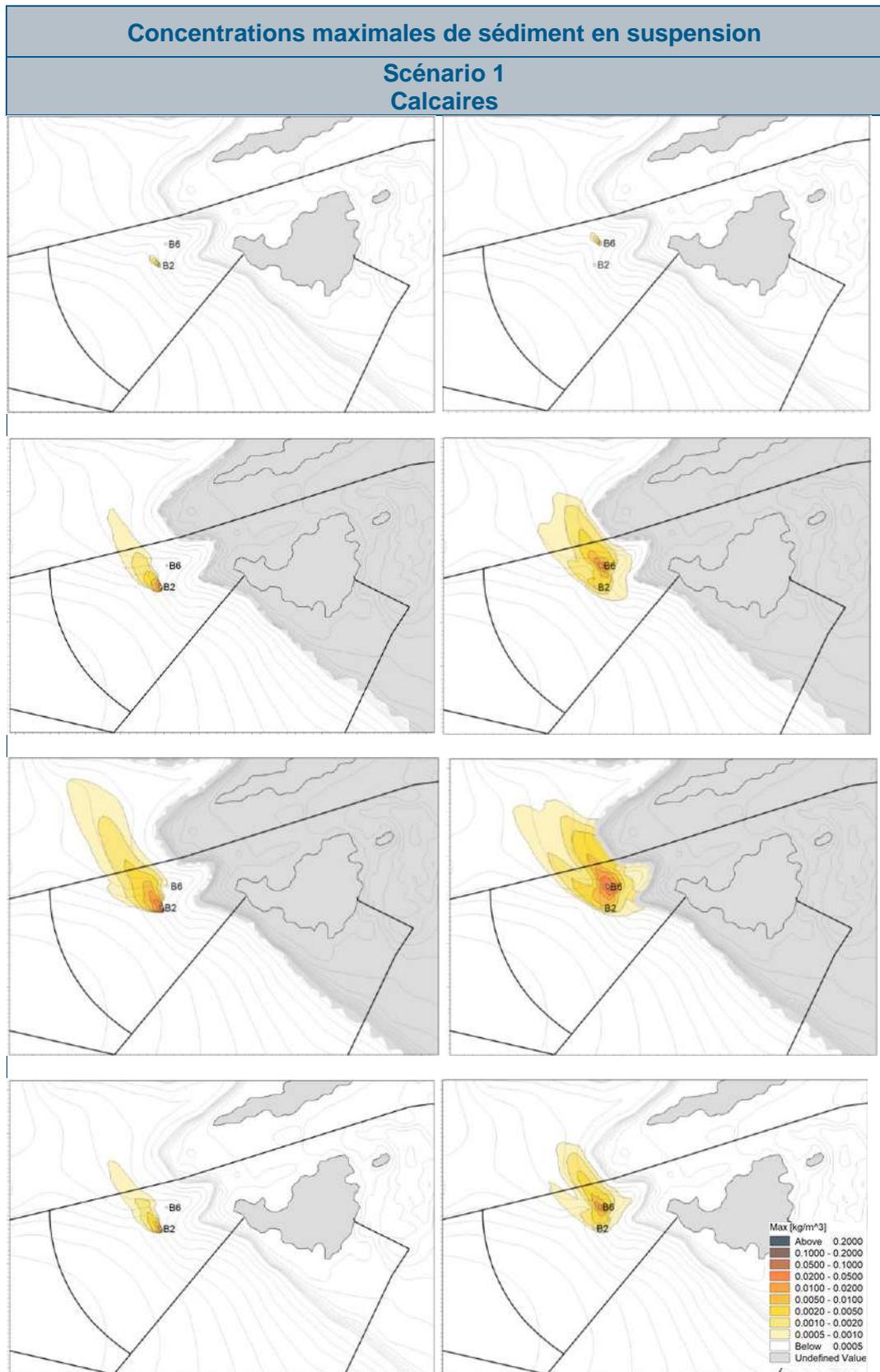
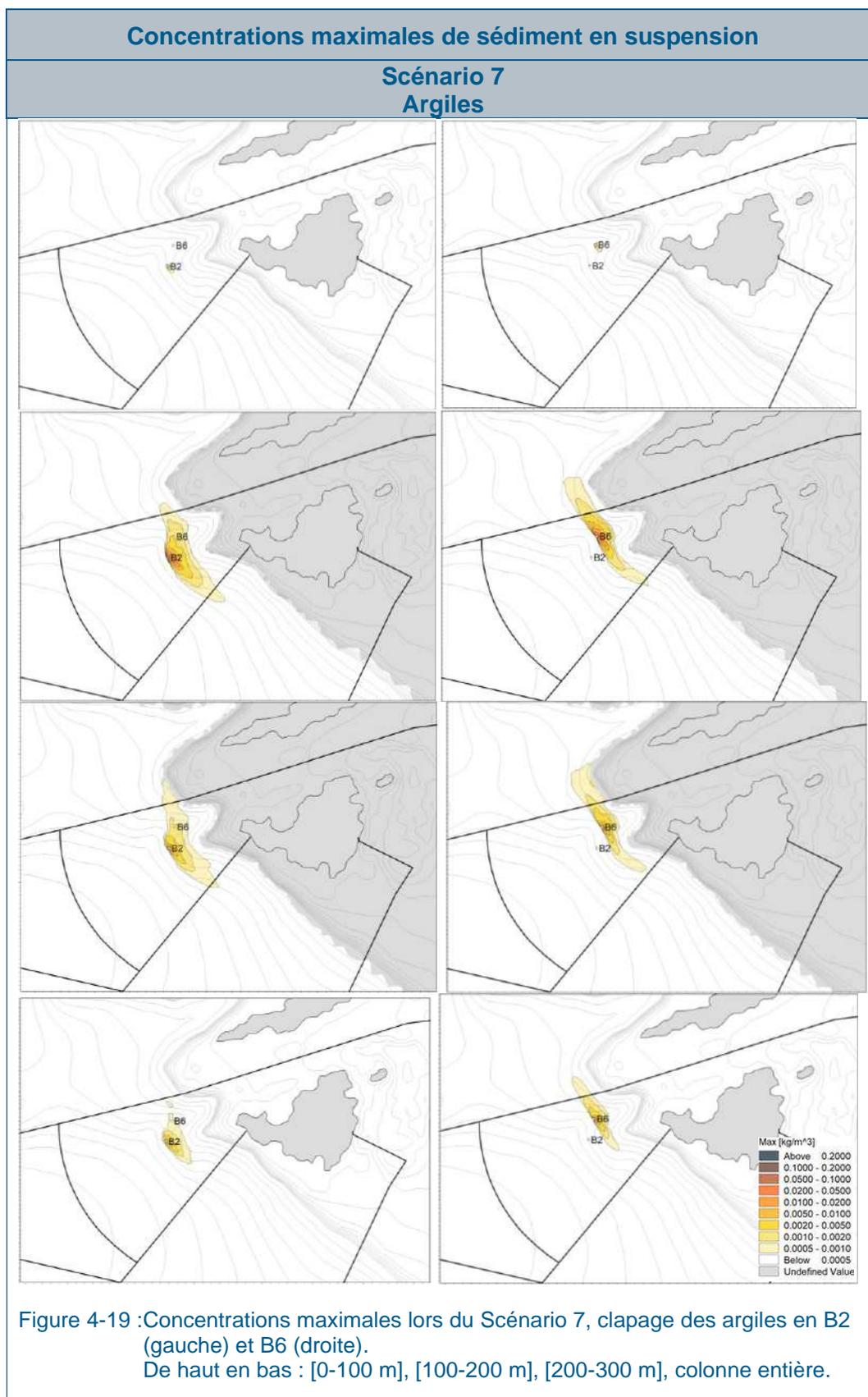
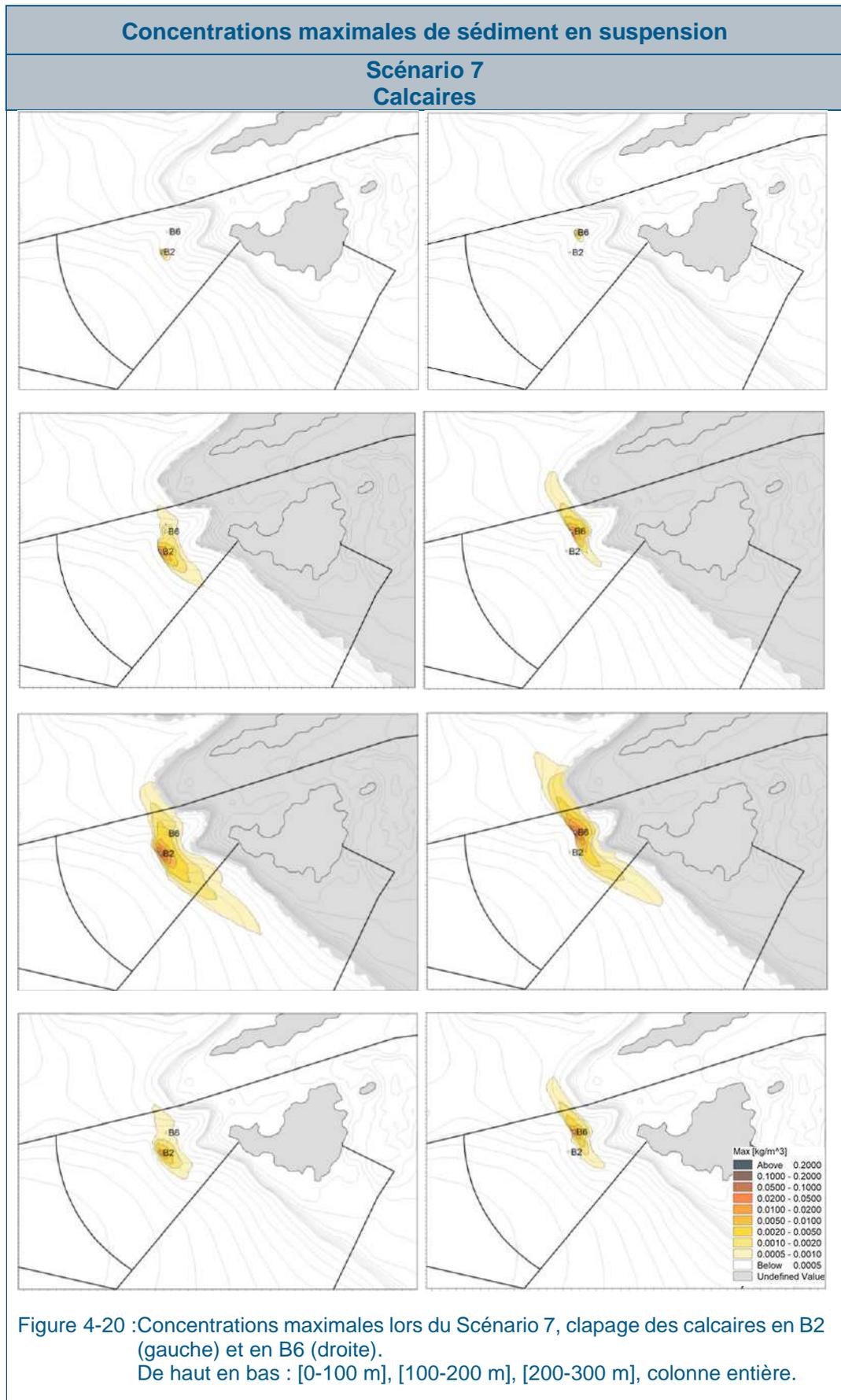
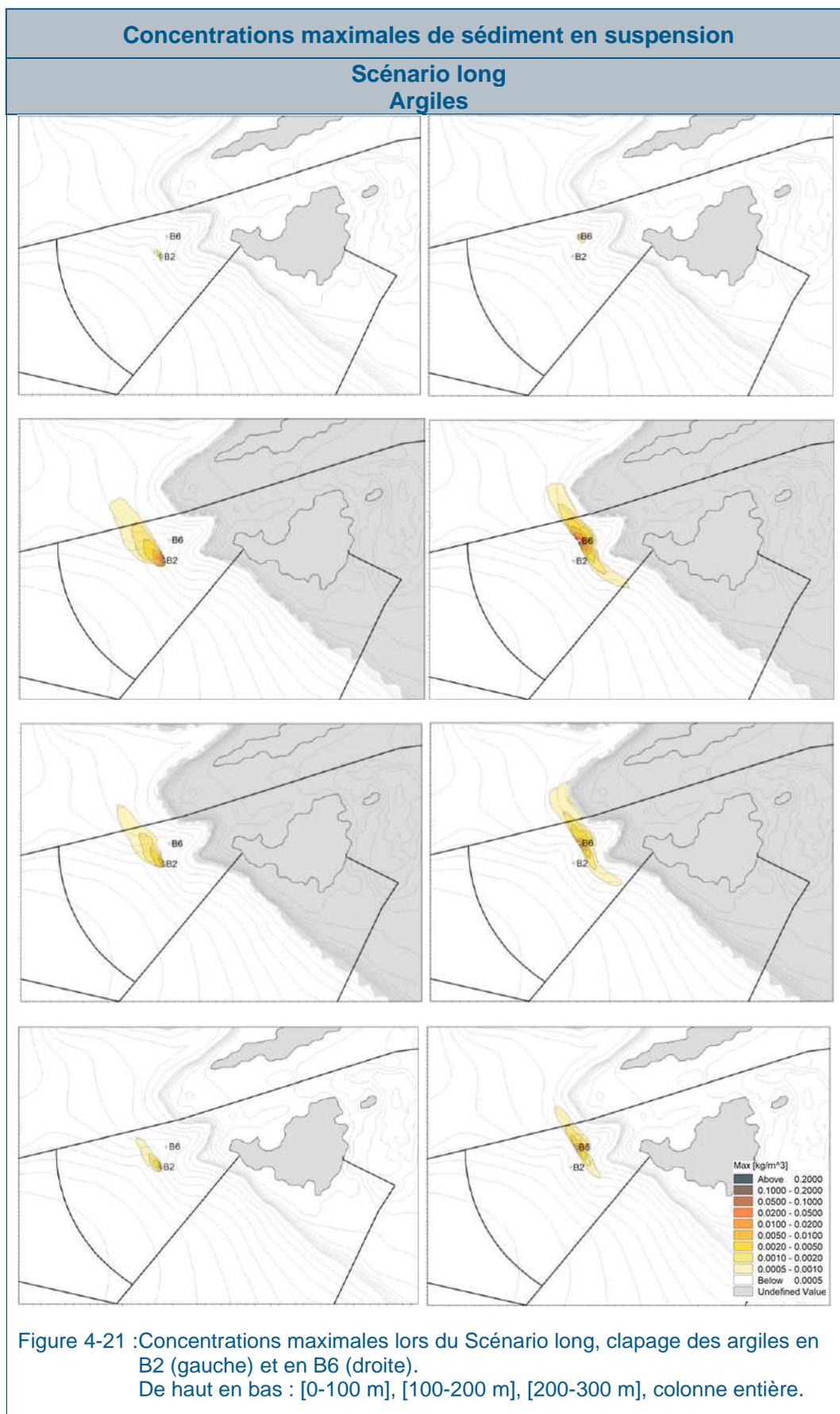
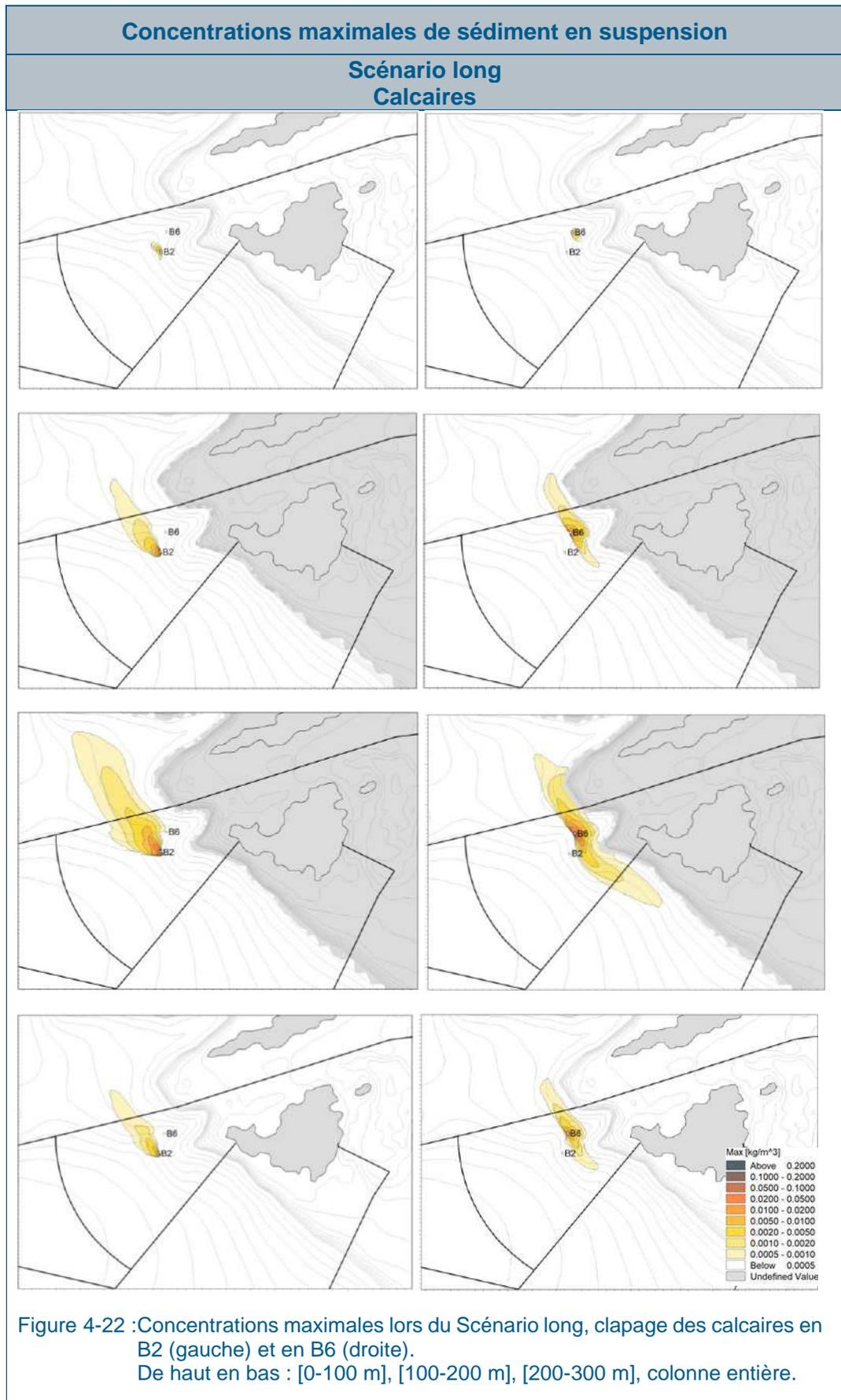


Figure 4-18 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des calcaires en B2 (gauche) et en B6 (droite).
De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.









4.4 Les bilans de masse

Le devenir des sédiments clapés a été étudié à l'aide de bilans de masse, réalisés pour deux secteurs différents (Figure 4-23) :

- Dans un rayon de 1 km autour du point de clapage (B2 et B6) ;
- Dans un polygone délimité au nord et au sud par les frontières maritimes franco-britannique et franco-néerlandaise respectivement.

Les séries temporelles des quantités de sédiment en suspension et déposées, exprimées en pourcentage de la quantité totale de sédiment clapée au cours du scénario long, sont présentées ci-après. L'ensemble des séries temporelles pour chaque scénario est présenté en Annexe B.3.

Le Tableau 4.3 et le Tableau 4.4 synthétisent le devenir des sédiments **à la fin de chaque scénario**, en termes de pourcentage de la quantité totale de sédiment clapée, en suspension et déposée, hors et dans les zones définies précédemment (le rayon de 1 km et le polygone délimité par les frontières maritimes françaises).

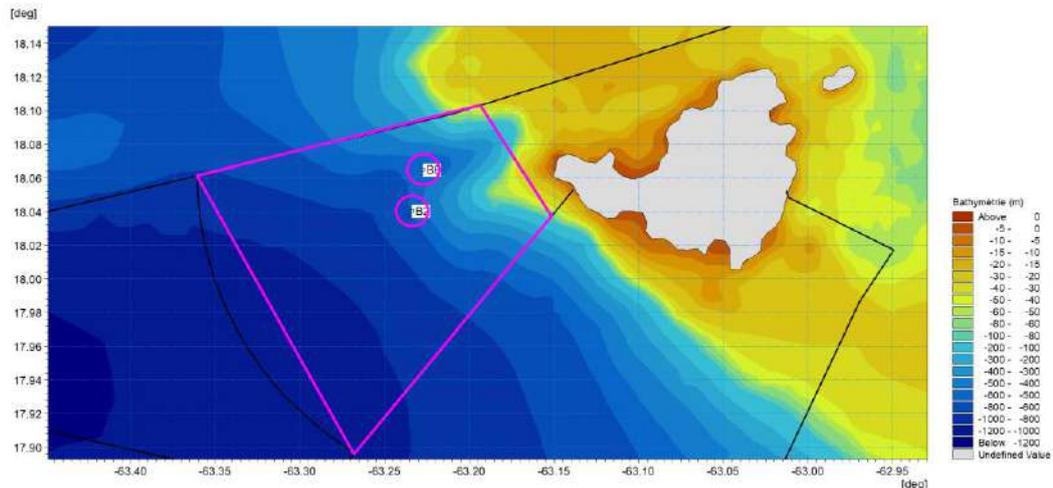


Figure 4-23 : Secteurs de calcul des bilans de masse : rayons de 1 km autour des points de clapage B2 et B6 et polygone délimité par les frontières maritimes franco-britanniques et franco-néerlandaise.

Globalement, la majorité des argiles se dépose localement au point de rejet : en moyenne, 72% des argiles sont déposés dans un rayon de 1 km à la fin des scénarios pour un rejet en B2, et 76% pour un rejet au point B6. Avec les hypothèses considérées sur les calcaires (réhydratation et parts de fines libérées plus importantes que pour les argiles), une masse plus importante est exportée des eaux territoriales : en moyenne 49% restent dans un rayon de 1 km pour un rejet en B2, 60% pour un rejet en B6.

Les calcaires restent également plus longtemps en suspension : à la fin d'un scénario, en moyenne 11% des argiles sont toujours en suspension contre 21% des calcaires. Ces sédiments restant en suspension se trouvent majoritairement en-dehors des frontières maritimes françaises.

Tout matériau confondu, les clapages en B6 induisent une sortie du sédiment hors des frontières maritimes françaises d'en moyenne 23% du total clapé, contre 30% en B2. Ainsi, les clapages en B2 entraînent une part un peu plus importante de sédiment hors des frontières maritimes françaises mais plus dispersée. Cela s'explique par les courants plus forts en B2, qui entraînent les sédiments plus loin et les dispersent davantage qu'en B6.

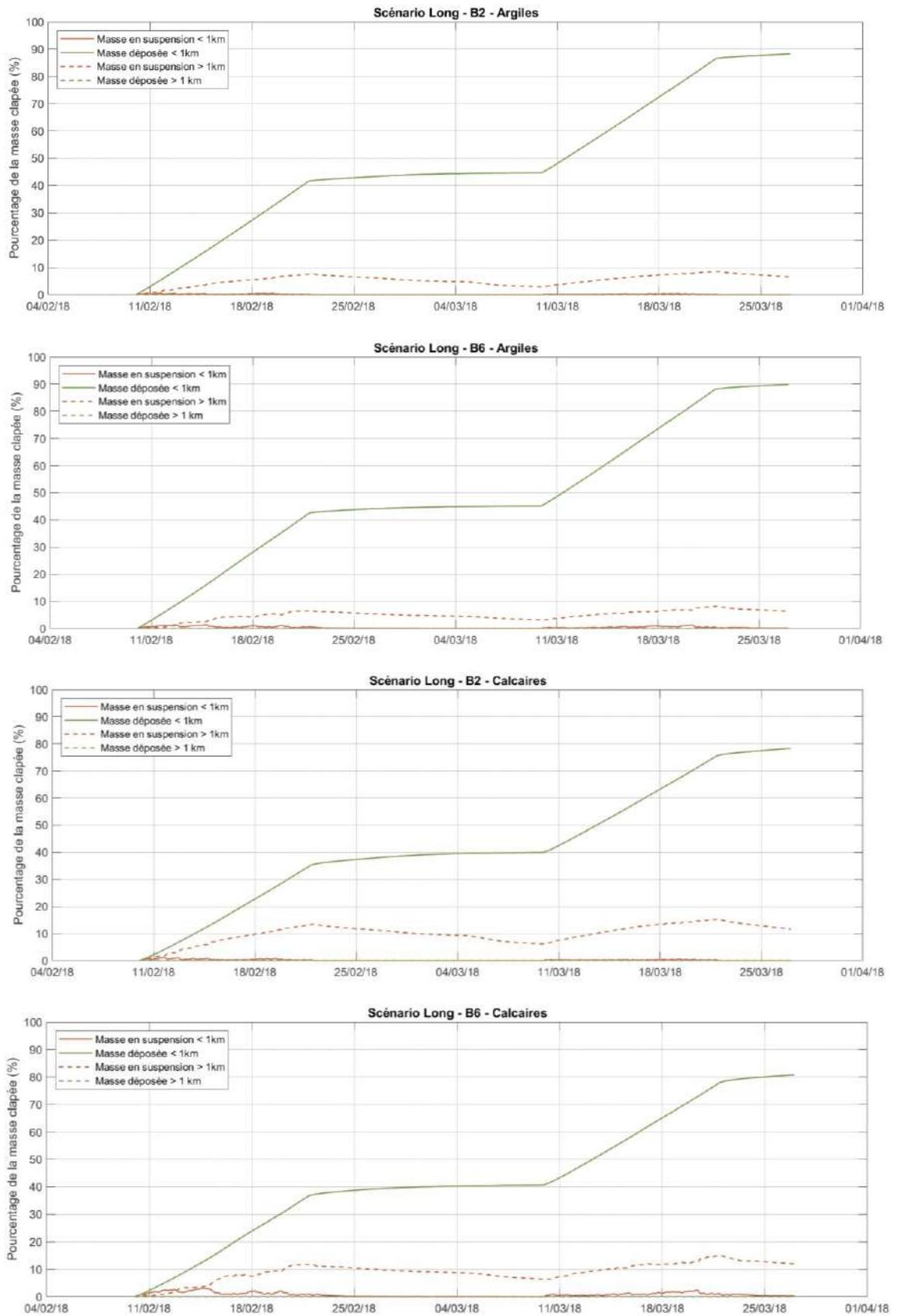


Figure 4-24 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario long.

Tableau 4.3 : Bilans de masse dans un rayon de 1 km autour des points de clapage B2 et B6.

Scénario	Argile									B6								
	B2			B6			Total			B2			B6			Total		
	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total
1	0.0	72.4	72.4	13.1	14.0	27.6	13.1	86.4	100.0	0.2	78.0	78.2	11.4	10.1	21.8	11.6	88.1	100.0
2	0.0	72.4	72.4	12.7	14.7	27.6	12.7	87.2	100.0	0.9	78.9	79.8	10.9	9.2	20.2	11.8	88.1	100.0
3	0.0	71.3	71.3	12.7	14.4	28.7	12.7	85.8	100.0	0.2	77.3	77.6	11.7	10.4	22.4	11.9	87.8	100.0
4	0.0	72.5	72.5	12.2	15.2	27.5	12.2	87.7	100.0	0.0	76.1	76.1	10.8	13.1	23.9	10.8	89.2	100.0
5	0.0	71.7	71.7	9.1	14.6	28.3	9.1	86.3	100.0	0.0	74.8	74.8	8.9	13.1	25.2	8.9	87.9	100.0
6	0.0	71.1	71.1	10.3	14.6	28.9	10.3	85.6	100.0	0.0	75.2	75.2	9.6	12.6	24.8	9.7	87.8	100.0
7	0.0	73.2	73.2	11.7	15.0	26.8	11.7	88.2	100.0	0.0	75.1	75.1	10.7	14.2	24.9	10.7	89.3	100.0
8	0.0	71.6	71.6	12.3	14.2	28.4	12.3	85.8	100.0	0.0	73.9	73.9	11.6	13.4	26.1	11.6	87.3	100.0
9	0.0	71.1	71.1	14.9	13.5	28.9	14.9	84.7	100.0	0.0	73.7	73.7	13.1	13.0	26.3	13.1	86.7	100.0
Long	0.0	71.4	71.4	6.5	16.8	28.6	6.5	88.2	100.0	0.1	77.2	77.3	6.3	12.6	22.7	6.4	89.8	100.0

Scénario	Calcaires									B6								
	B2			B6			Total			B2			B6			Total		
	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total
1	0.0	50.3	50.3	23.7	25.2	49.7	23.7	75.5	100.0	0.4	62.4	62.7	21.0	15.7	37.3	21.4	78.0	100.0
2	0.0	50.5	50.5	23.5	25.8	49.5	23.5	76.3	100.0	2.0	64.4	66.5	20.0	13.4	33.5	22.0	77.9	100.0
3	0.0	47.7	47.7	21.3	27.0	52.3	21.3	74.7	100.0	0.6	61.5	62.1	21.2	15.9	37.9	21.7	77.4	100.0
4	0.0	51.1	51.1	22.7	26.2	48.9	22.7	77.3	100.0	0.1	60.3	60.4	20.5	19.1	39.6	20.6	79.4	100.0
5	0.0	48.7	48.7	18.2	26.6	51.3	18.2	75.3	100.0	0.1	56.9	56.9	17.6	21.0	43.1	17.6	77.9	100.0
6	0.0	47.5	47.5	19.0	26.9	52.5	19.0	74.4	100.0	0.3	57.9	58.2	18.4	19.7	41.8	18.7	77.6	100.0
7	0.1	51.9	52.0	22.2	25.8	48.0	22.3	77.7	100.0	0.3	56.3	56.5	20.7	22.8	43.5	20.9	79.1	100.0
8	0.0	47.8	47.8	22.4	26.5	52.2	22.4	74.2	100.0	0.2	55.2	55.5	21.0	21.7	44.5	21.2	77.0	100.0
9	0.0	46.4	46.4	26.3	26.5	53.6	26.3	72.9	100.0	0.0	55.0	55.0	23.1	21.6	45.0	23.1	76.6	100.0
Long	0.0	48.2	48.2	11.6	30.1	51.8	11.6	78.3	100.0	0.3	61.4	61.7	12.0	19.3	38.3	12.2	80.7	100.0

Tableau 4.4 : Bilans de masse dans le polygone délimité par les frontières maritimes françaises.

Scénario	Argile																	
	B2									B6								
	Dans polygone			Hors polygone			Total			Dans polygone			Hors polygone			Total		
	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total
1	0.2	79.3	79.6	12.9	7.1	20.4	13.1	86.4	100.0	2.2	83.3	85.5	9.4	4.8	14.5	11.6	88.1	100.0
2	0.2	79.6	79.8	12.5	7.6	20.2	12.7	87.2	100.0	3.9	84.5	88.3	8.0	3.7	11.7	11.8	88.1	100.0
3	0.1	78.2	78.3	12.6	7.6	21.7	12.7	85.8	100.0	2.8	82.5	85.4	9.1	5.3	14.6	11.9	87.8	100.0
4	0.0	79.7	79.7	12.2	8.1	20.3	12.2	87.7	100.0	0.2	81.1	81.3	10.6	8.1	18.7	10.8	89.2	100.0
5	0.0	77.5	77.6	9.0	8.7	22.4	9.1	86.3	100.0	0.1	79.7	79.9	8.7	8.1	20.1	8.9	87.9	100.0
6	0.0	77.2	77.2	10.3	8.5	22.8	10.3	85.6	100.0	0.3	80.1	80.4	9.4	7.7	19.6	9.7	87.8	100.0
7	2.3	81.8	84.1	9.5	6.4	15.9	11.7	88.2	100.0	0.8	81.9	82.7	9.9	7.4	17.3	10.7	89.3	100.0
8	0.0	75.2	75.3	12.3	10.6	24.7	12.3	85.8	100.0	0.4	78.6	79.0	11.2	8.7	21.0	11.6	87.3	100.0
9	0.0	76.1	76.1	14.9	8.6	23.9	14.9	84.7	100.0	0.1	78.5	78.5	13.1	8.2	21.5	13.1	86.7	100.0
Long	0.1	78.2	78.2	6.5	10.1	21.8	6.5	88.2	100.0	1.1	82.6	83.7	5.3	7.2	16.3	6.4	89.8	100.0

Scénario	Calcaires																	
	B2									B6								
	Dans polygone			Hors polygone			Total			Dans polygone			Hors polygone			Total		
	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total
1	0.2	64.1	64.3	23.5	11.4	35.7	23.7	75.5	100.0	4.2	72.0	76.2	17.2	6.1	23.8	21.4	78.0	100.0
2	0.3	64.4	64.7	23.2	12.0	35.3	23.5	76.3	100.0	9.2	73.7	82.8	12.9	4.2	17.2	22.0	77.9	100.0
3	0.2	61.8	62.1	21.1	12.9	37.9	21.3	74.7	100.0	6.4	70.5	76.9	15.4	6.9	23.1	21.7	77.4	100.0
4	0.0	64.9	64.9	22.6	12.3	35.1	22.7	77.3	100.0	1.3	69.1	70.4	19.3	10.2	29.6	20.6	79.4	100.0
5	0.1	61.0	61.1	18.1	14.3	38.9	18.2	75.3	100.0	0.5	66.4	66.9	17.1	11.5	33.1	17.6	77.9	100.0
6	0.0	60.1	60.1	19.0	14.3	39.9	19.0	74.4	100.0	1.5	66.9	68.4	17.2	10.7	31.6	18.7	77.6	100.0
7	4.4	67.9	72.3	17.9	9.8	27.7	22.3	77.7	100.0	3.5	69.3	72.8	17.4	9.8	27.2	20.9	79.1	100.0
8	0.1	56.0	56.0	22.3	18.3	44.0	22.4	74.2	100.0	1.4	64.2	65.6	19.8	12.8	34.4	21.2	77.0	100.0
9	0.0	57.5	57.5	26.3	15.4	42.5	26.3	72.9	100.0	0.3	64.1	64.4	22.8	12.5	35.6	23.1	76.6	100.0
Long	0.1	62.0	62.1	11.5	16.2	37.9	11.6	78.3	100.0	2.5	71.1	73.6	9.8	9.6	26.4	12.2	80.7	100.0

5 Conclusion

Ce rapport présente les résultats de la Phase 2C de l'étude alimentant le Dossier d'Autorisation Environnementale Unique (DAEU) du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay. Cette phase consiste à évaluer la dispersion des panaches turbides et les dépôts sédimentaires induits par les clapages des argiles indurées et des calcaires coralliens, pour deux zones d'immersion potentielles au large de Saint-Martin et pour différents scénarios météocéaniques, avec l'objectif de pouvoir choisir un site d'immersion préférentiel.

Neuf scénarios météocéaniques de 15 jours ont été sélectionnés à partir de l'analyse de la modélisation de la courantologie régionale 3D sur 10 ans réalisée en Phase 2A (Réf. /1/). Un scénario long de 45 jours a également été identifié pour évaluer les impacts à moyen terme des opérations de clapage au large.

Un modèle de dispersion des panaches turbides a été mis en place et paramétré à l'aide du module « Disposal » de MIKE 3 FM, qui permet une approche couplée champ proche / champ lointain pour modéliser les processus de chute convective, impact au fond et dispersion passive du panache suite au clapage d'une masse de sédiment en mer. Les sédiments sont représentés dans le modèle par 6 fractions sédimentaires représentatives de floccs fins, moyens et grossiers, sables fins et grossiers et amas denses (« clumps ») car les matériaux clapés seront fragmentés en fractions très fines à très grossières au cours des opérations. Les argiles et les calcaires sont représentés par des distributions différentes de ces fractions : les argiles sont constituées essentiellement d'amas denses, tandis que les calcaires, qui possèdent des propriétés de réhydratation au contact de l'eau, sont constitués de davantage de particules fines.

Les simulations des clapages des argiles et des calcaires en B2 et en B6 pour les différents scénarios météo-océaniques montrent que globalement, les clapages en B2 entraînent une part légèrement plus importante de sédiment hors des eaux maritimes françaises que les clapages en B6 (30% contre 23%). Cela s'explique par les vitesses de courant plus fortes au point B2, qui favorisent la dispersion des sédiments et leur entraînement loin du point de rejet par rapport au point B6. Cependant, les clapages au point B6 induisent des concentrations et des dépôts quasi-systématiquement 2 à 3 fois plus importants au niveau des frontières maritimes (essentiellement à la frontière franco-britannique au nord du site d'immersion, les courants portant vers le nord-ouest la majeure partie du temps), précisément car les courants dispersent moins les sédiments lorsque les clapages ont lieu en B6. Le point B6 étant par ailleurs plus proche de la côte, les panaches et dépôts sont également plus proches de la côte de Saint-Martin et d'Anguilla, que lorsque les clapages sont effectués en B2.

A titre d'ordre de grandeur, les scénarios longs, qui correspondent presque au clapage de la totalité des argiles et calcaires à claper, induisent des dépôts à la frontière de 2,2 mm (argiles) et 4,4 mm (calcaires) pour un rejet en B2 (contre 3,4 mm et 5 mm pour un rejet en B6). Les concentrations de matières en suspension moyennées sur la colonne d'eau maximales au niveau de la frontière sur les scénarios longs atteignent 0,4 mg/L (argiles) et 0,9 mg/L (calcaires) (contre 1,8 mg/L et 3,4 mg/L pour un rejet en B6).

Le point B2 apparaît donc plus favorable pour les opérations d'immersion des sédiments issus du dragage du port de Galisbay.

Les simulations de panaches turbides seront affinées en Phase 5 pour les différents scénarios avec un modèle plus haute résolution et l'intégration d'une bathymétrie locale. La simulation longue sur l'ensemble de la période permettra aussi d'évaluer plus précisément les impacts globaux en termes de concentration en suspension et de dépôts accumulés sur plusieurs mois.

6 Références

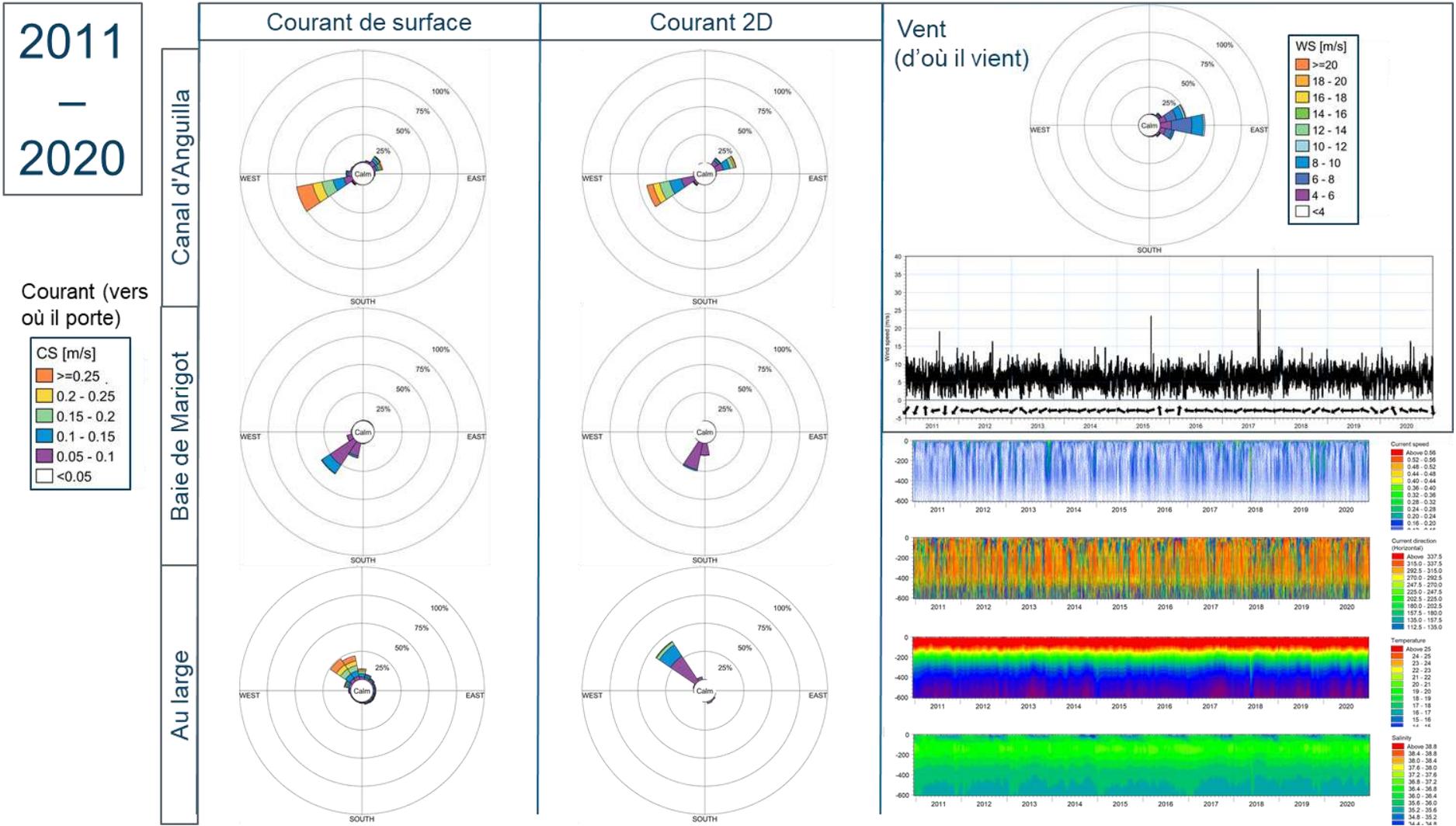
- /1/ DHI, *DAEU du dragage et de l'extension du port de commerce de Galisbay, Phase 2 : Définition de la zone d'immersion, Phase 2A : Elaboration d'un modèle de courantologie générale*, mai 2021.
- /2/ Antilles GEOTECHNIQUE, *Quai de croisière du port de Galisbay, Cahier des reconnaissances géotechniques, Prestation de sondages et essais géotechniques*, n° du rapport : 2006-037.RR1.2, septembre 2020.
- /3/ Antilles GEOTECHNIQUE, *Quai de croisière du port de Galisbay, Cahier des reconnaissances géotechniques, Etude géotechnique de conception*, n° du rapport : 1606-035.RR1, août 2016.
- /4/ EGIS, *Réalisation d'un chenal d'accès au port de commerce de Galisbay associé à la conception de terre-pleins*, Rapport de PROJET, EP 140410 B, Juin 2017.
- /5/ SETEC, *Construction of a cruise pier in the port of Galisbay - SWOT Analysis*, report 012-46646 B00, juin 2021.

ANNEXES

ANNEXE A – Description des scénarios météocéaniques identifiés

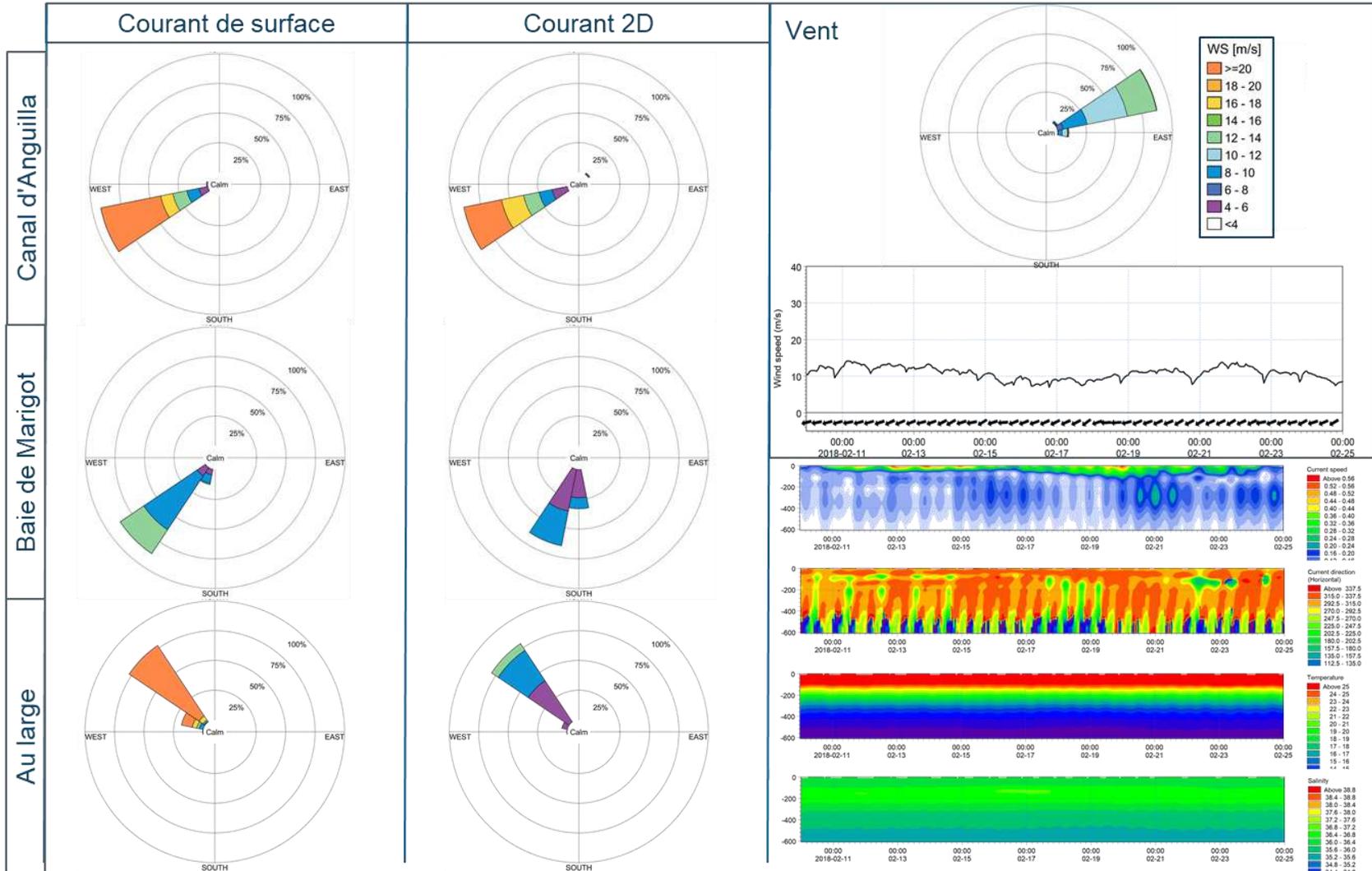
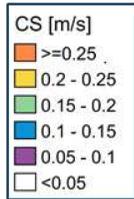
A Description des scénarios météo-océaniques identifiés

A.1 Climatologie [2011-2020]

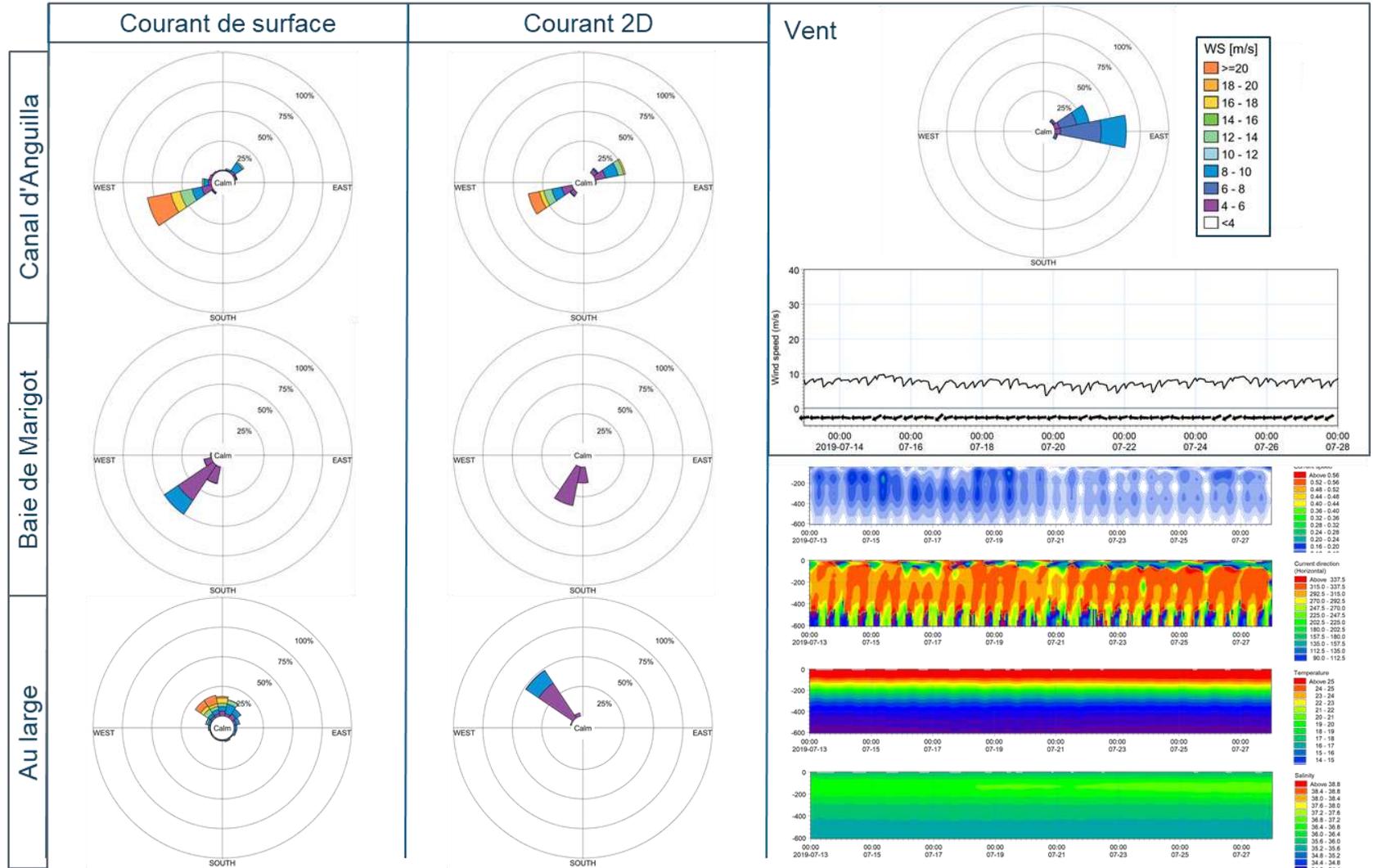
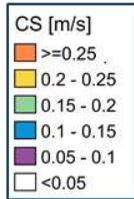


A.2 Scénario 1

1

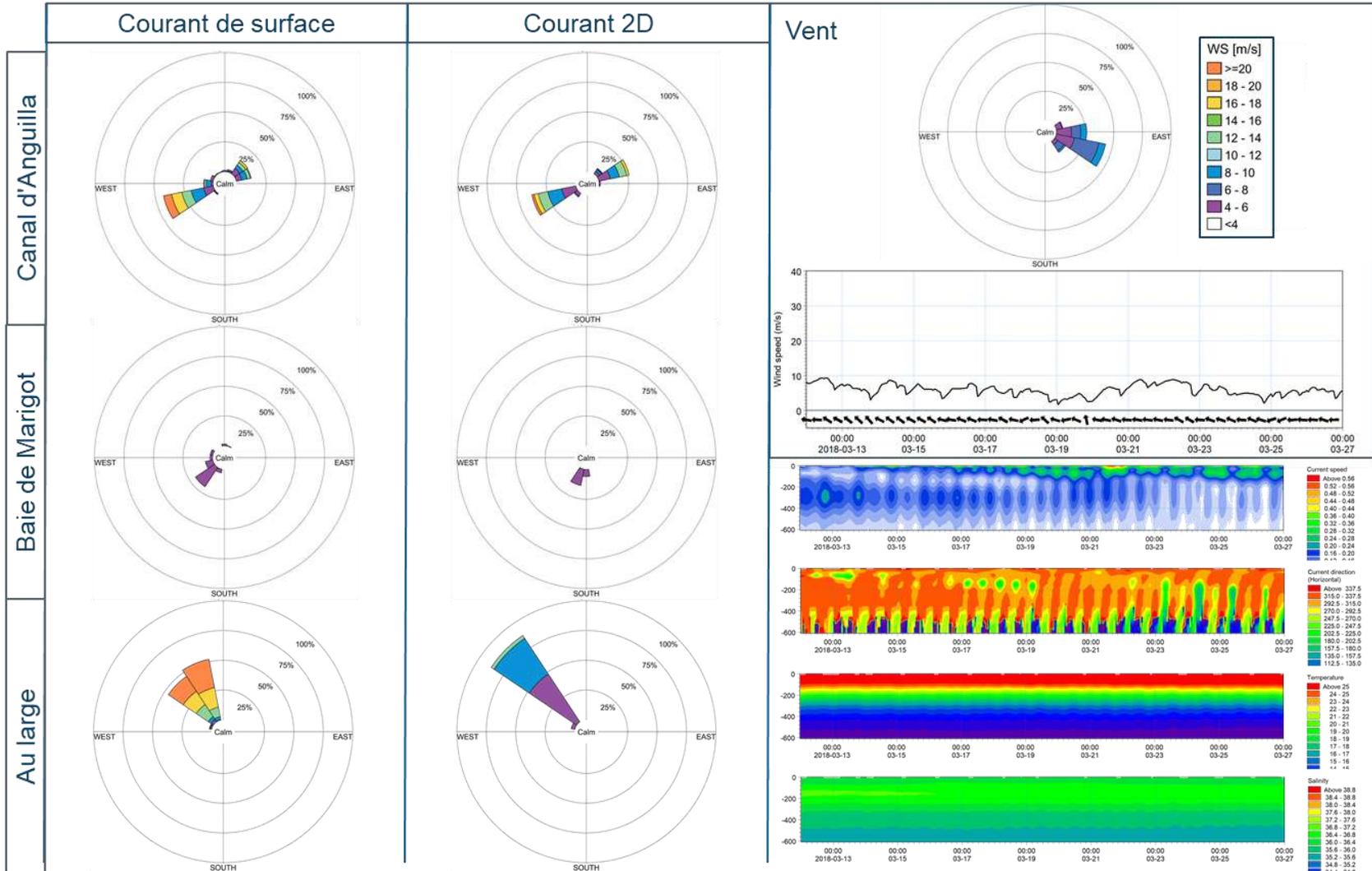
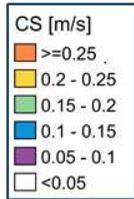


2

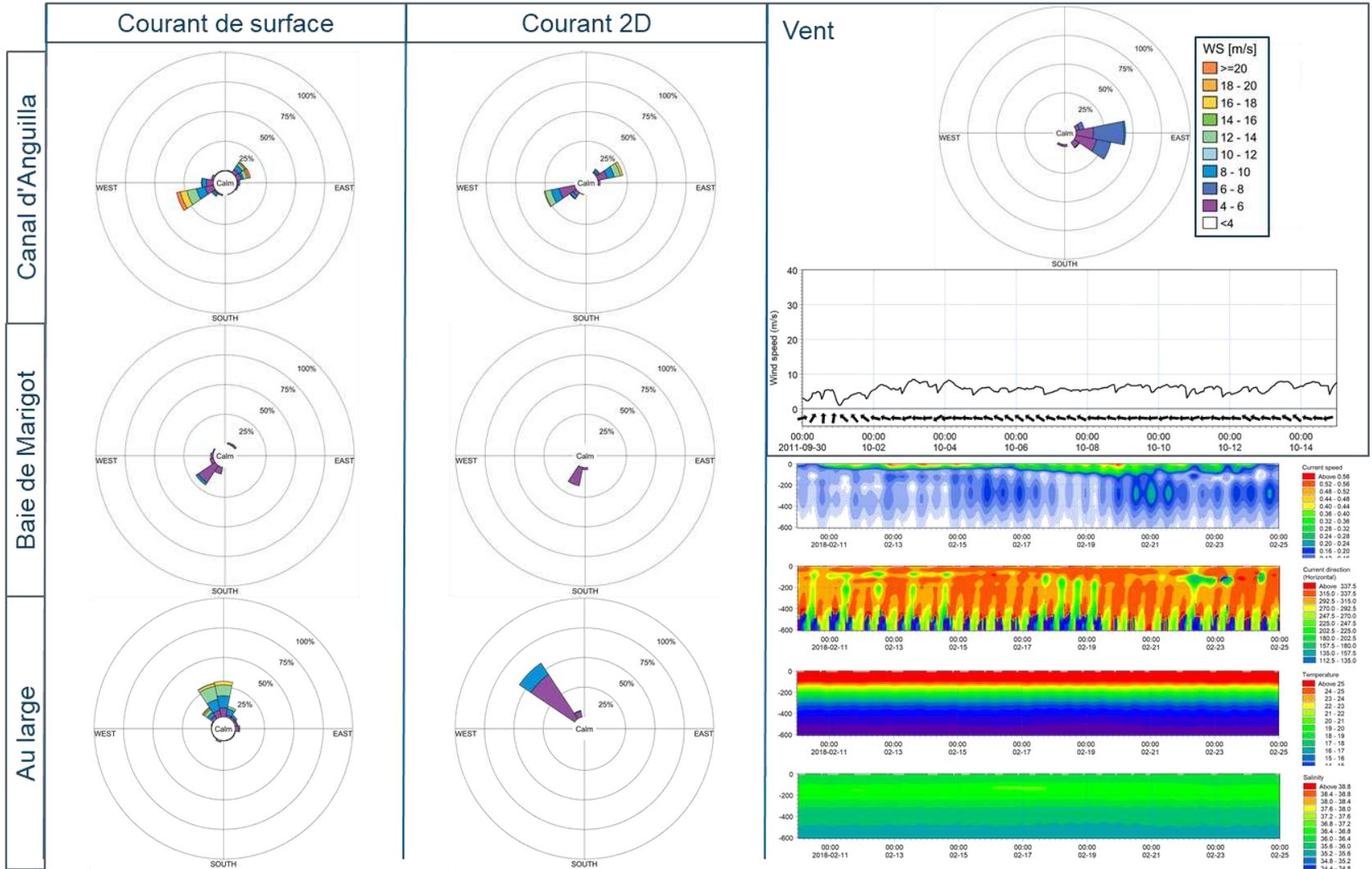
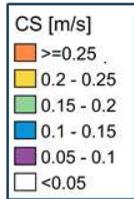


A.4 Scénario 3

3

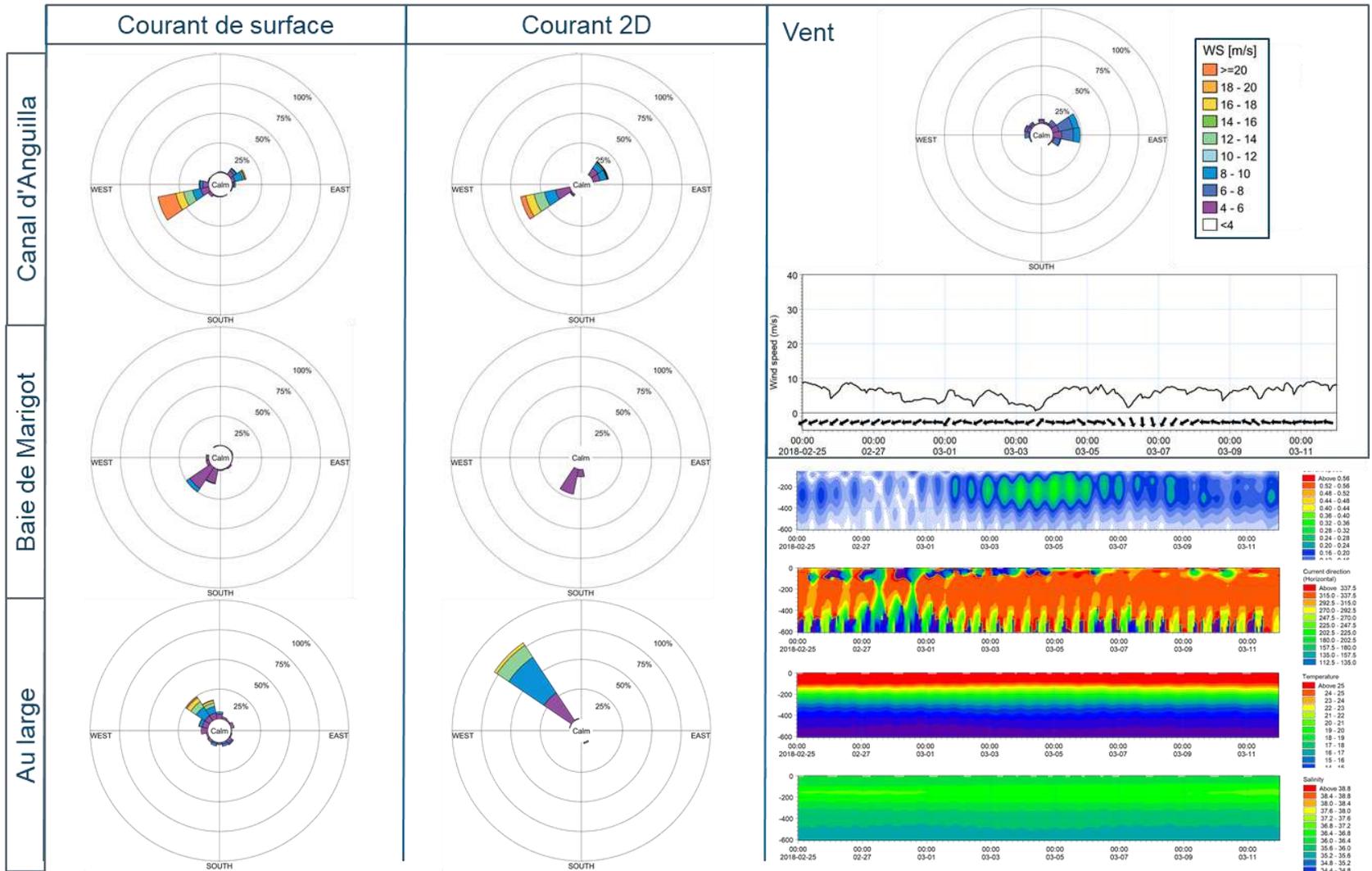
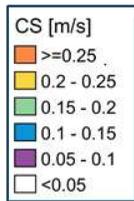


4

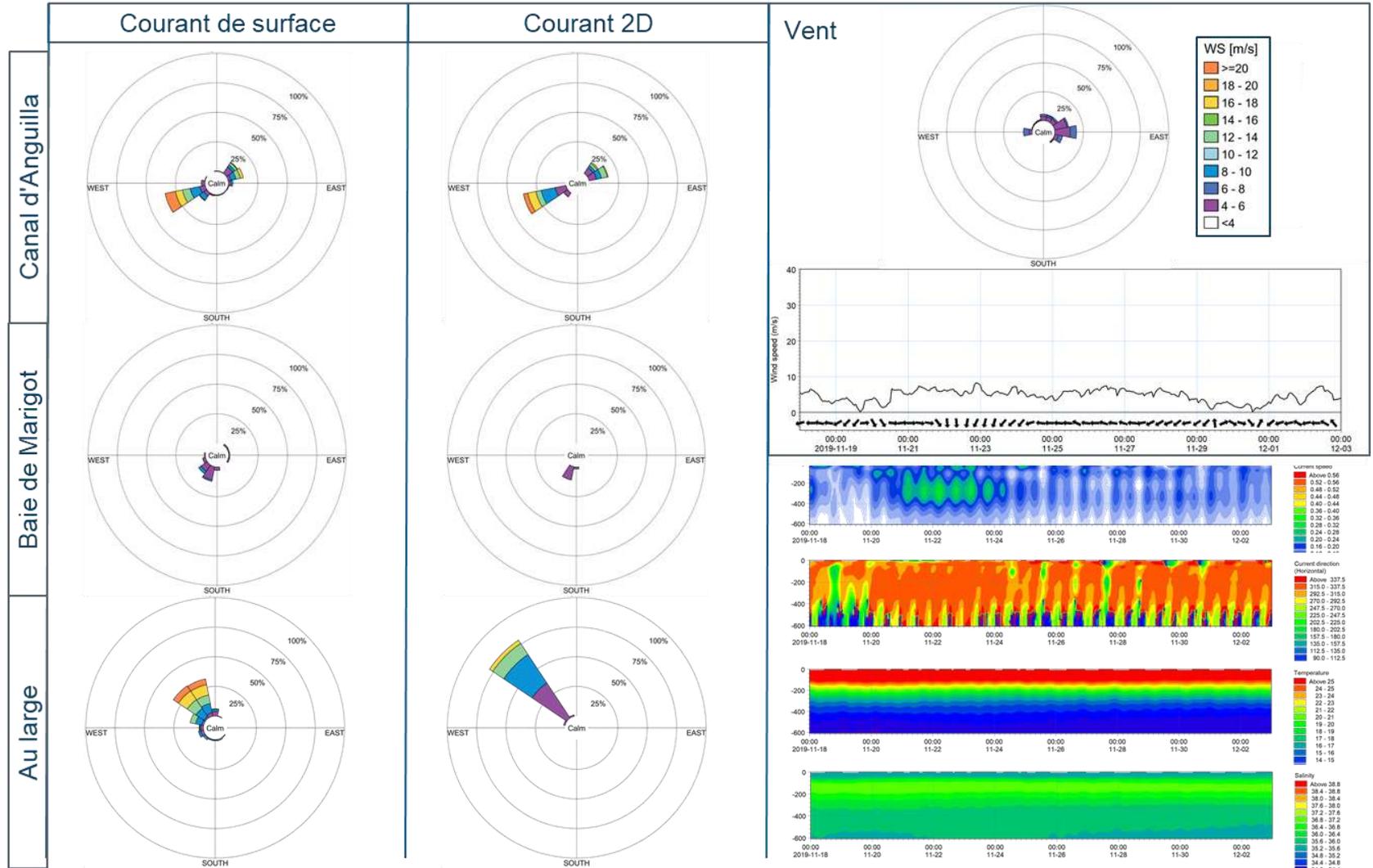
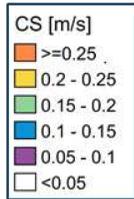


A.6 Scénario 5

5

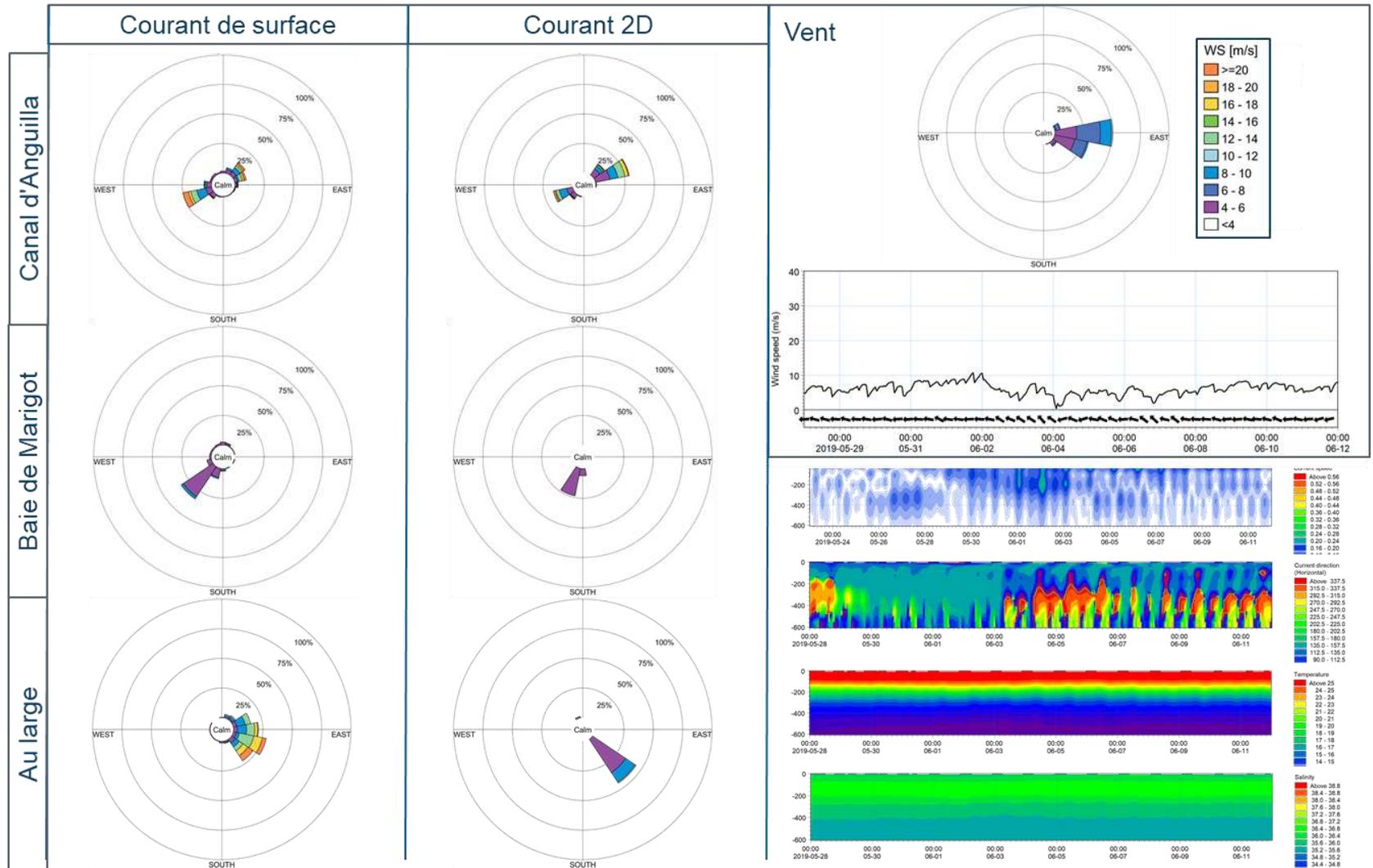
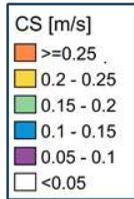


6

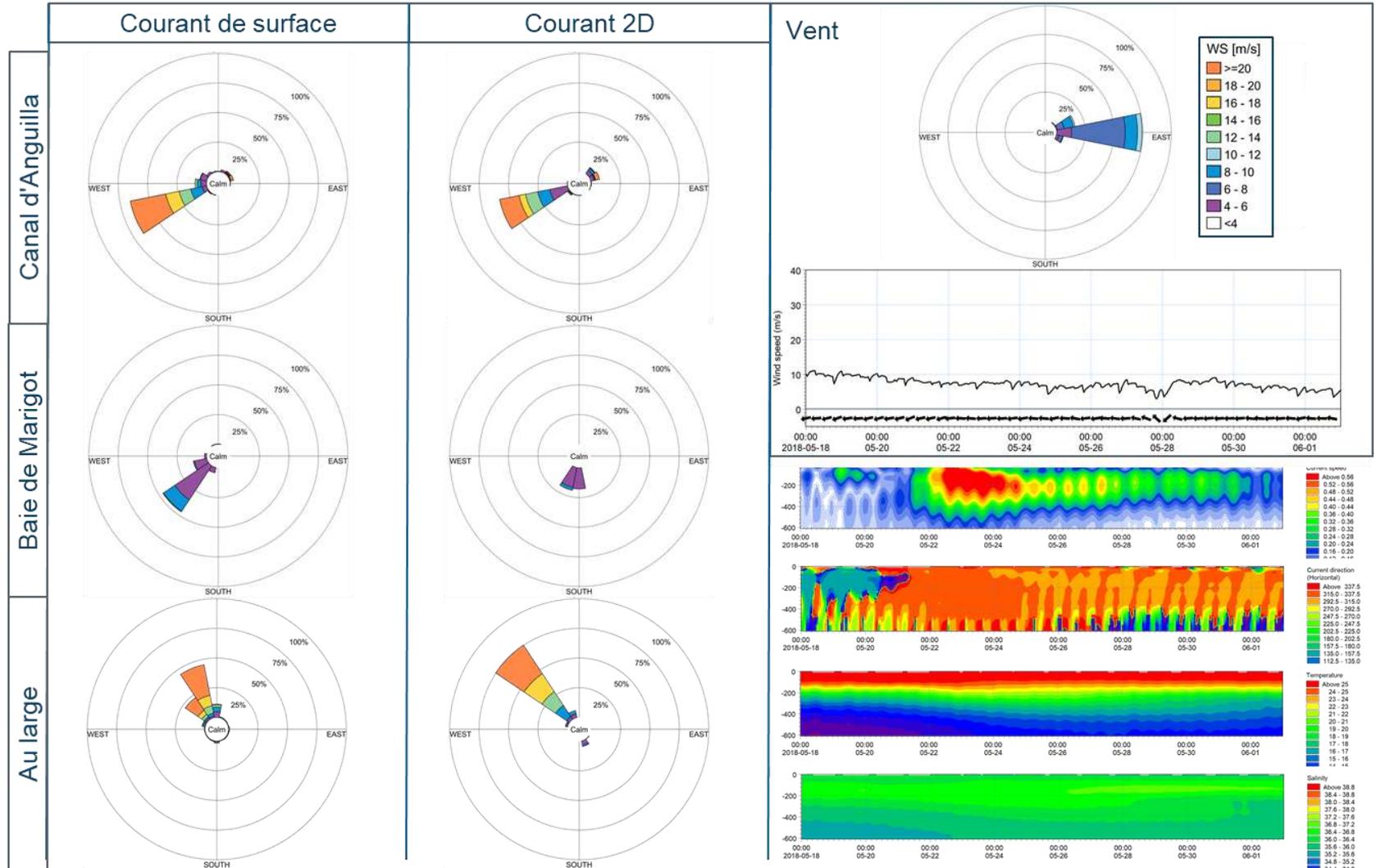
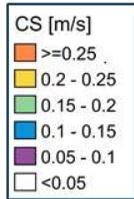


A.8 Scénario 7

7

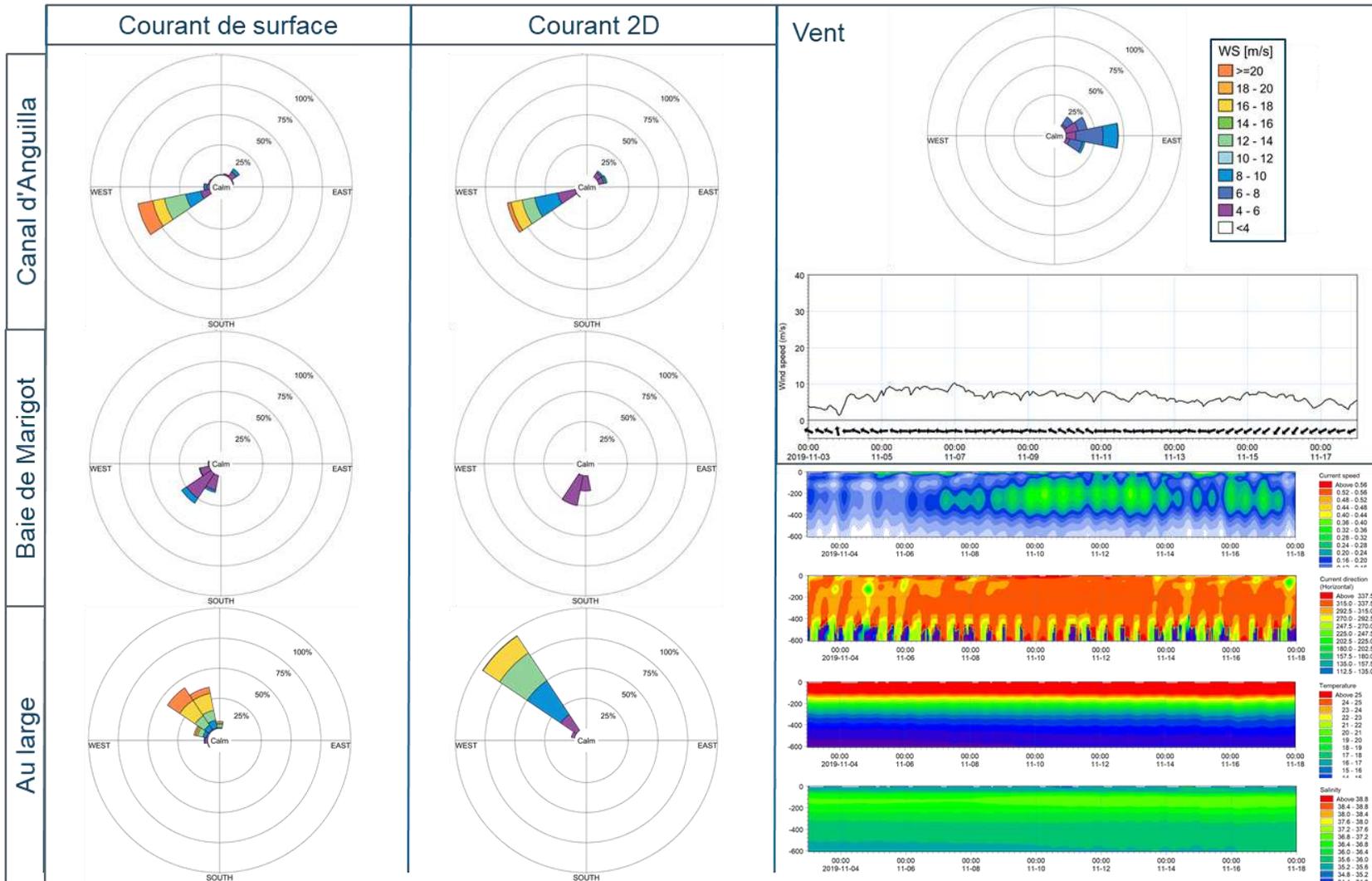
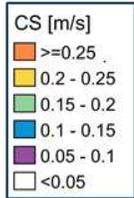


8



A.10 Scénario 9

9





ANNEXE B – Résultats de modélisation des clapages sur les sites d’immersion B2 et B6

B Résultats de modélisation des clapages sur les sites d'immersion B2 et B6

B.1. Les dépôts accumulés

Dépôts	
Scénario 1	B2

Argiles

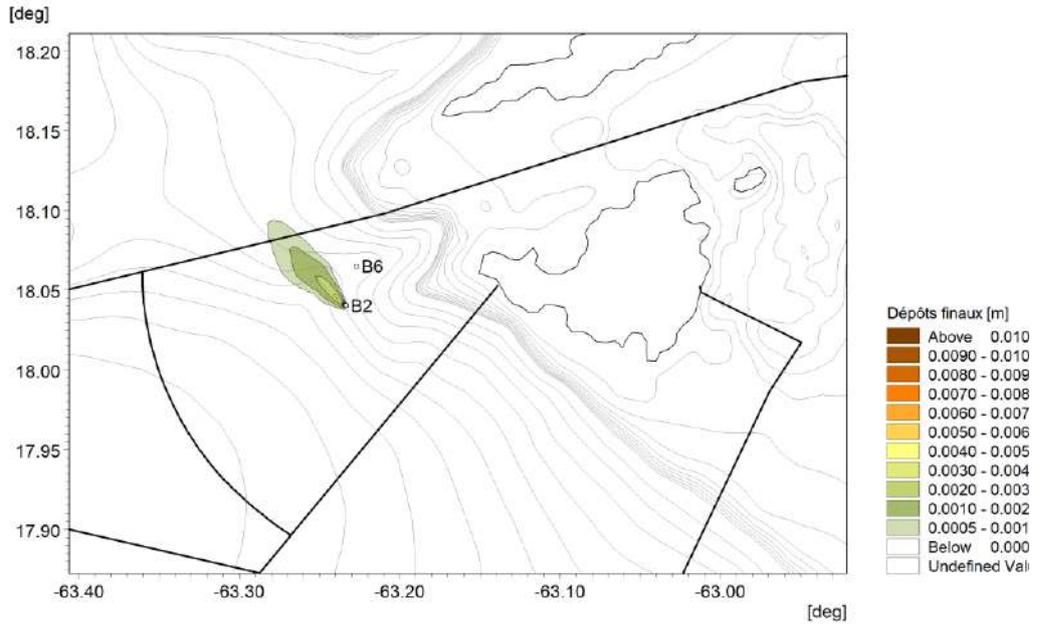


Figure 6-1 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B2.

Calcaires

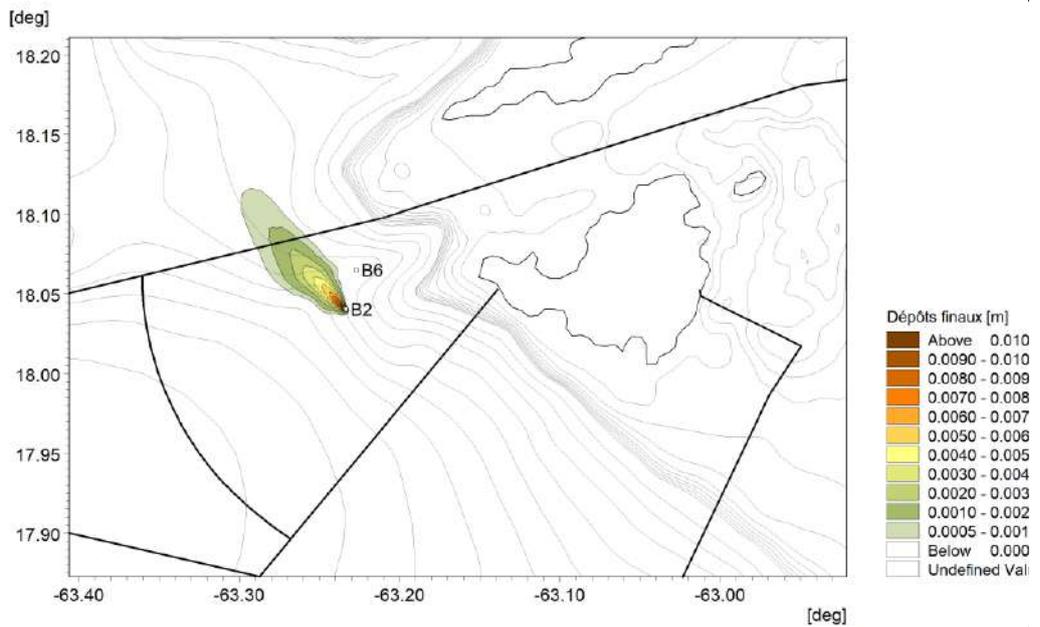


Figure 6-2 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 1	B6

Argiles

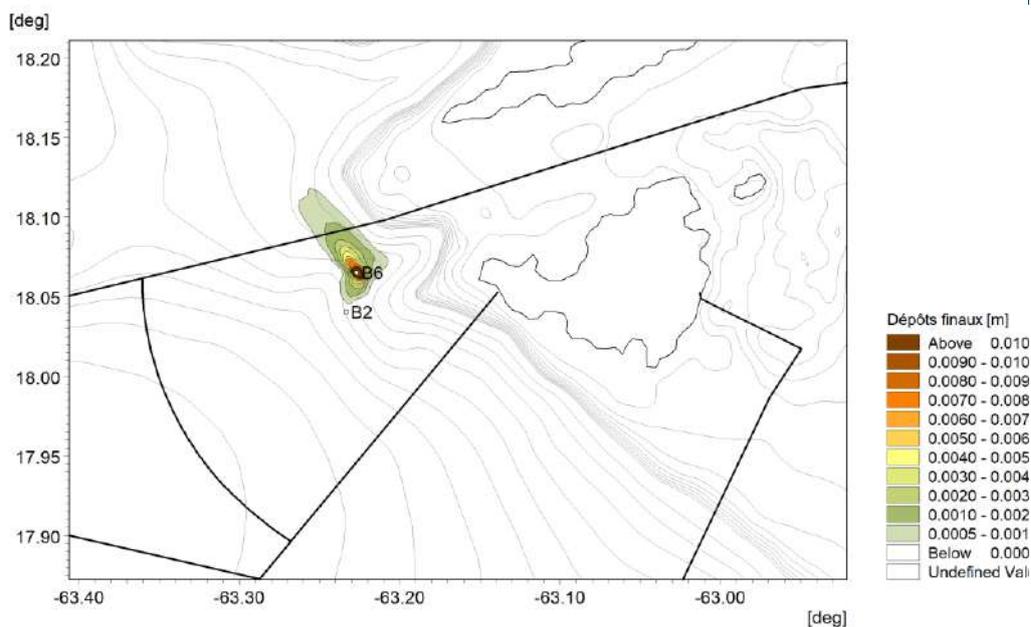


Figure 6-3 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des argiles en B6.

Calcaires

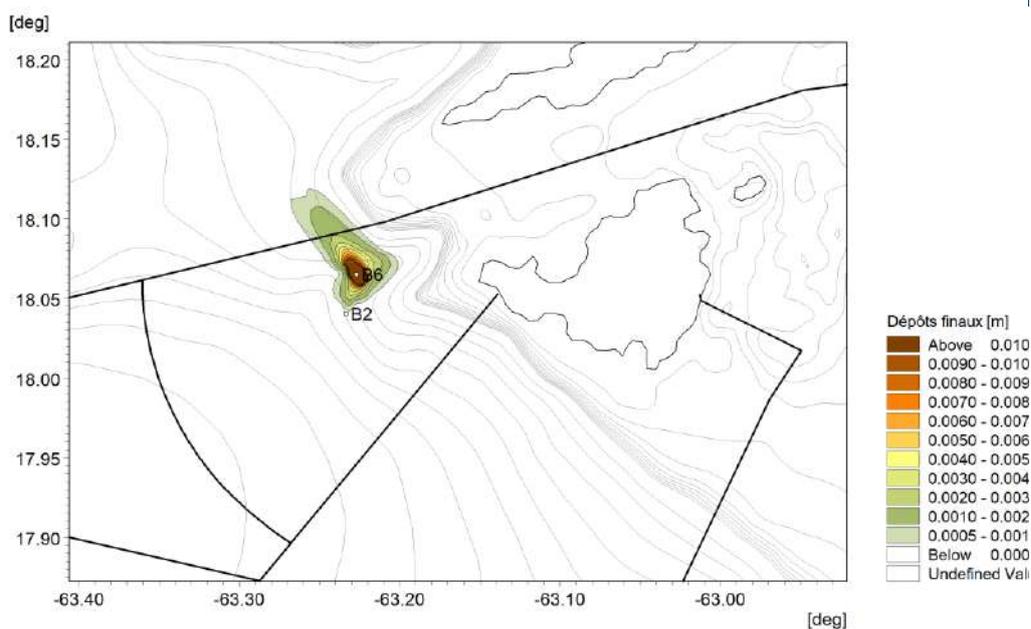


Figure 6-4 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 1, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 2	B2

Argiles

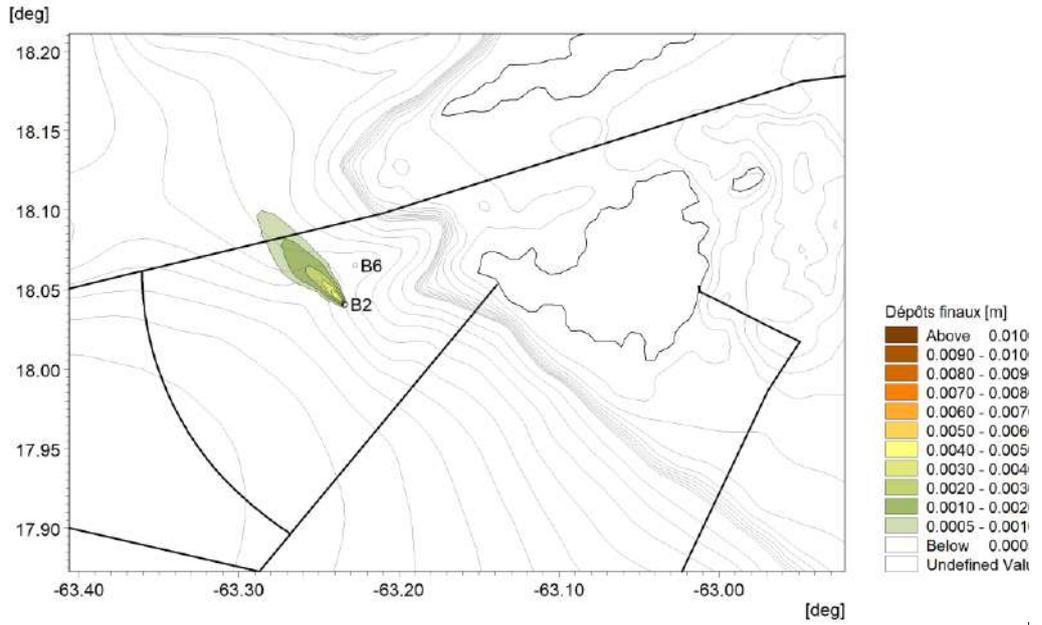


Figure 6-5 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des argiles en B2.

Calcaires

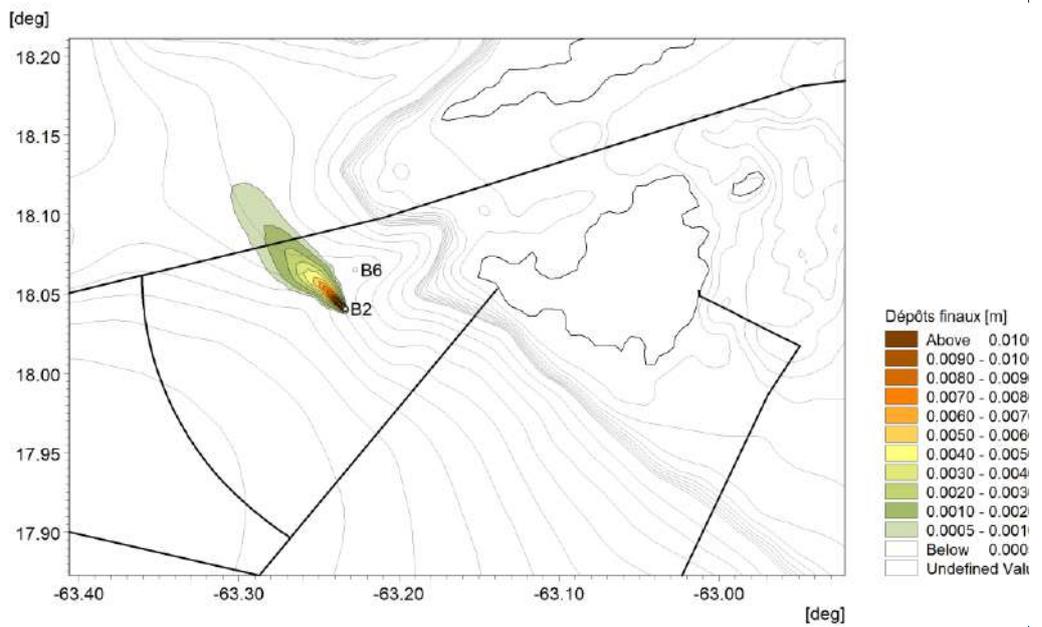


Figure 6-6 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 2	B6

Argiles

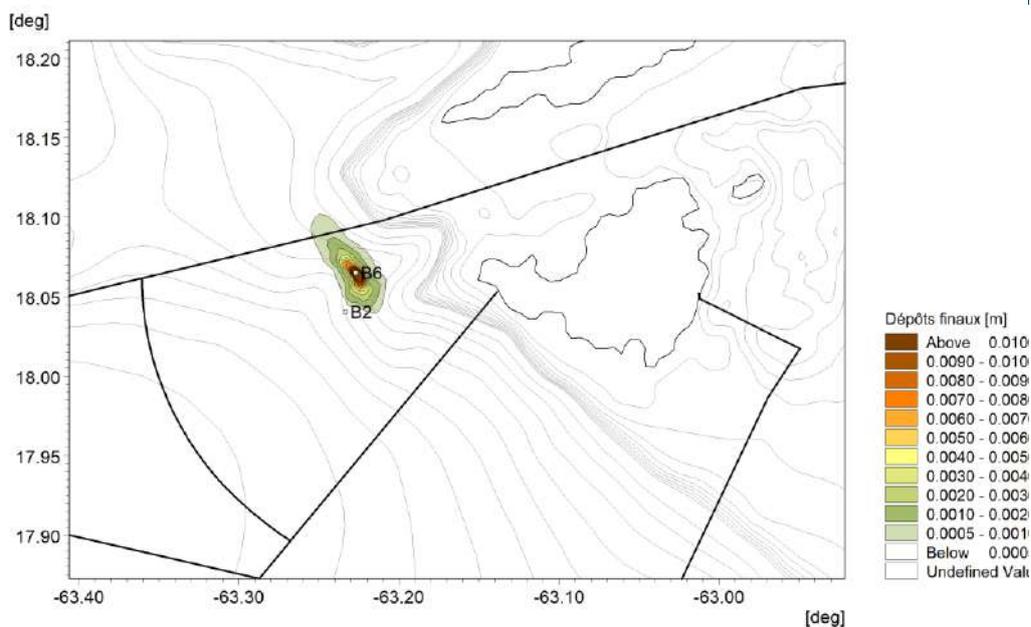


Figure 6-7 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des argiles en B6.

Calcaires

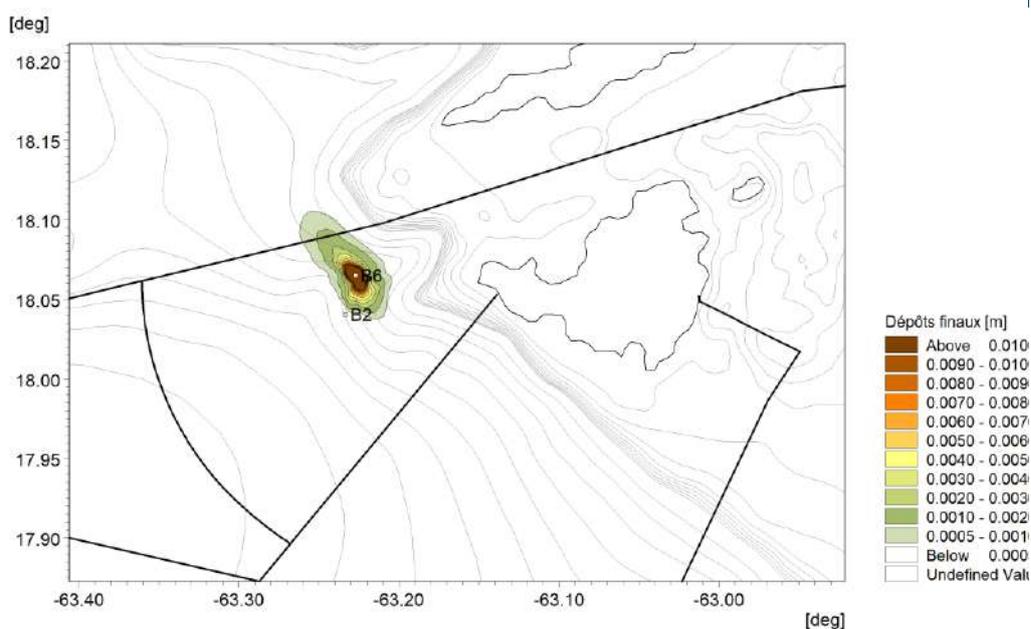


Figure 6-8 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 2, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 3	B2

Argiles

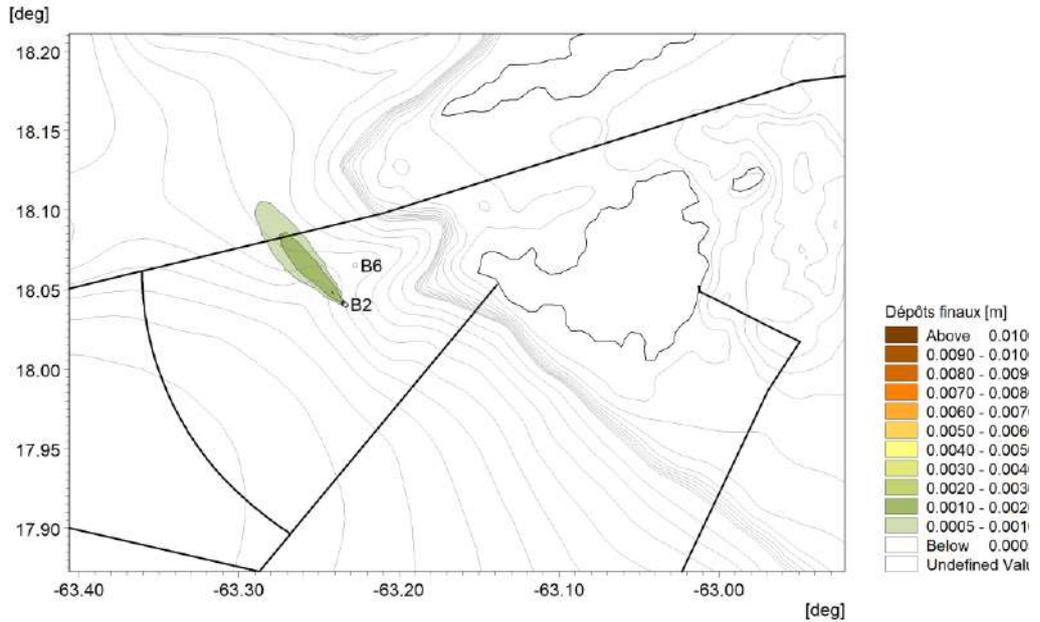


Figure 6-9 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des argiles en B2.

Calcaires

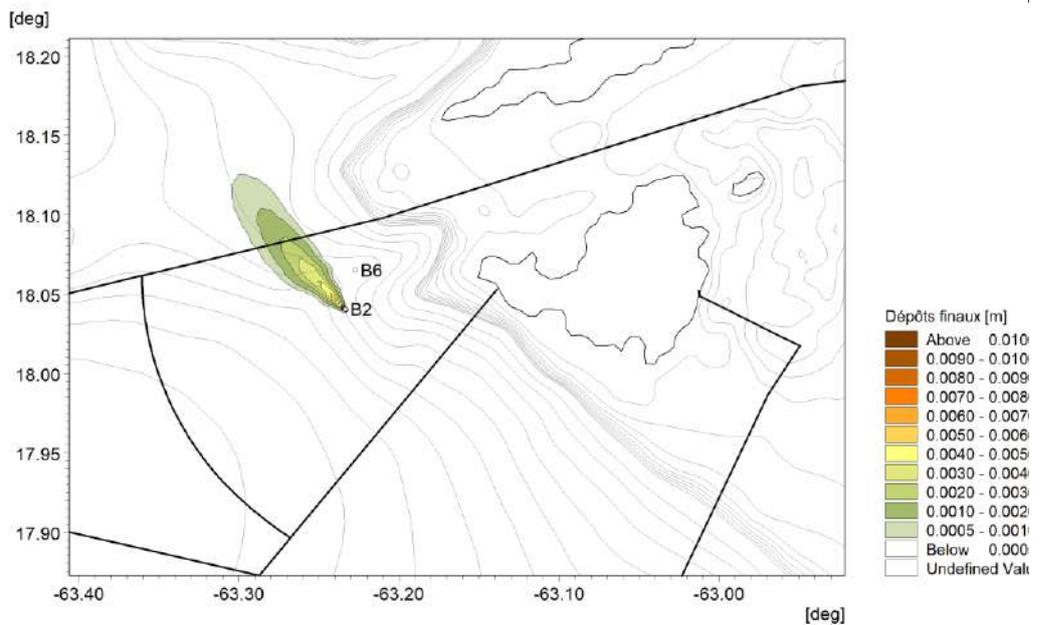


Figure 6-10 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 3	B6

Argiles

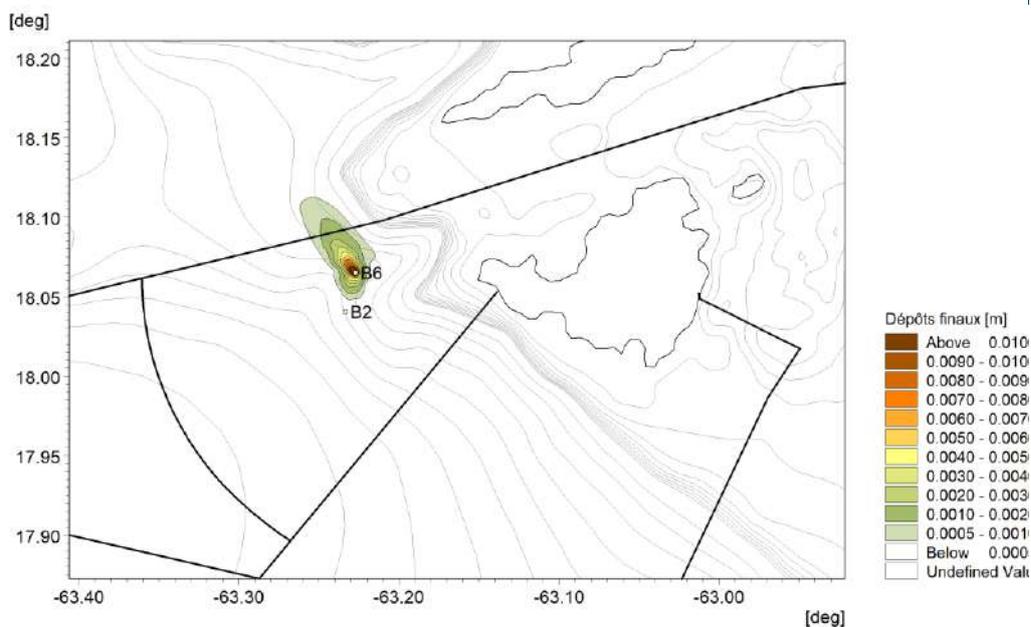


Figure 6-11 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des argiles en B6.

Calcaires

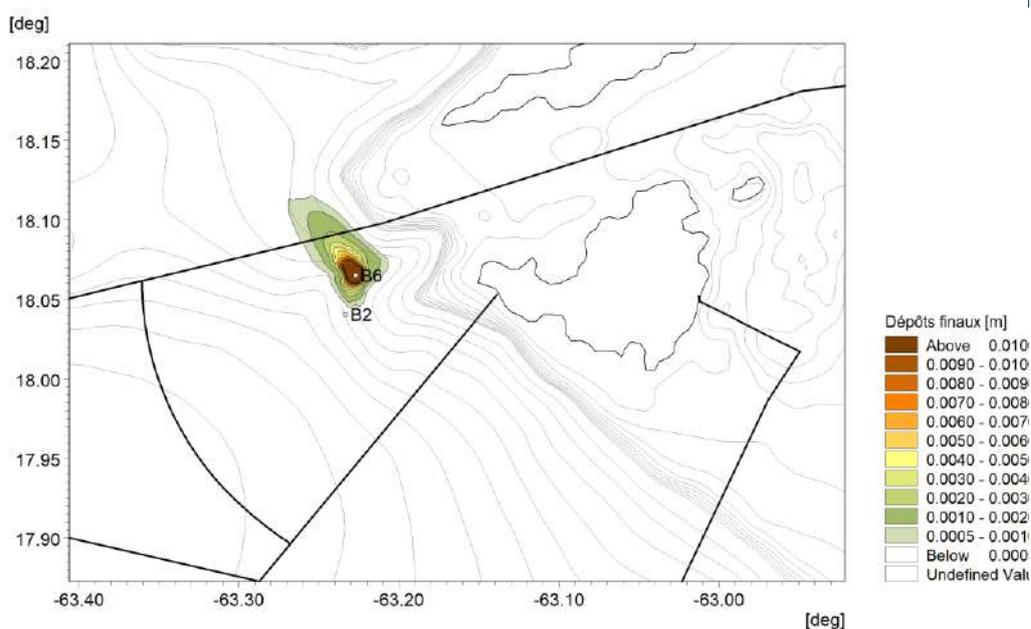


Figure 6-12 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 3, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 4	B2

Argiles

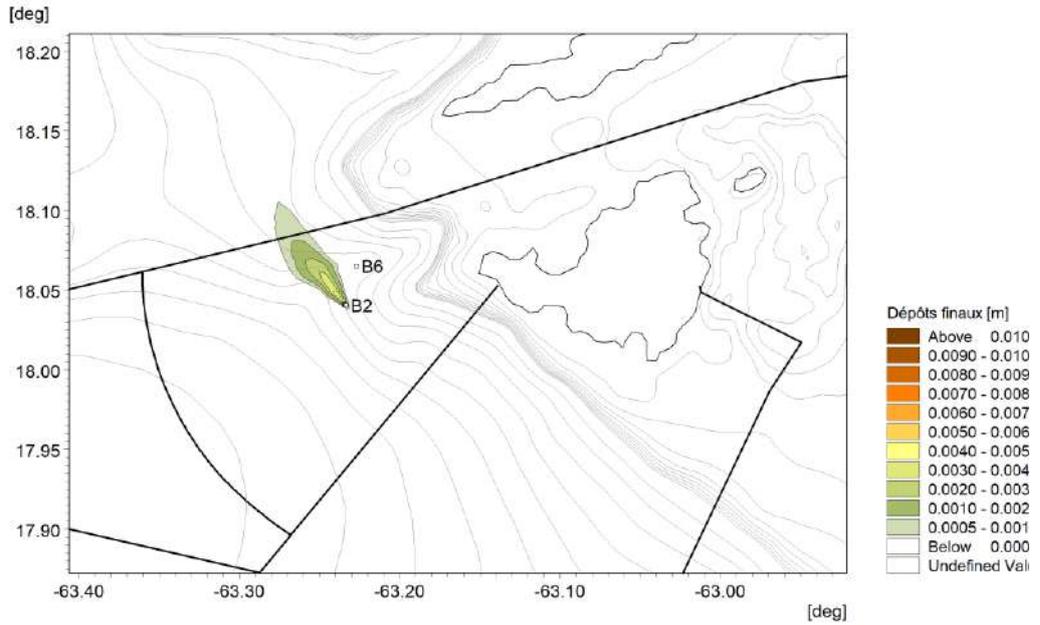


Figure 6-13 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des argiles en B2.

Calcaires

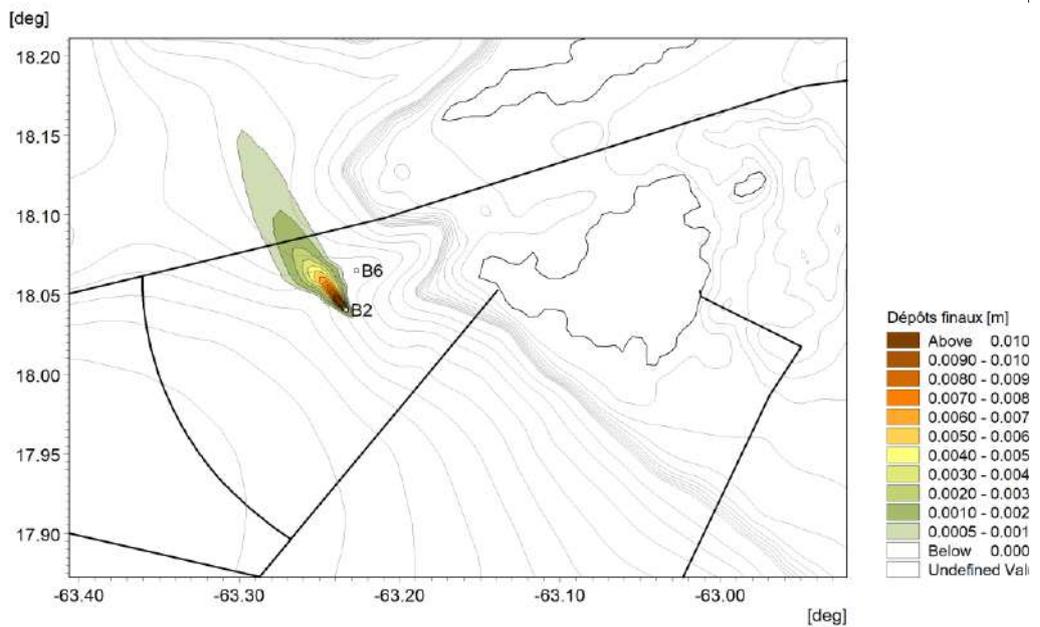


Figure 6-14 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 4	B6

Argiles

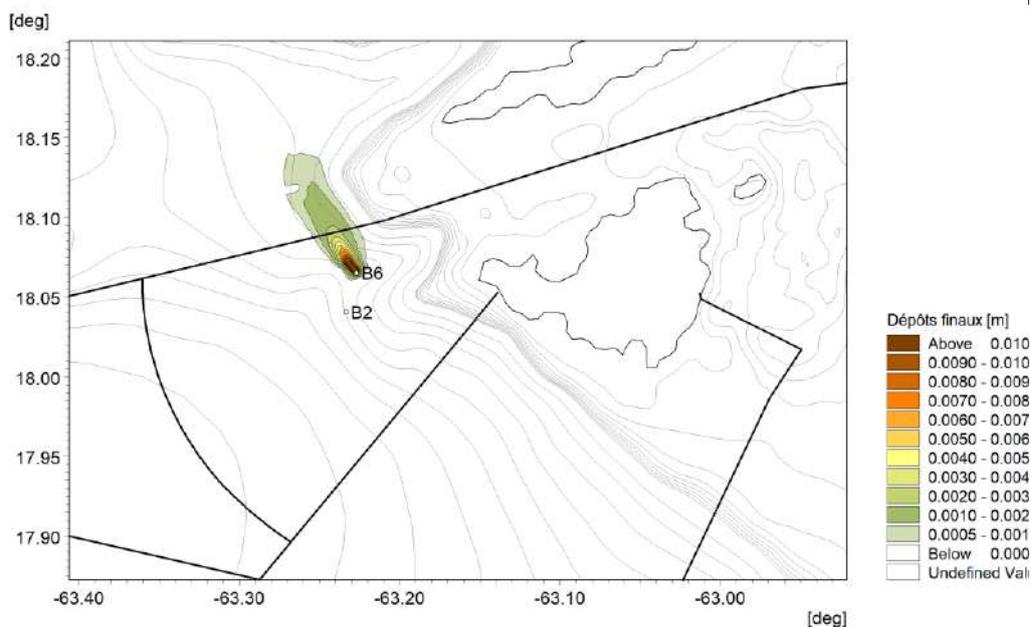


Figure 6-15 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des argiles en B6.

Calcaires

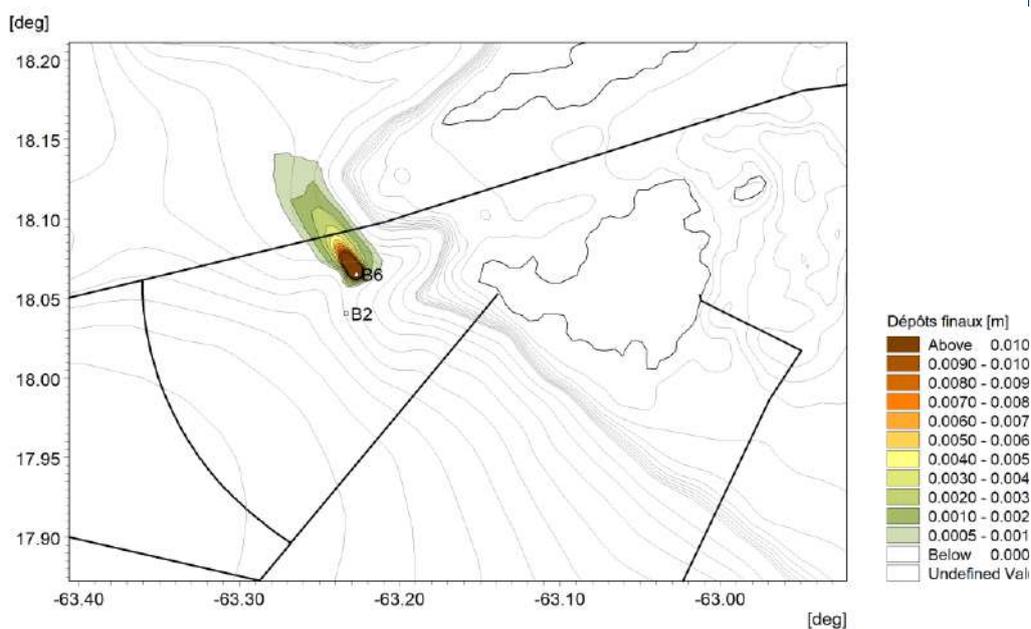


Figure 6-16 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 4, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 5	B2

Argiles

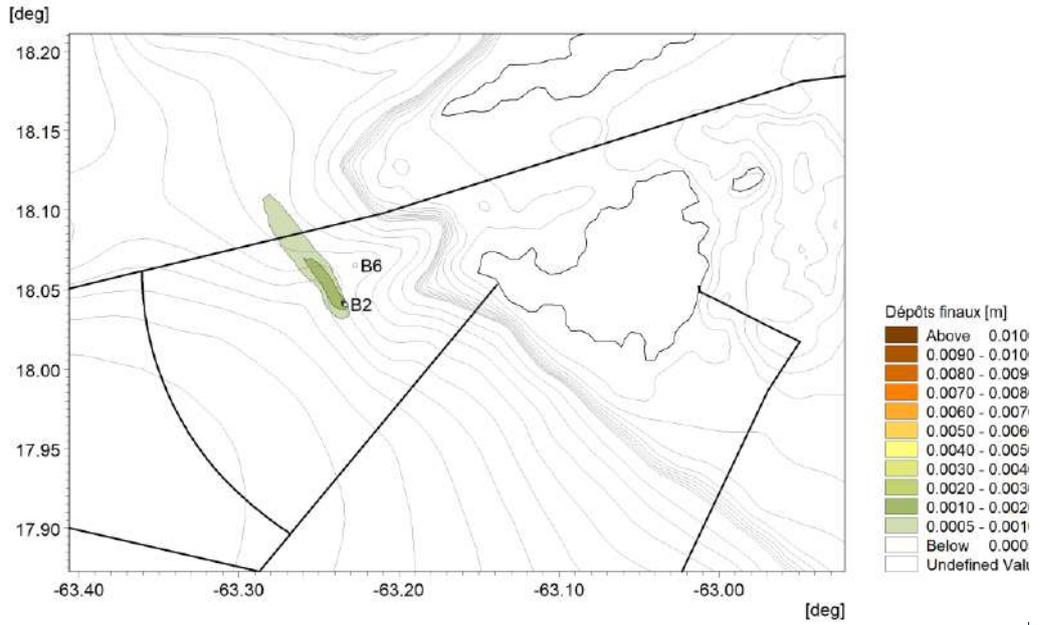


Figure 6-17 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des argiles en B2.

Calcaires

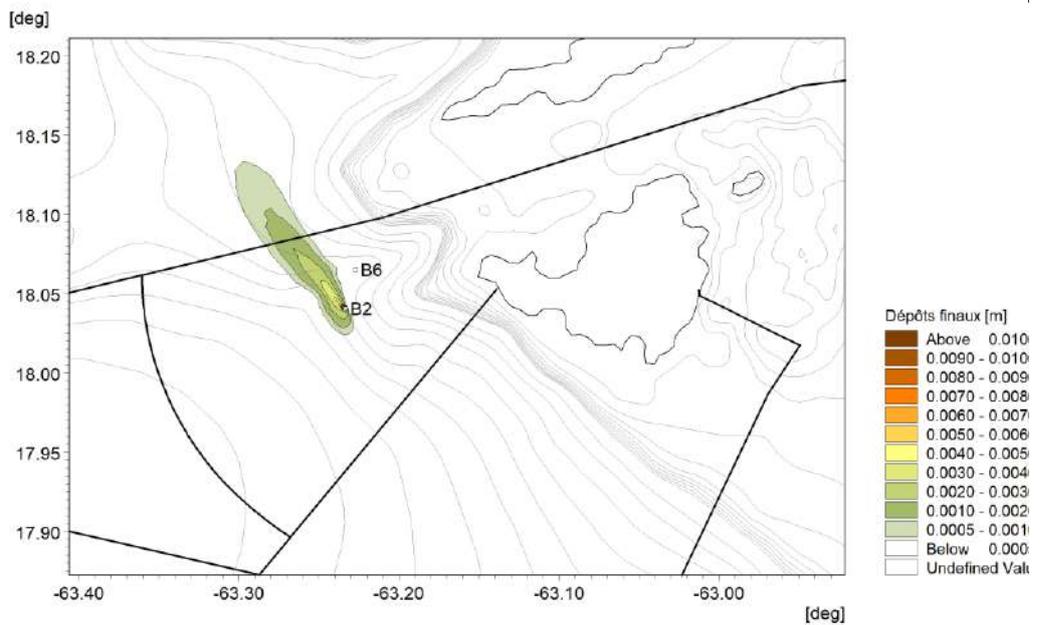


Figure 6-18 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 5	B6

Argiles

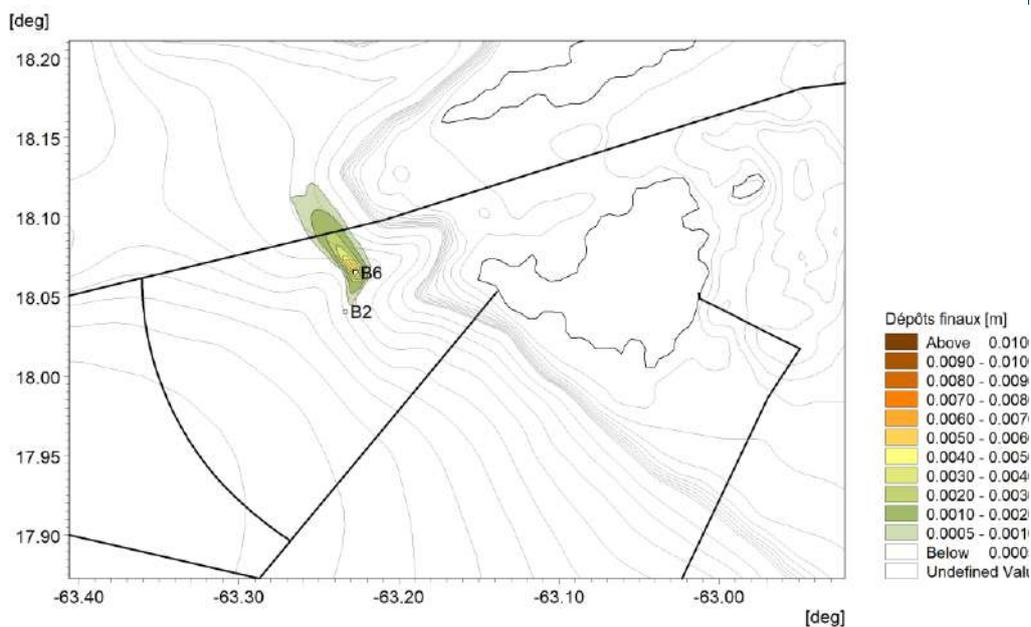


Figure 6-19 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des argiles en B6.

Calcaires

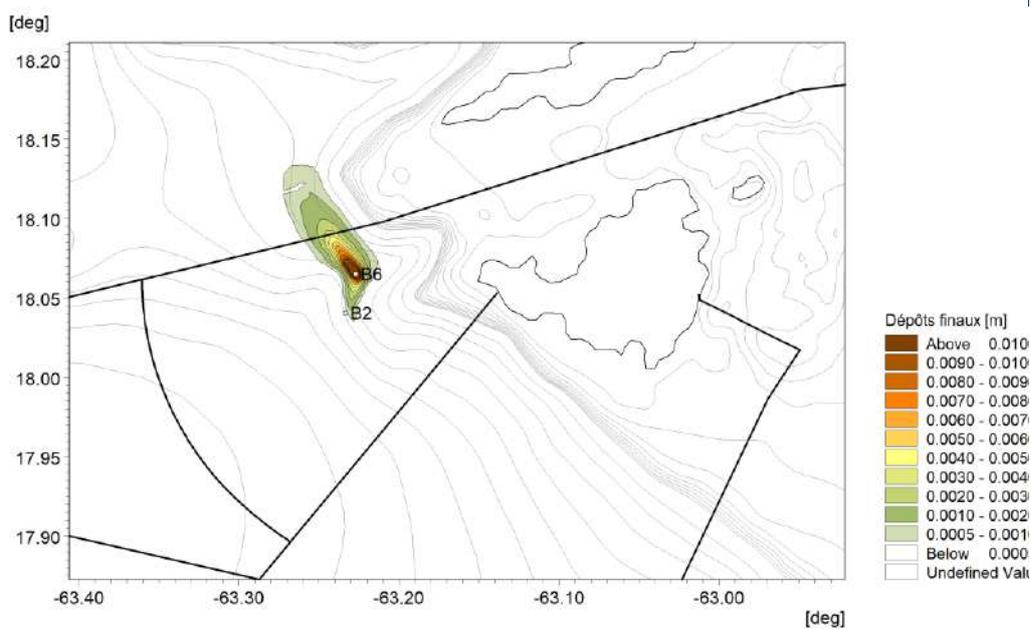


Figure 6-20 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 5, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 6	B2

Argiles

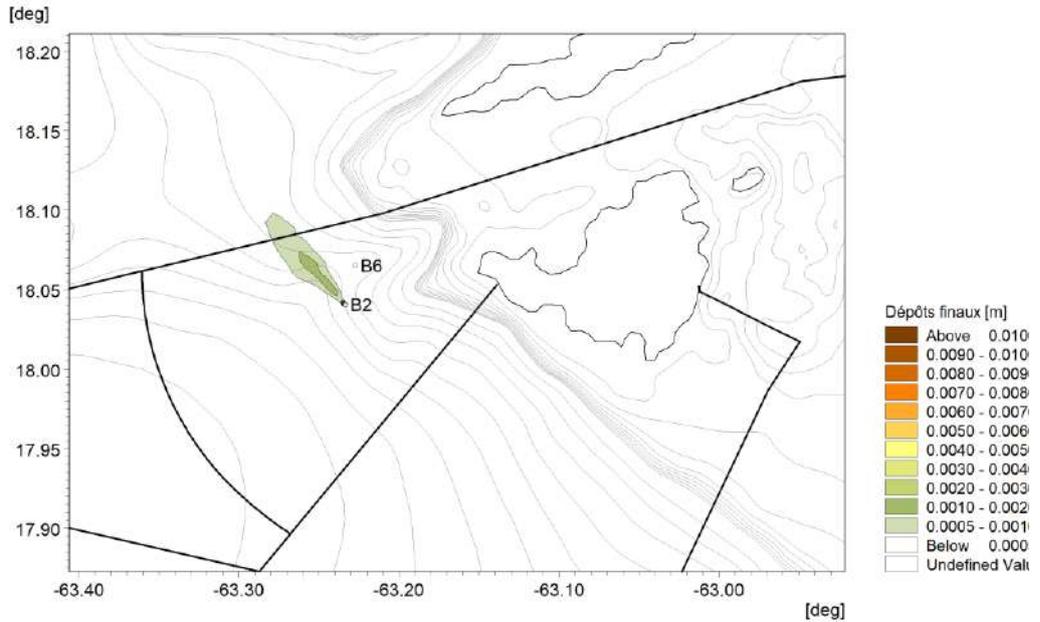


Figure 6-21 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des argiles en B2.

Calcaires

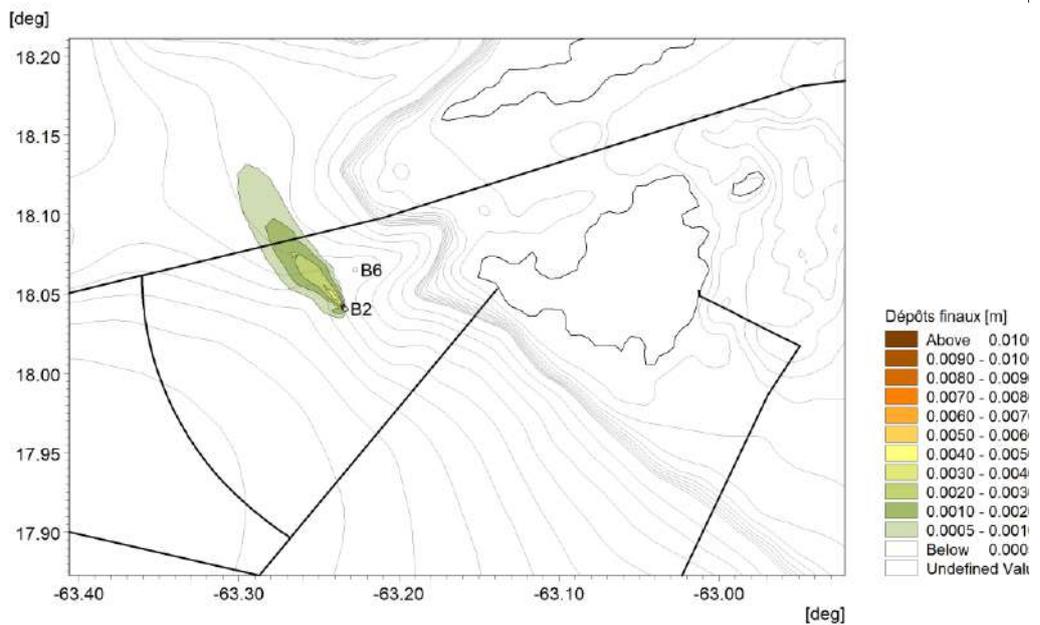


Figure 6-22 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 6	B6

Argiles

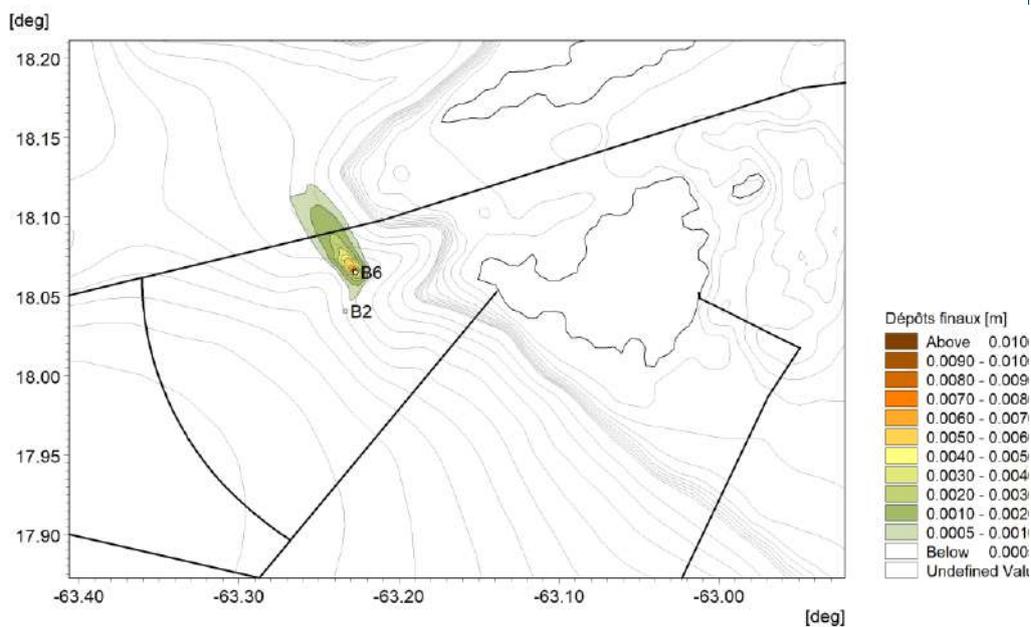


Figure 6-23 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des argiles en B6.

Calcaires

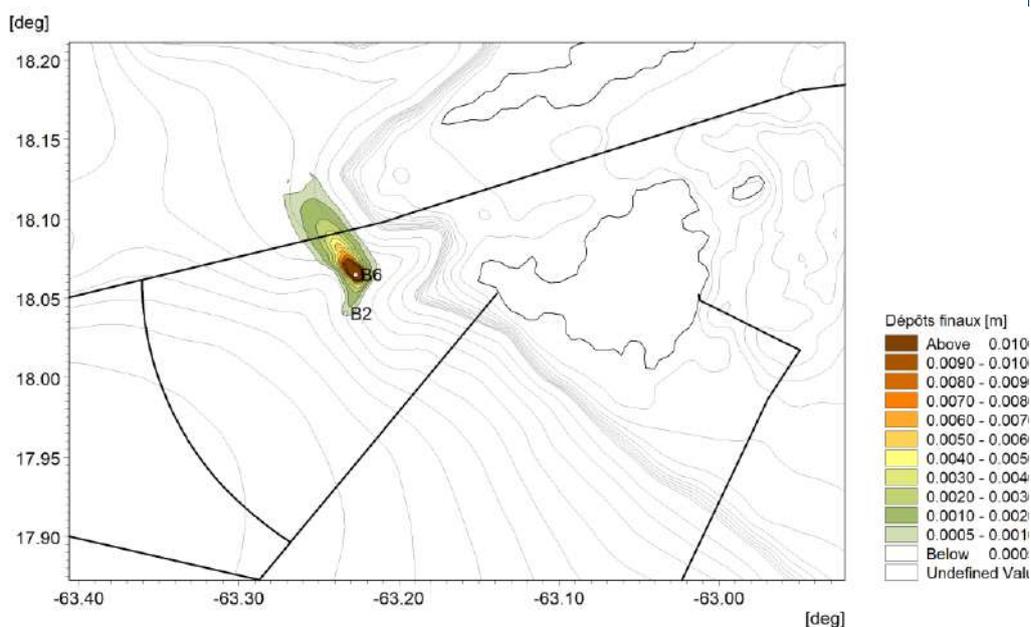


Figure 6-24 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 6, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 7	B2

Argiles

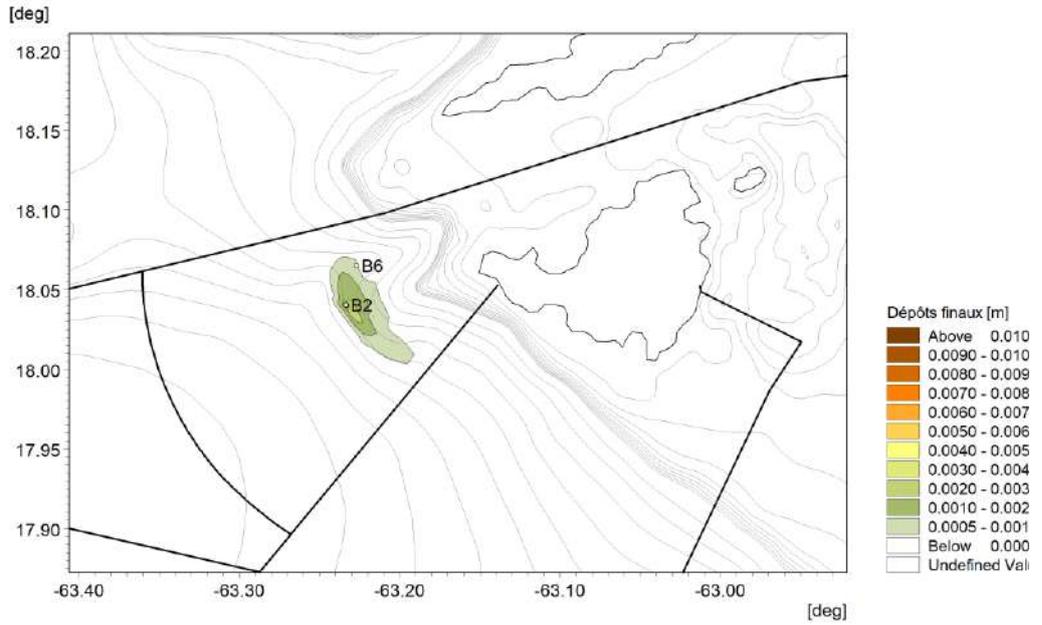


Figure 6-25 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B2.

Calcaires

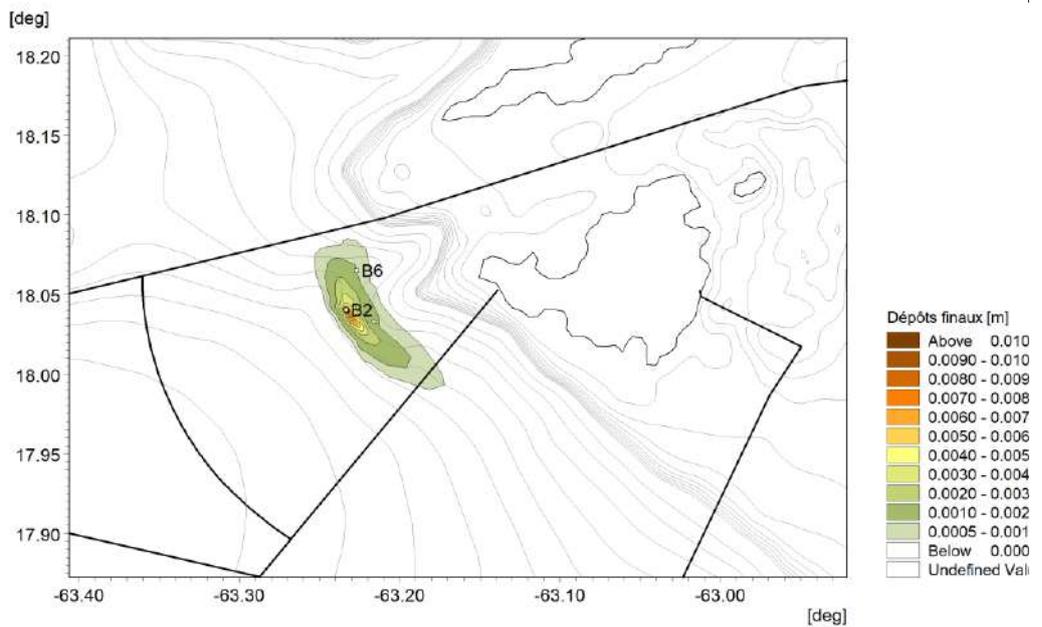


Figure 6-26 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 7	B6

Argiles

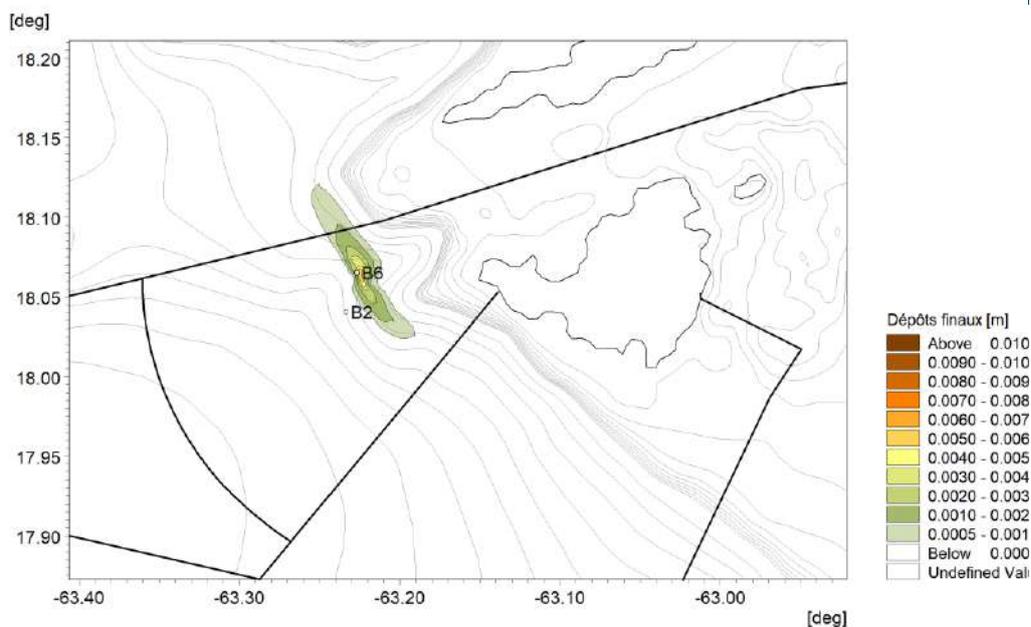


Figure 6-27 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des argiles en B6.

Calcaires

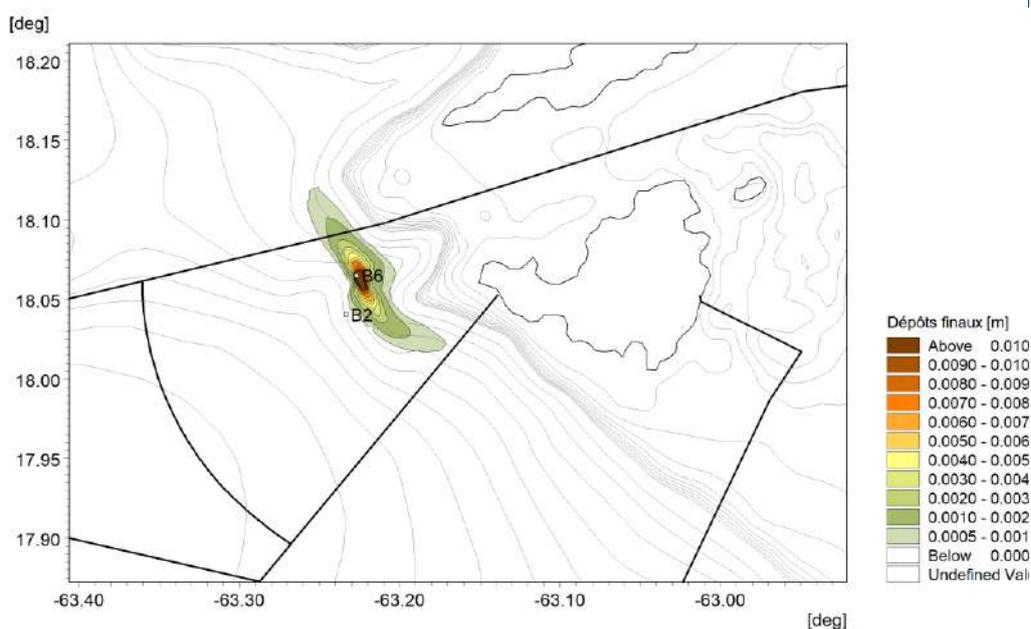


Figure 6-28 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 7, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 8	B2

Argiles

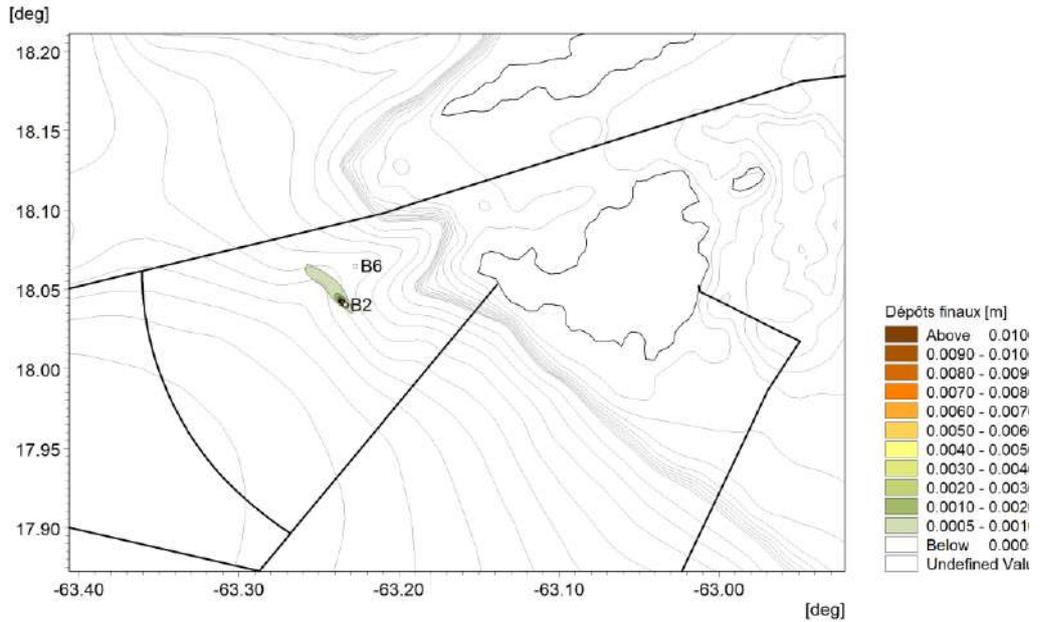


Figure 6-29 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des argiles en B2.

Calcaires

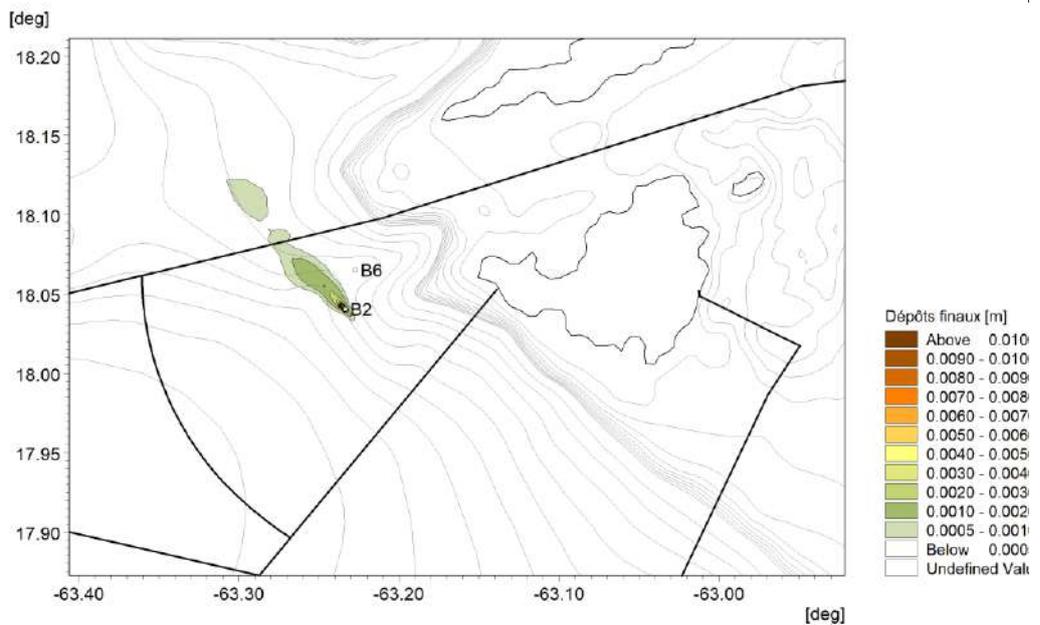


Figure 6-30 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 8	B6

Argiles

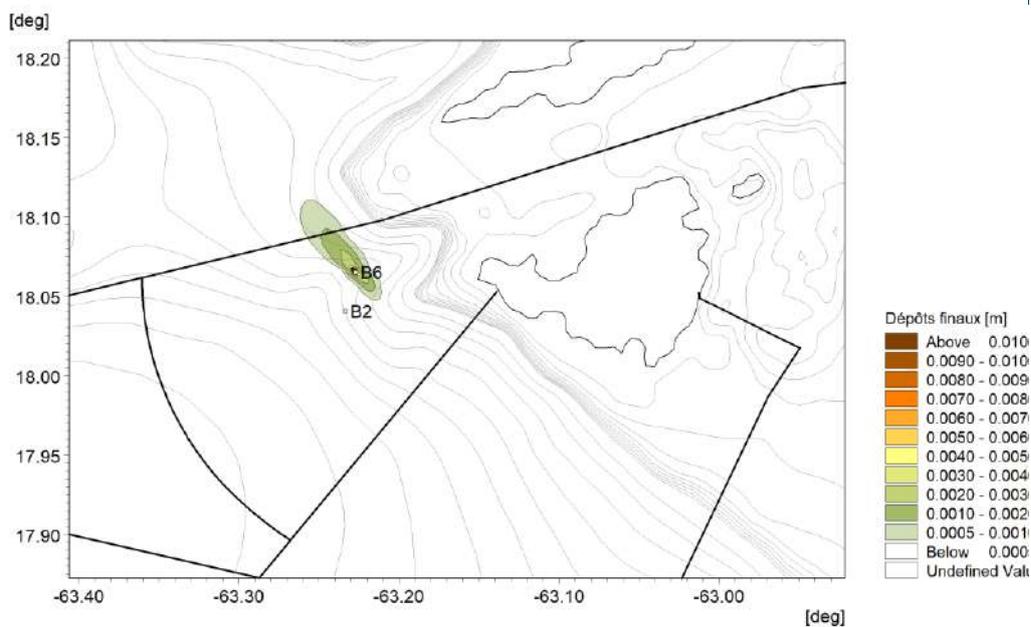


Figure 6-31 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des argiles en B6.

Calcaires

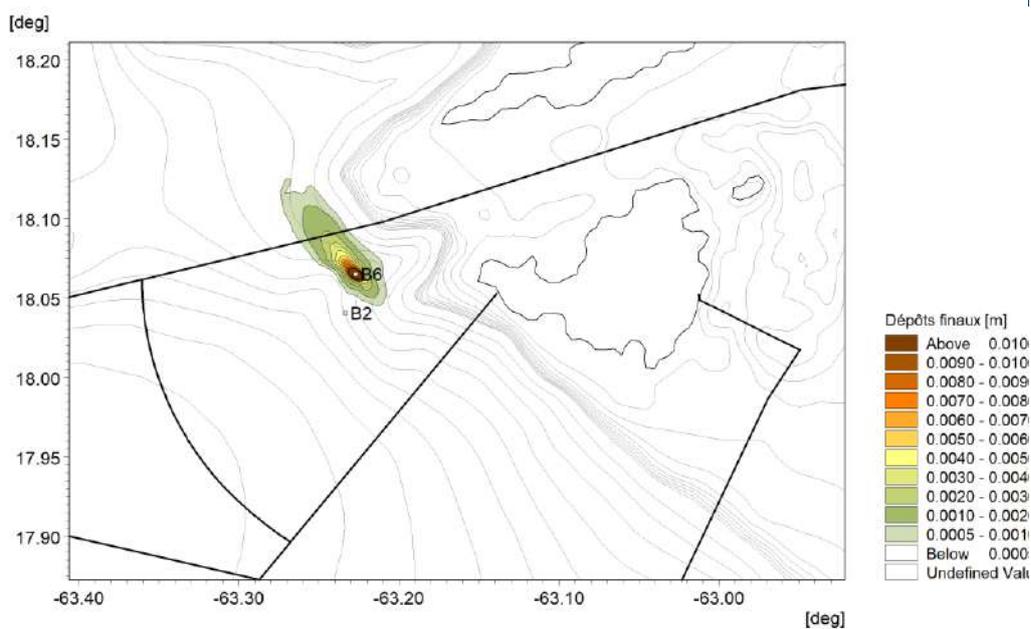


Figure 6-32 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 8, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario 9	B2

Argiles

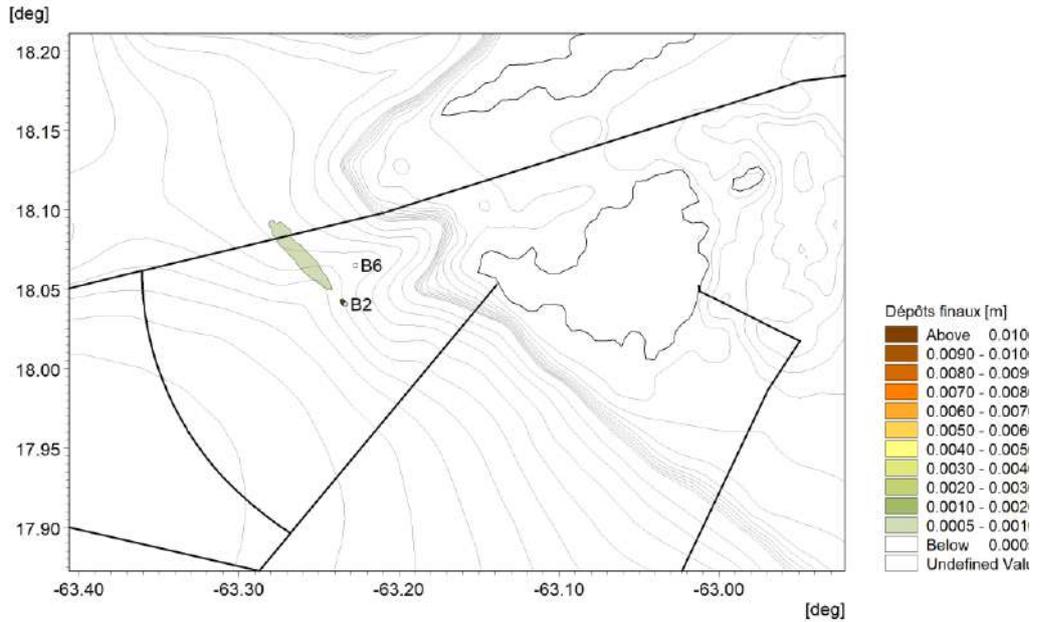


Figure 6-33 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des argiles en B2.

Calcaires

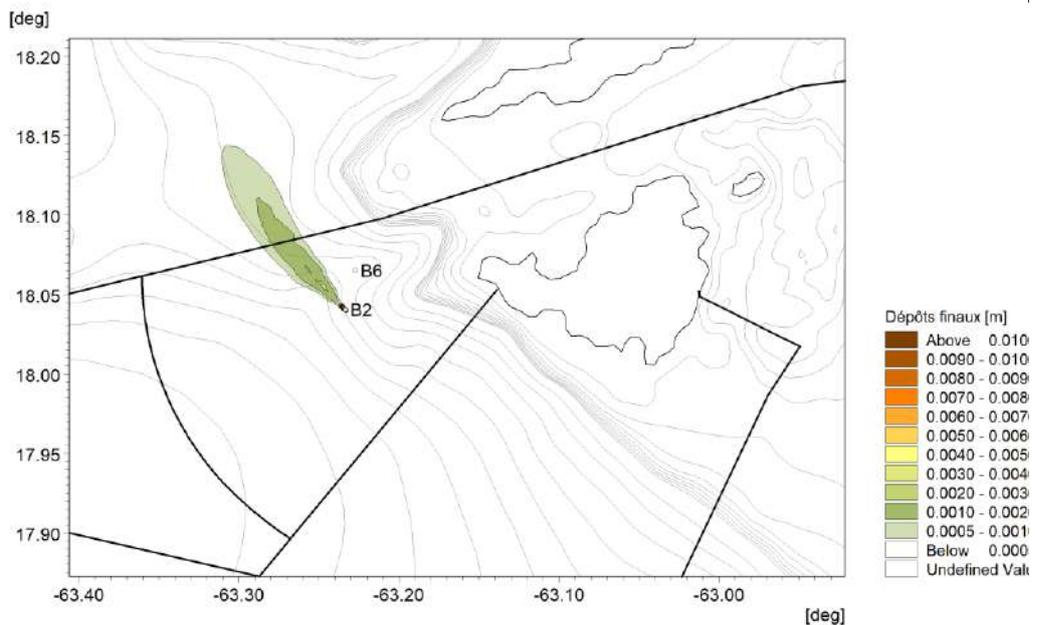


Figure 6-34 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario 9	B6

Argiles

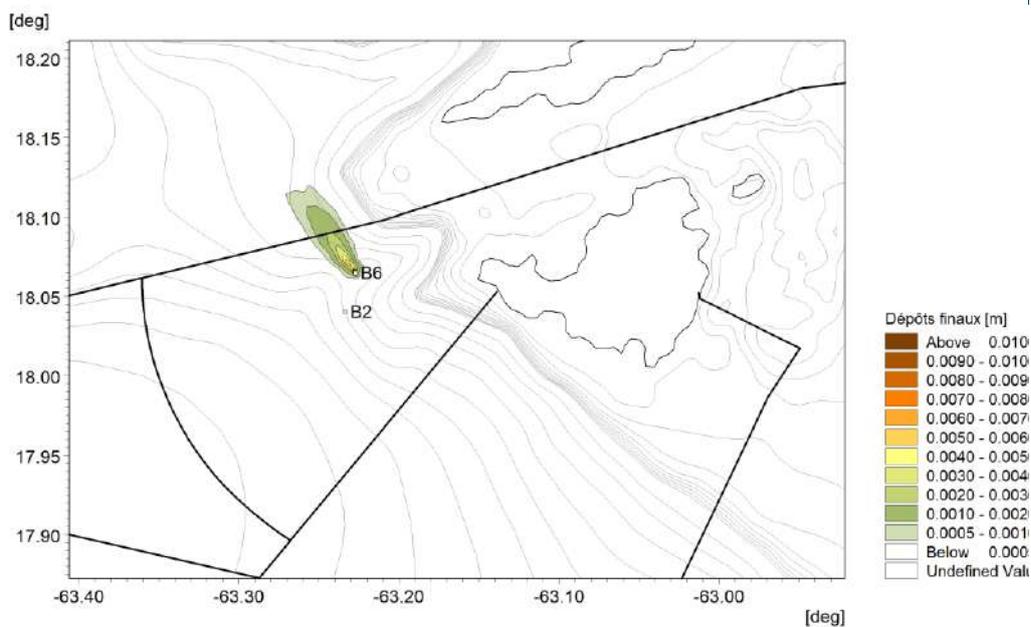


Figure 6-35 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des argiles en B6.

Calcaires

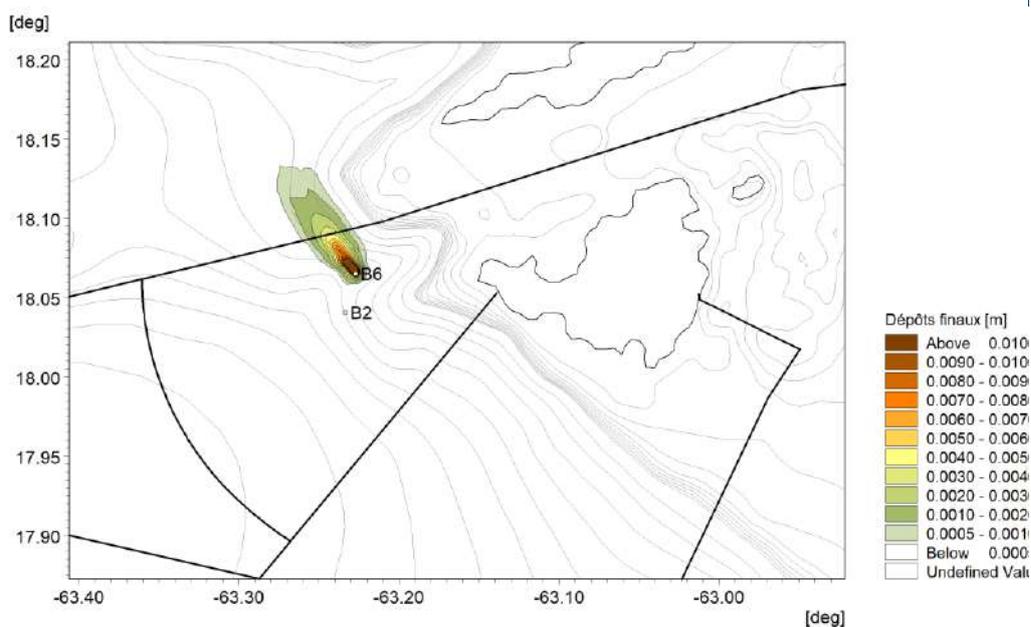


Figure 6-36 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario 9, clapage des calcaires en B6.

Dépôts	
Scénario long	B2

Argiles

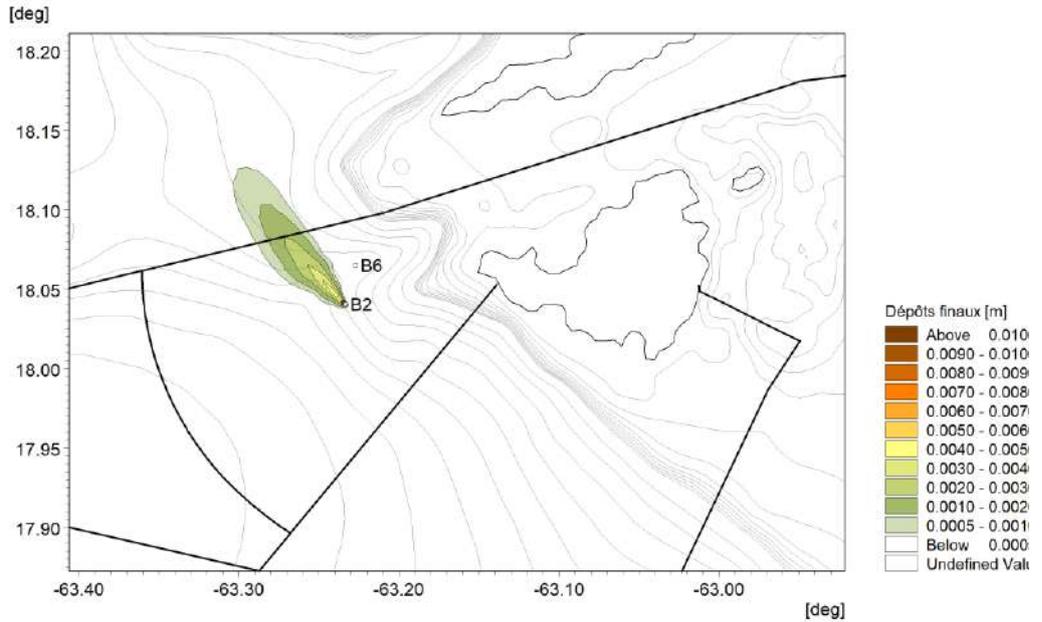


Figure 6-37 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B2.

Calcaires

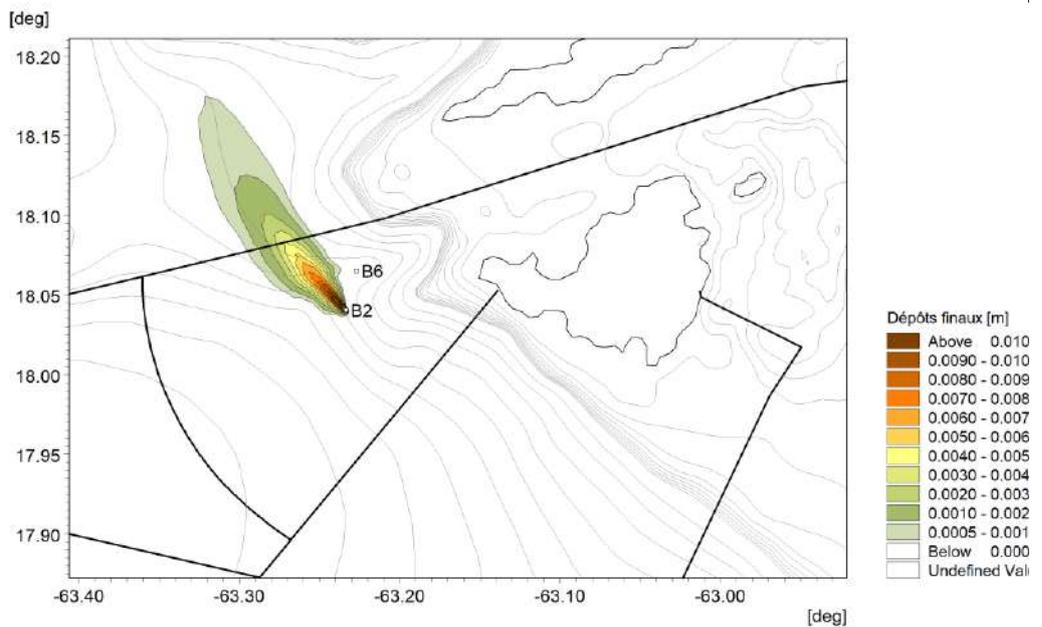


Figure 6-38 : Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B2.

Dépôts	
Scénario long	B6

Argiles

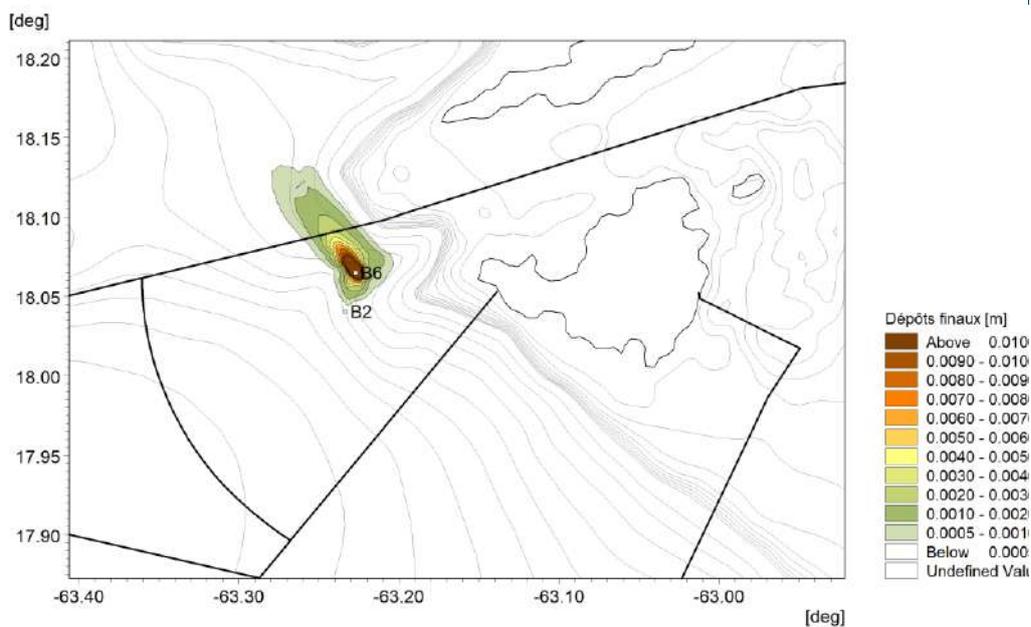


Figure 6-39 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des argiles en B6.

Calcaires

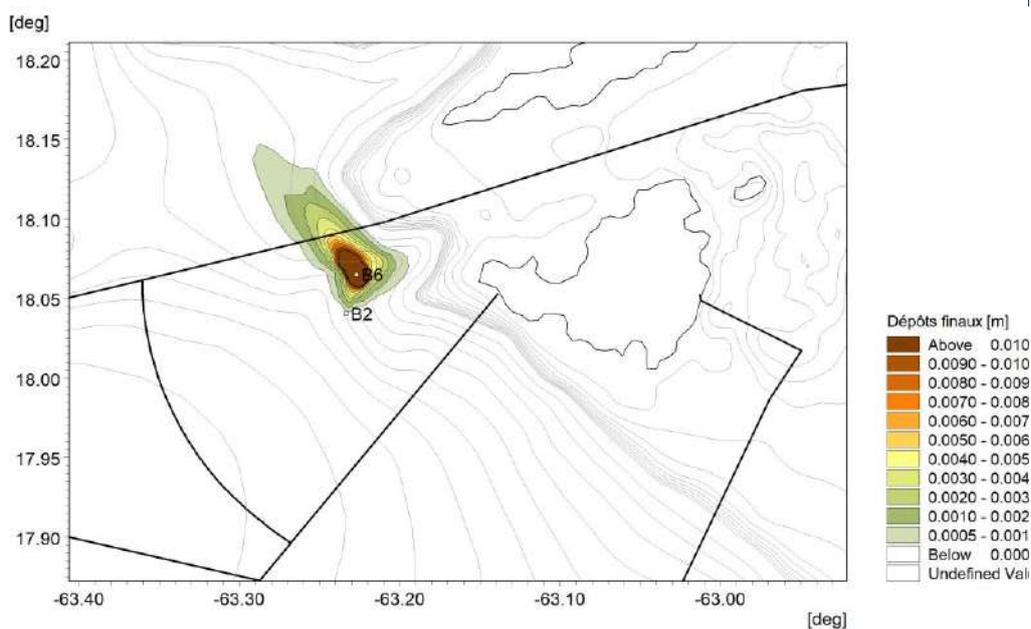


Figure 6-40 :Dépôts accumulés à la fin du Scénario long, clapage des calcaires en B6.

B.2. Les concentrations maximales dans la colonne d'eau

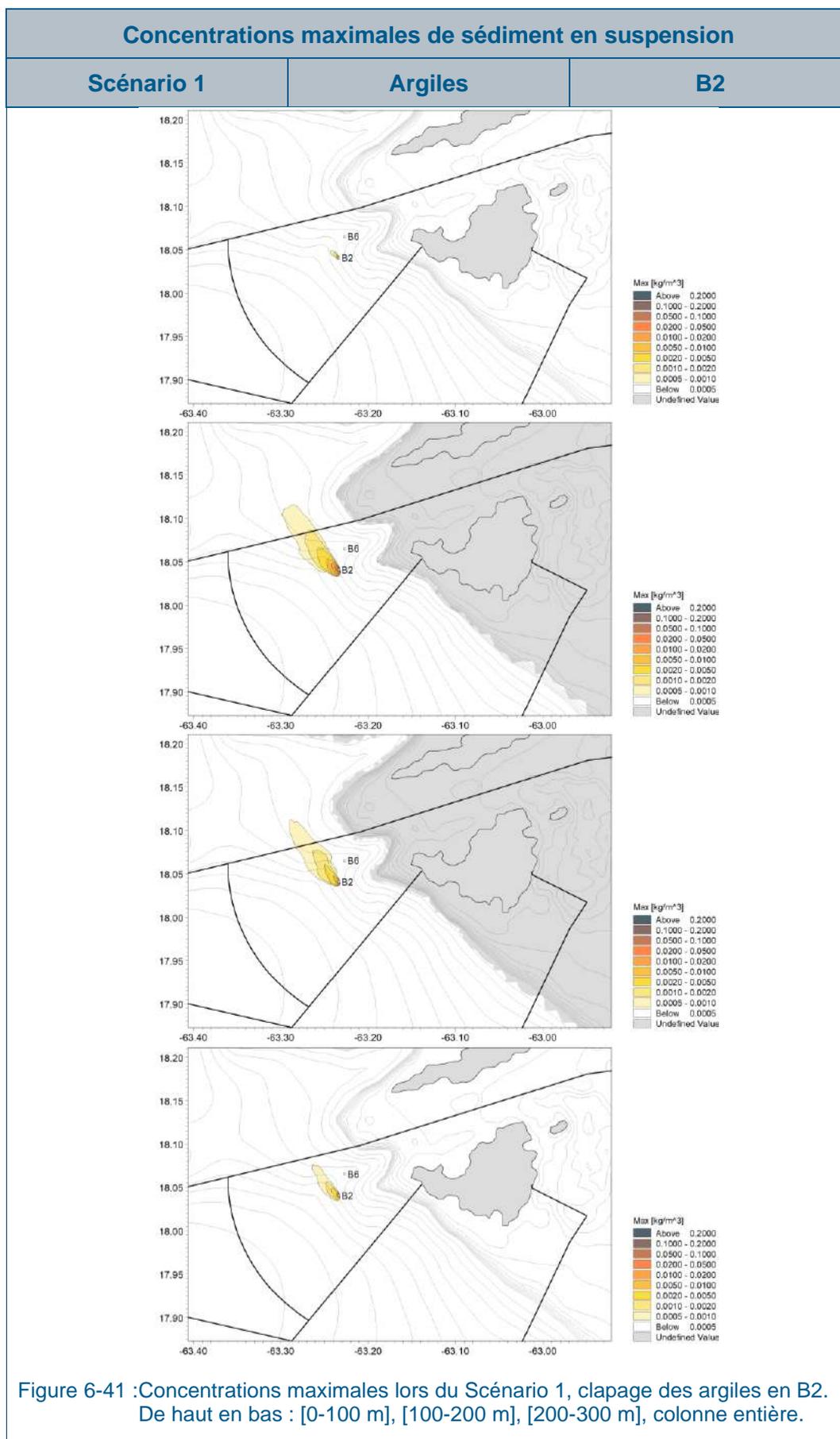


Figure 6-41 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 1	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

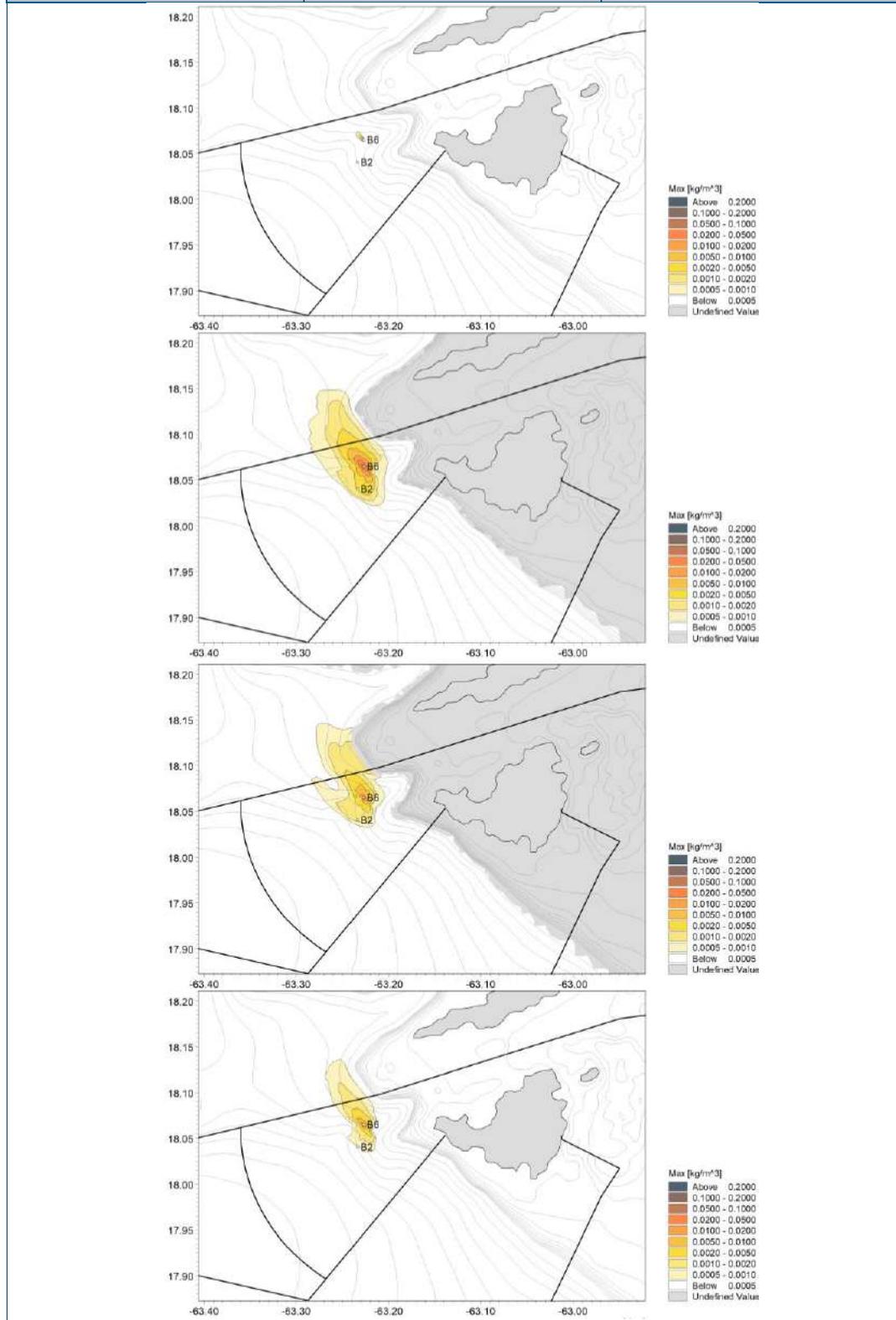


Figure 6-42 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 1	Calcaires	B2
------------	-----------	----

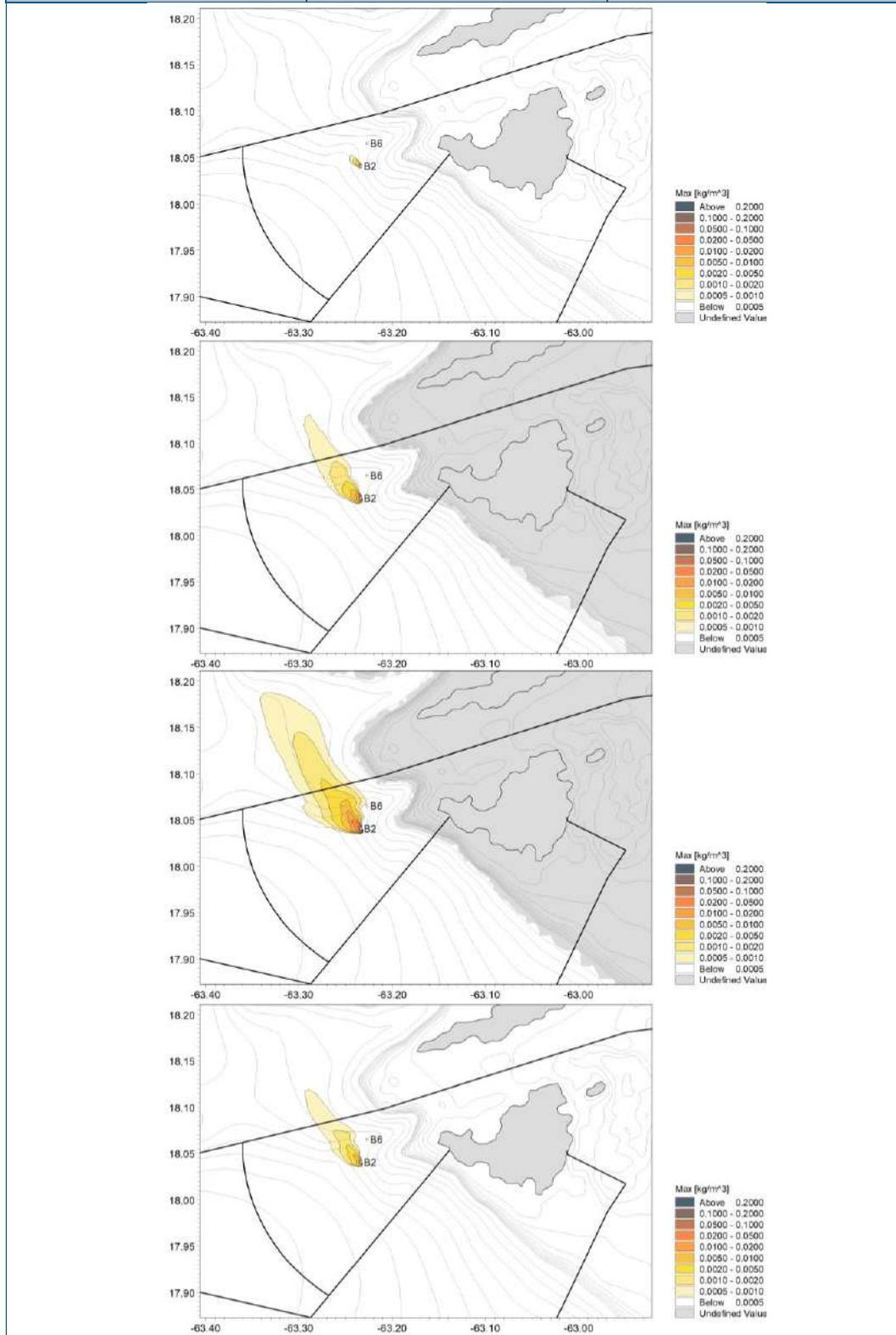


Figure 6-43 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 1	Calcaires	B6
------------	-----------	----

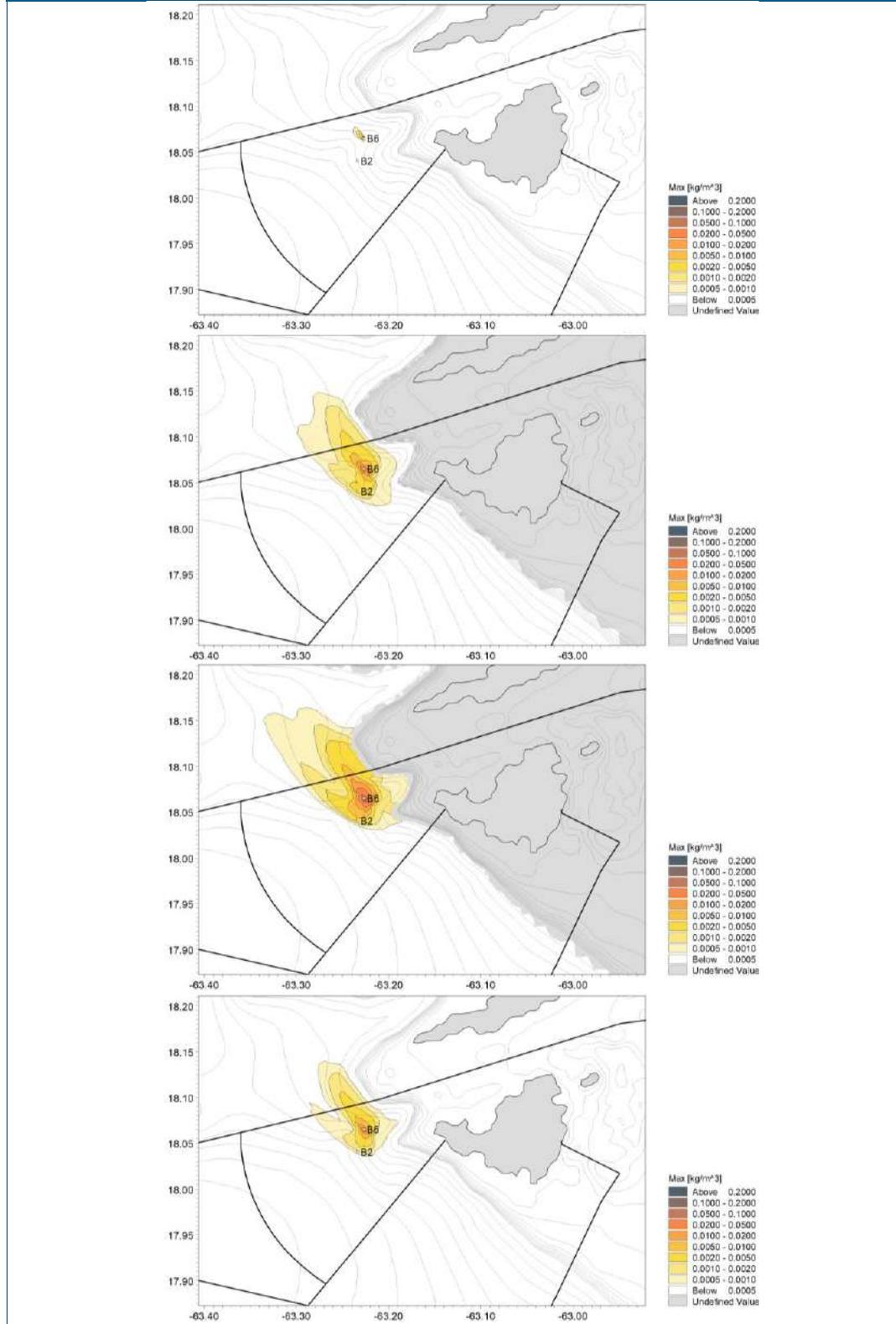


Figure 6-44 : Concentrations maximales lors du Scénario 1, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 2	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

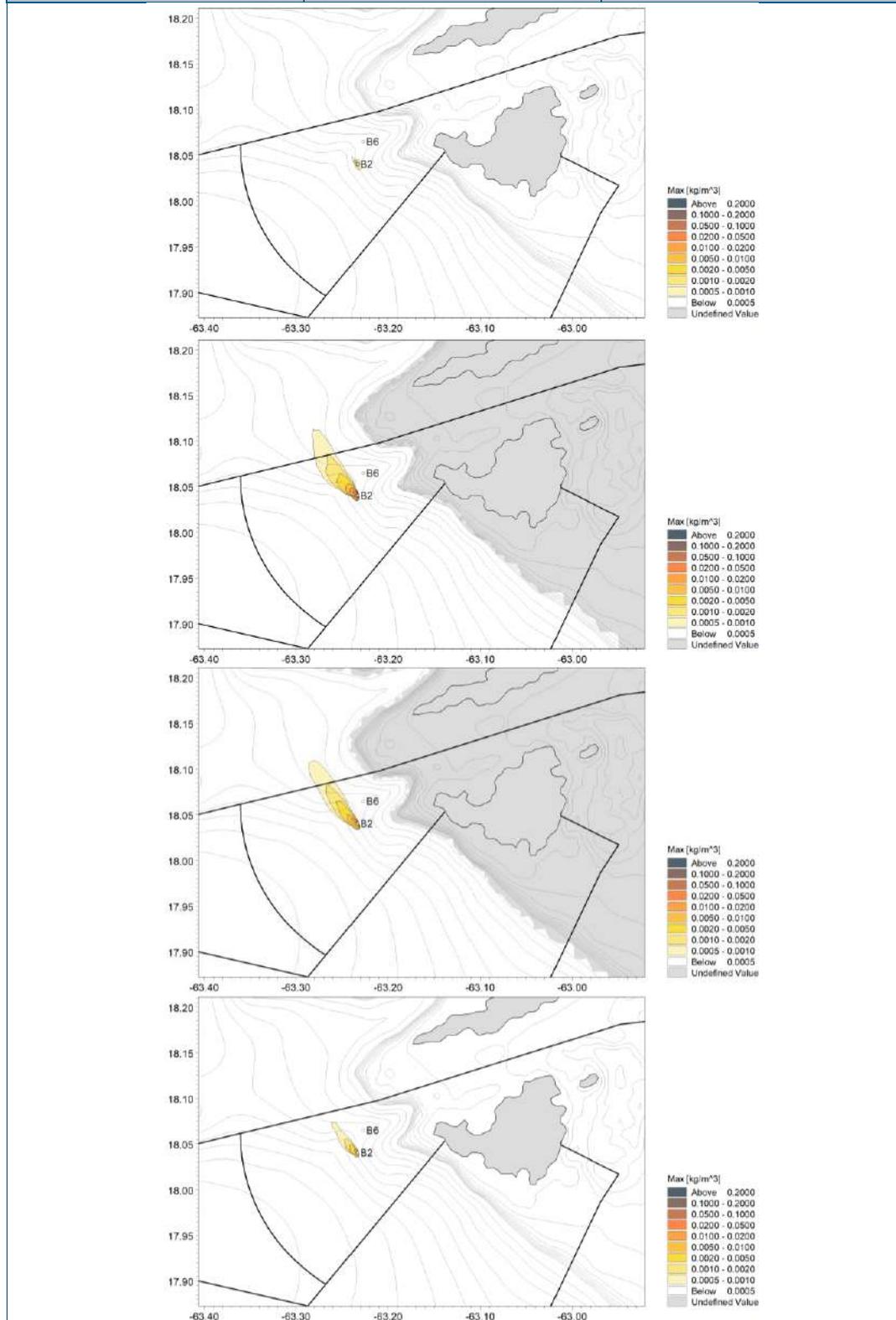


Figure 6-45 : Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 2	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

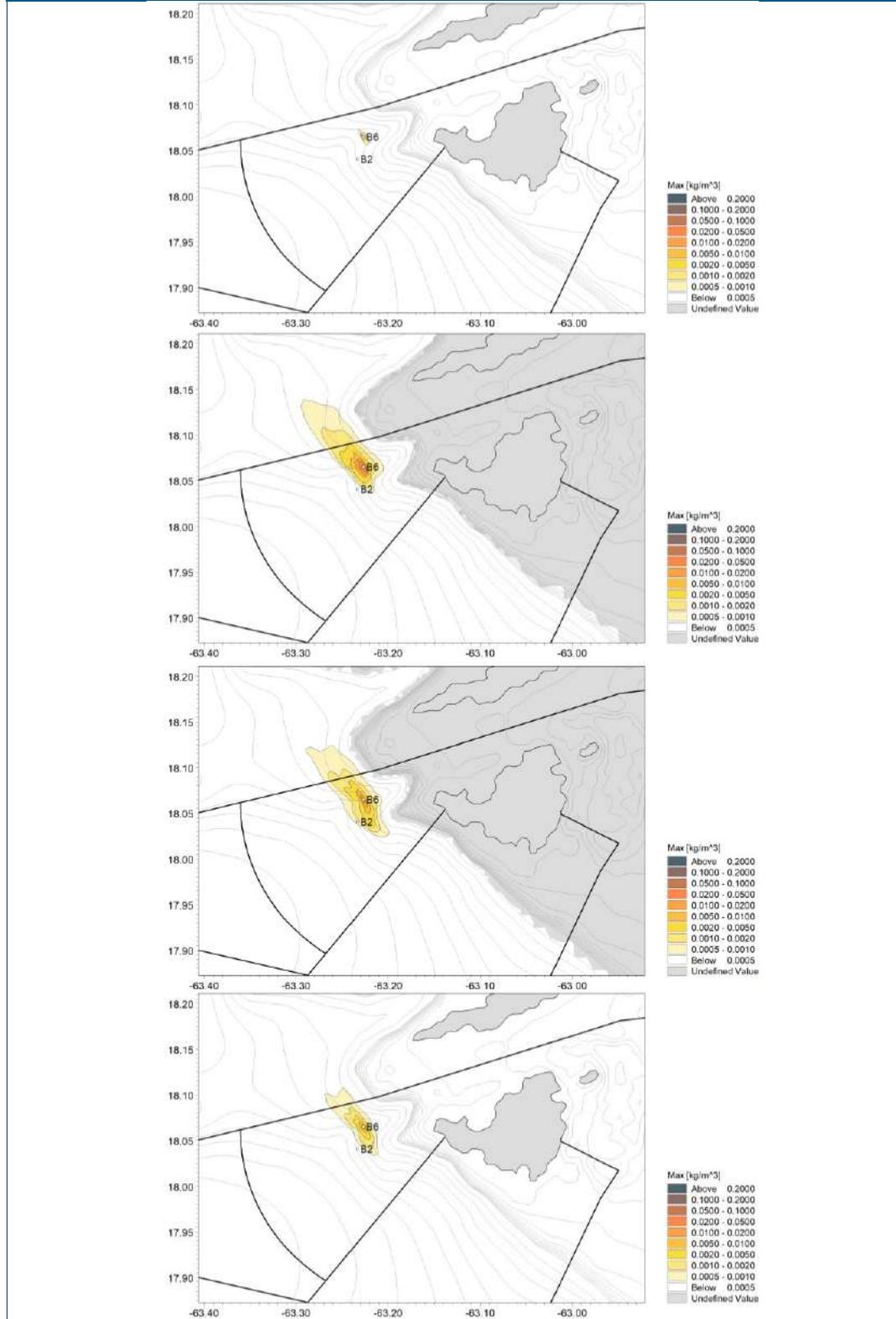


Figure 6-46 : Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 2	Calcaires	B2
-------------------	------------------	-----------

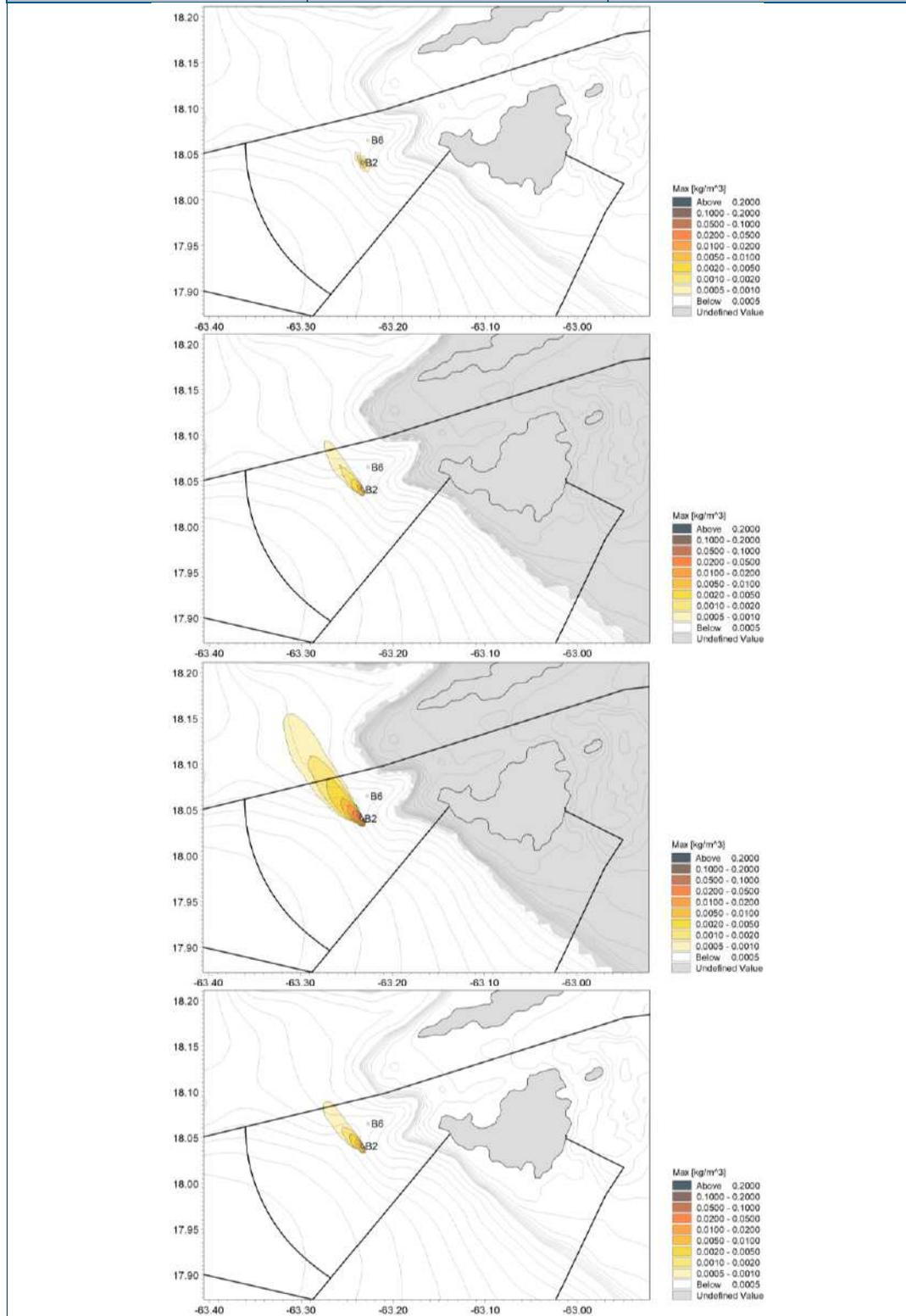


Figure 6-47 : Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 2	Calcaires	B6
-------------------	------------------	-----------

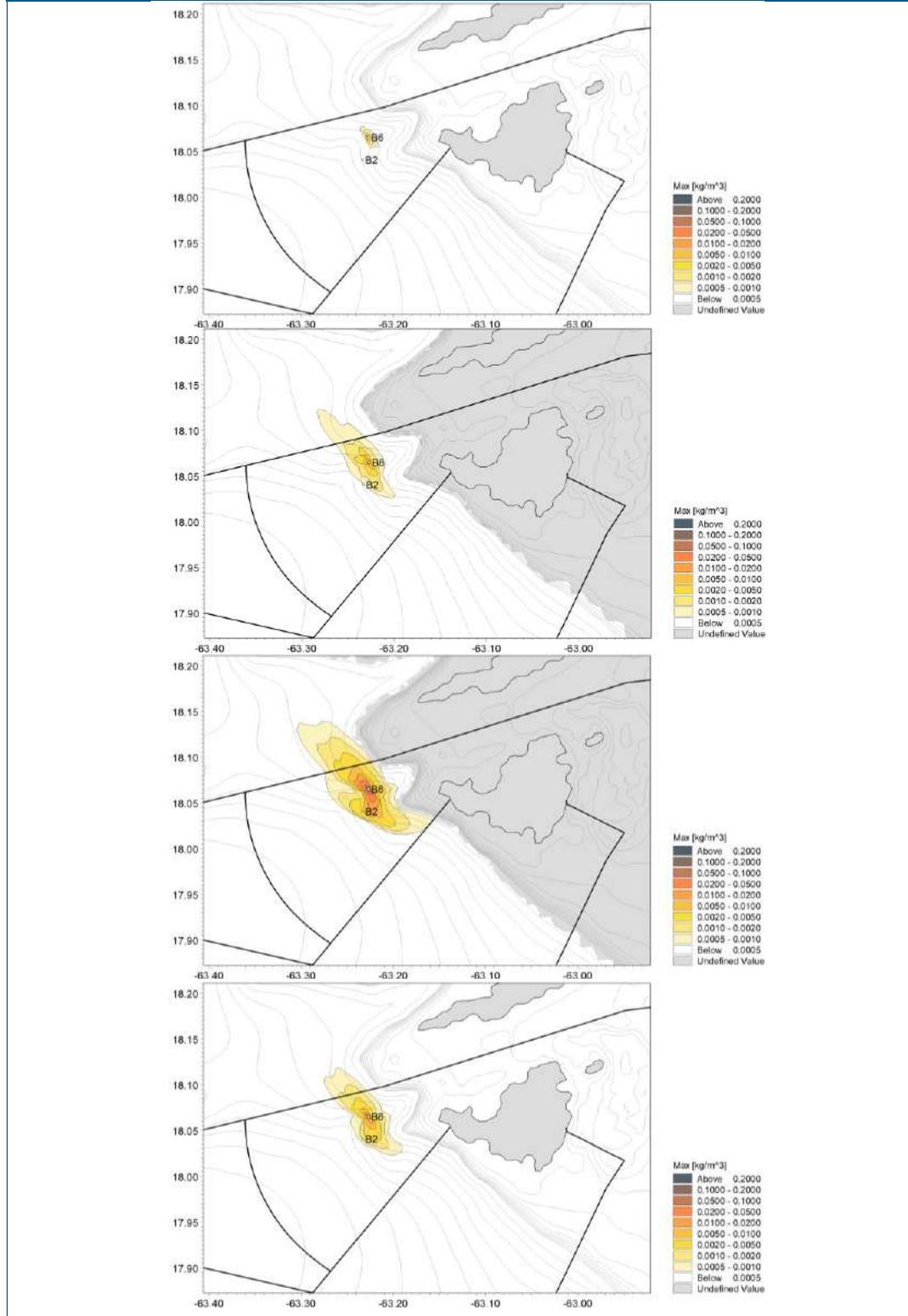


Figure 6-48 : Concentrations maximales lors du Scénario 2, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 3	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

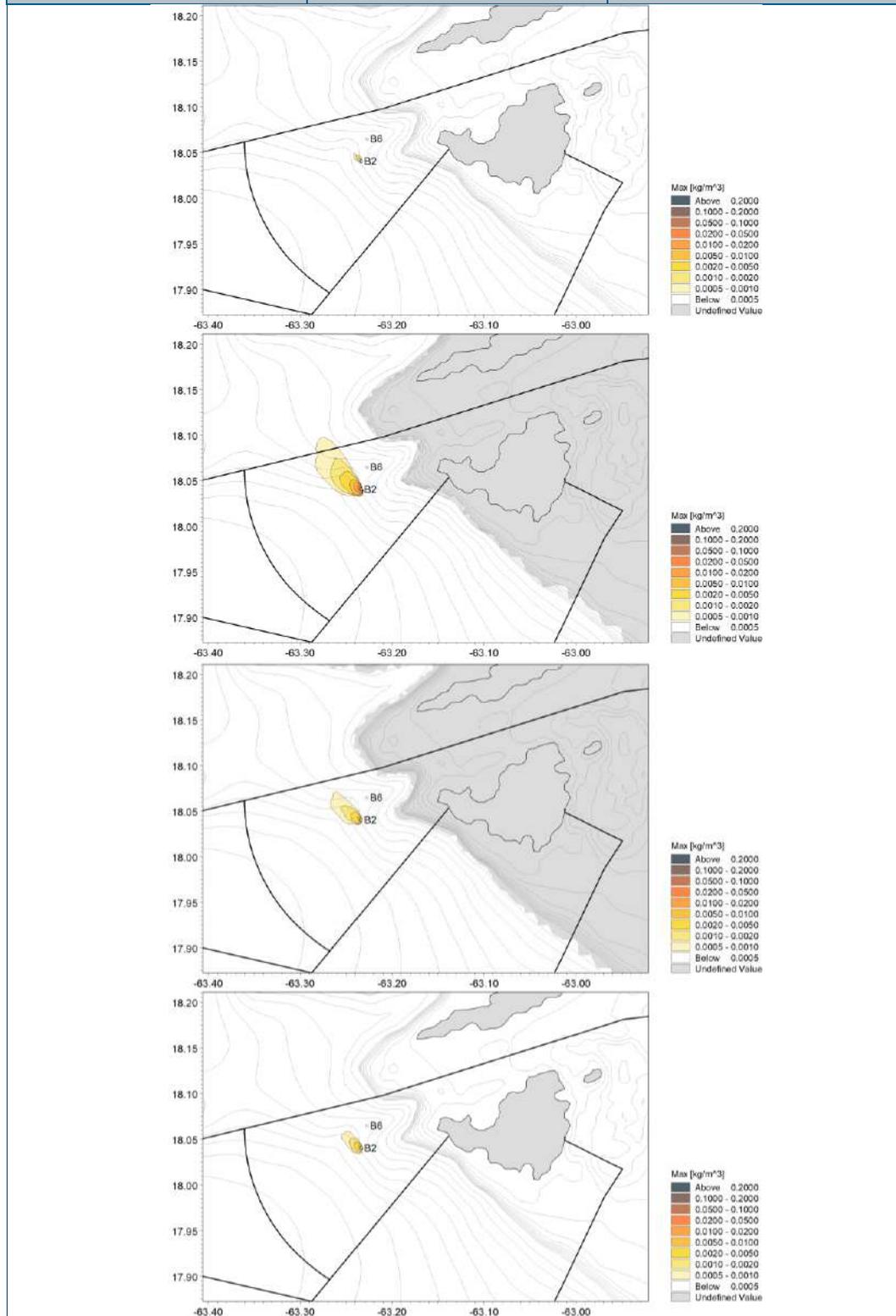


Figure 6-49 : Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 3	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

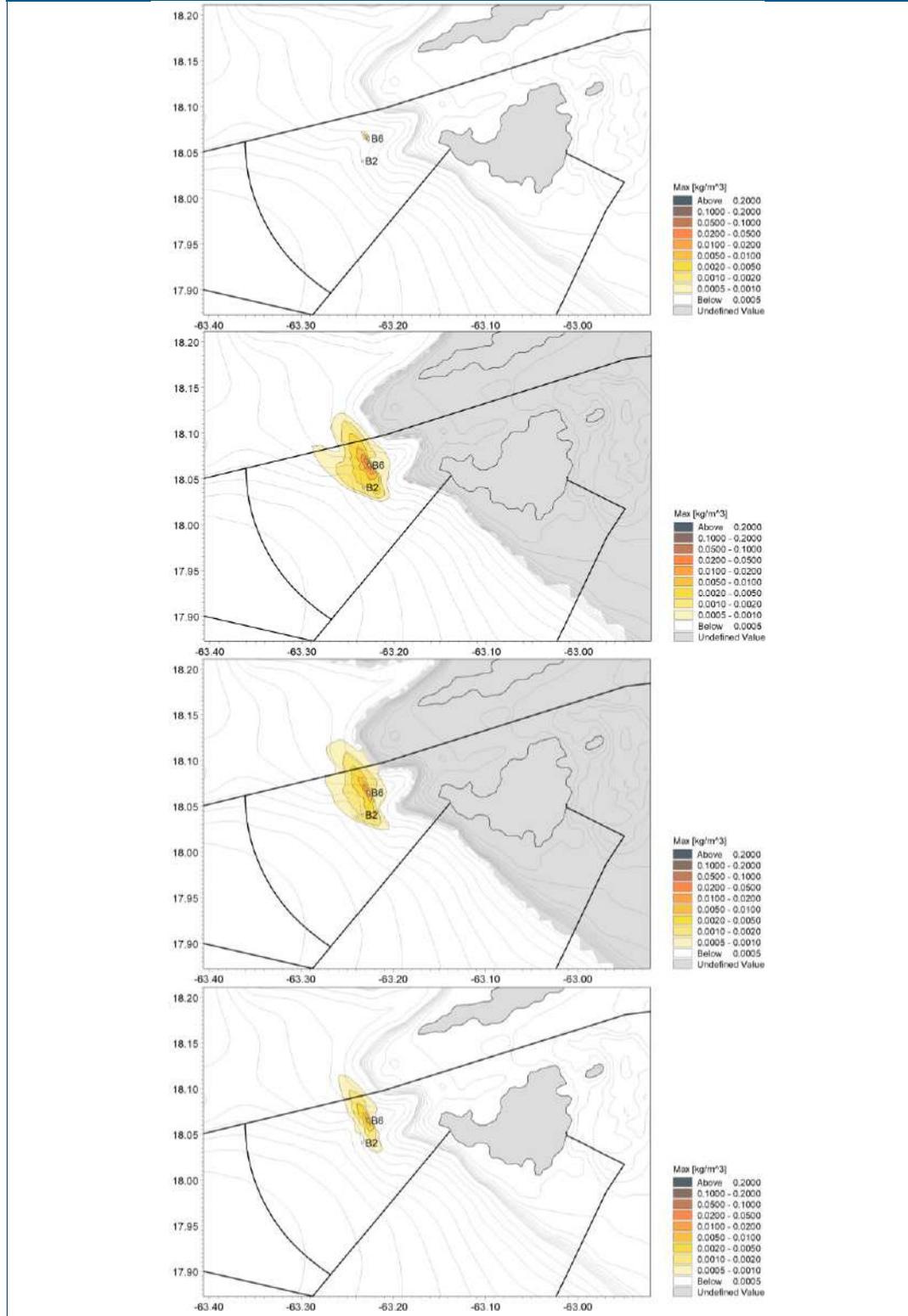


Figure 6-50 : Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 3	Calcaires	B2
-------------------	------------------	-----------

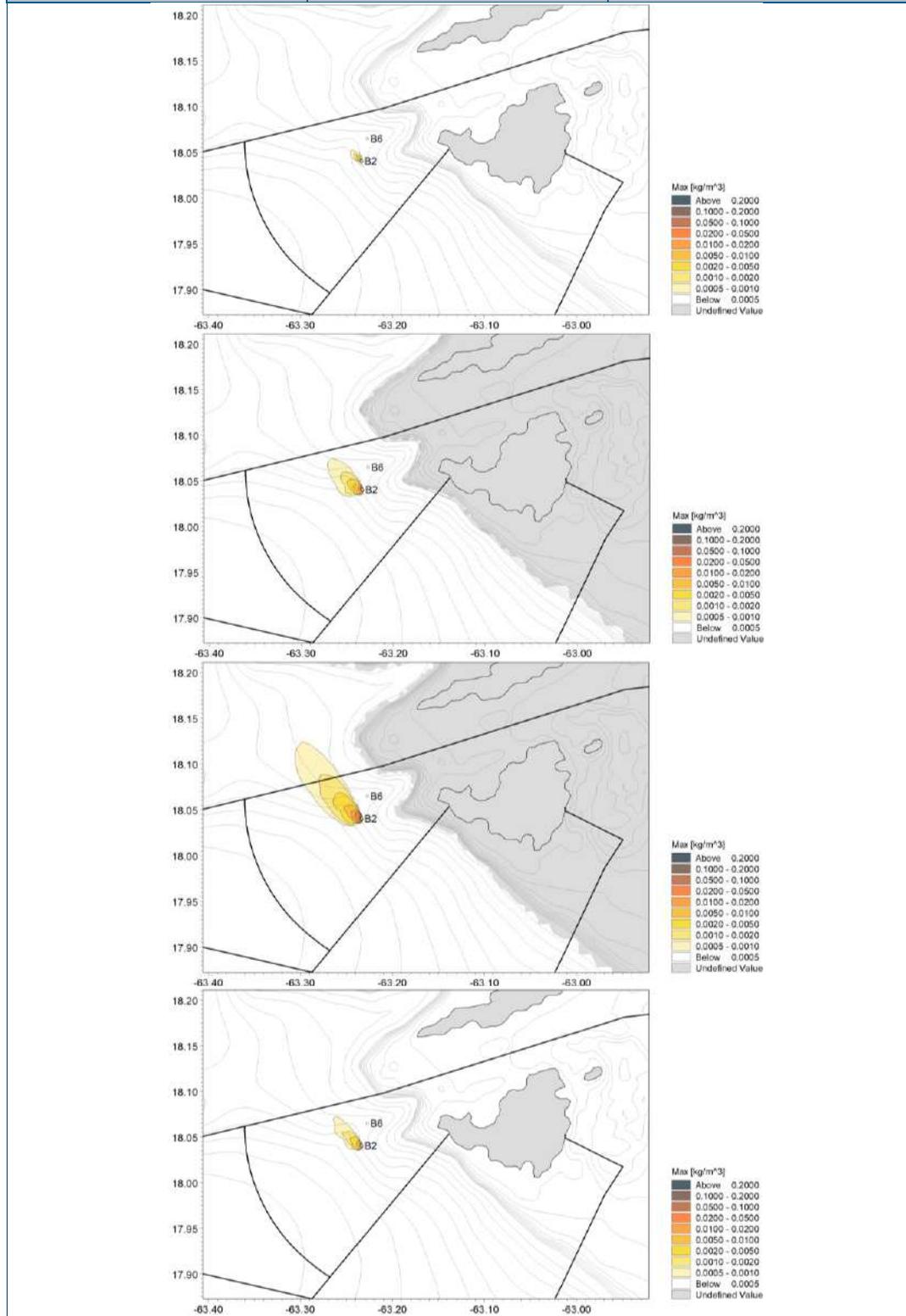


Figure 6-51 : Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 3	Calcaires	B6
-------------------	------------------	-----------

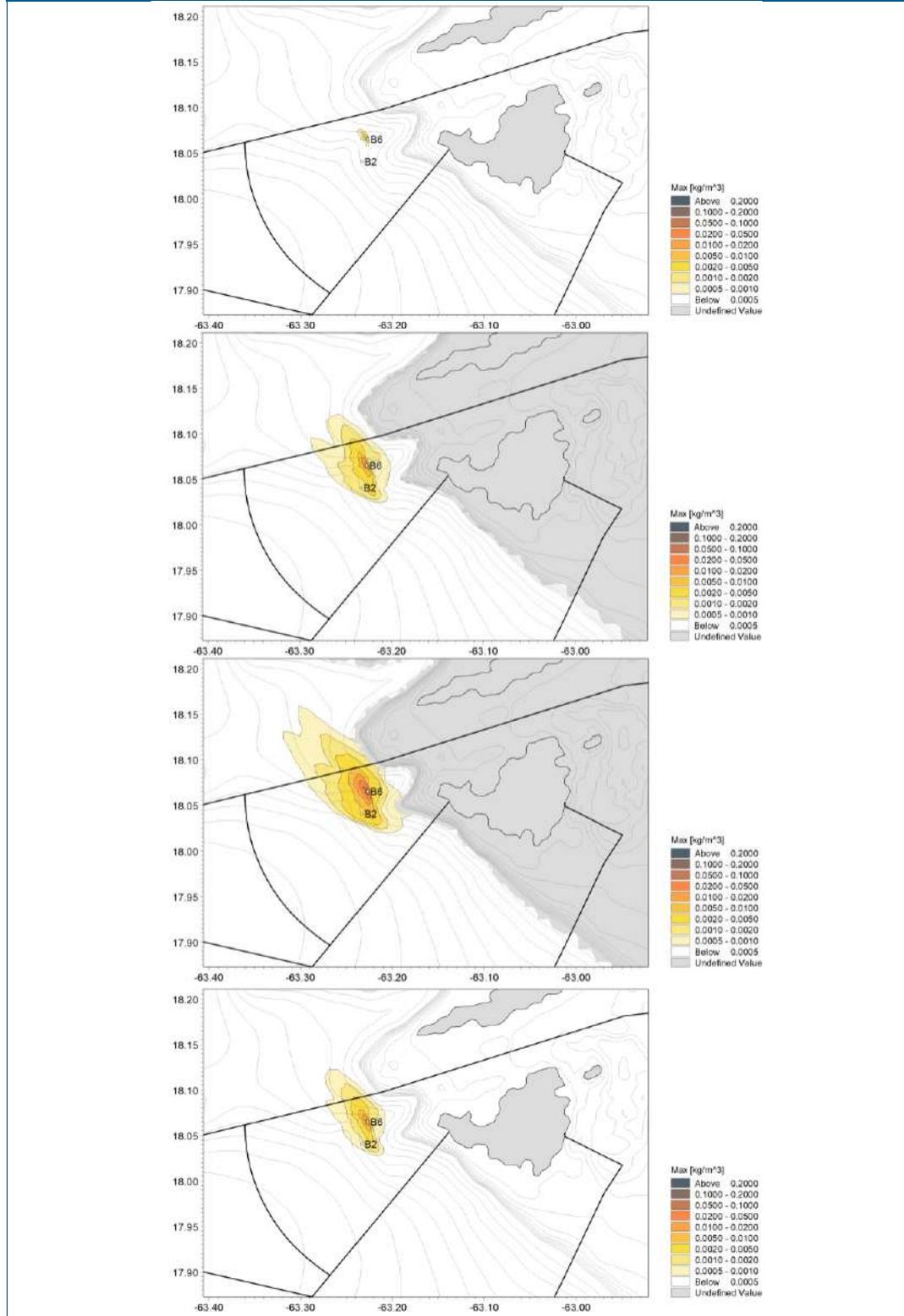


Figure 6-52 : Concentrations maximales lors du Scénario 3, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 4	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

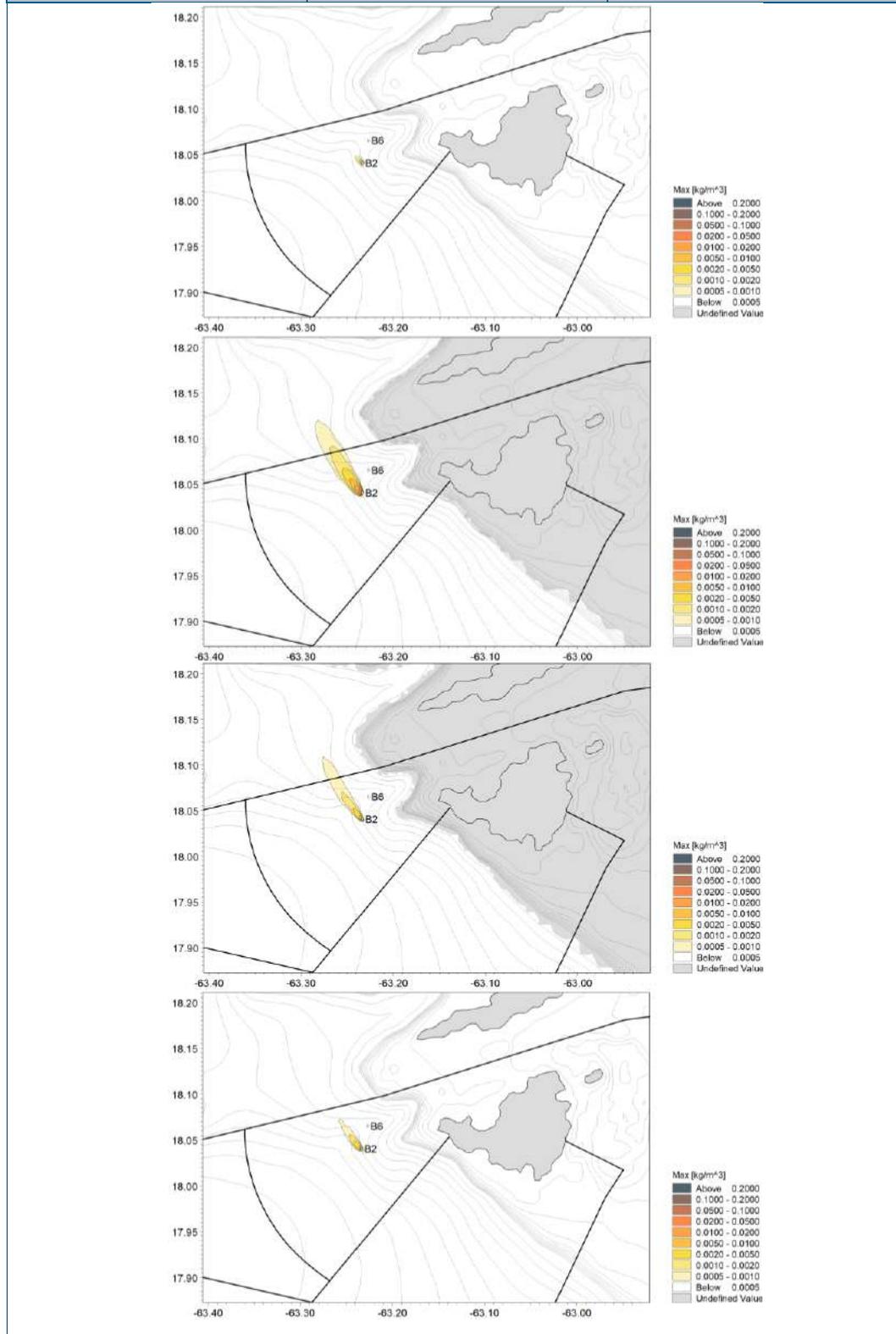


Figure 6-53 : Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des argiles en B2.
De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 4	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

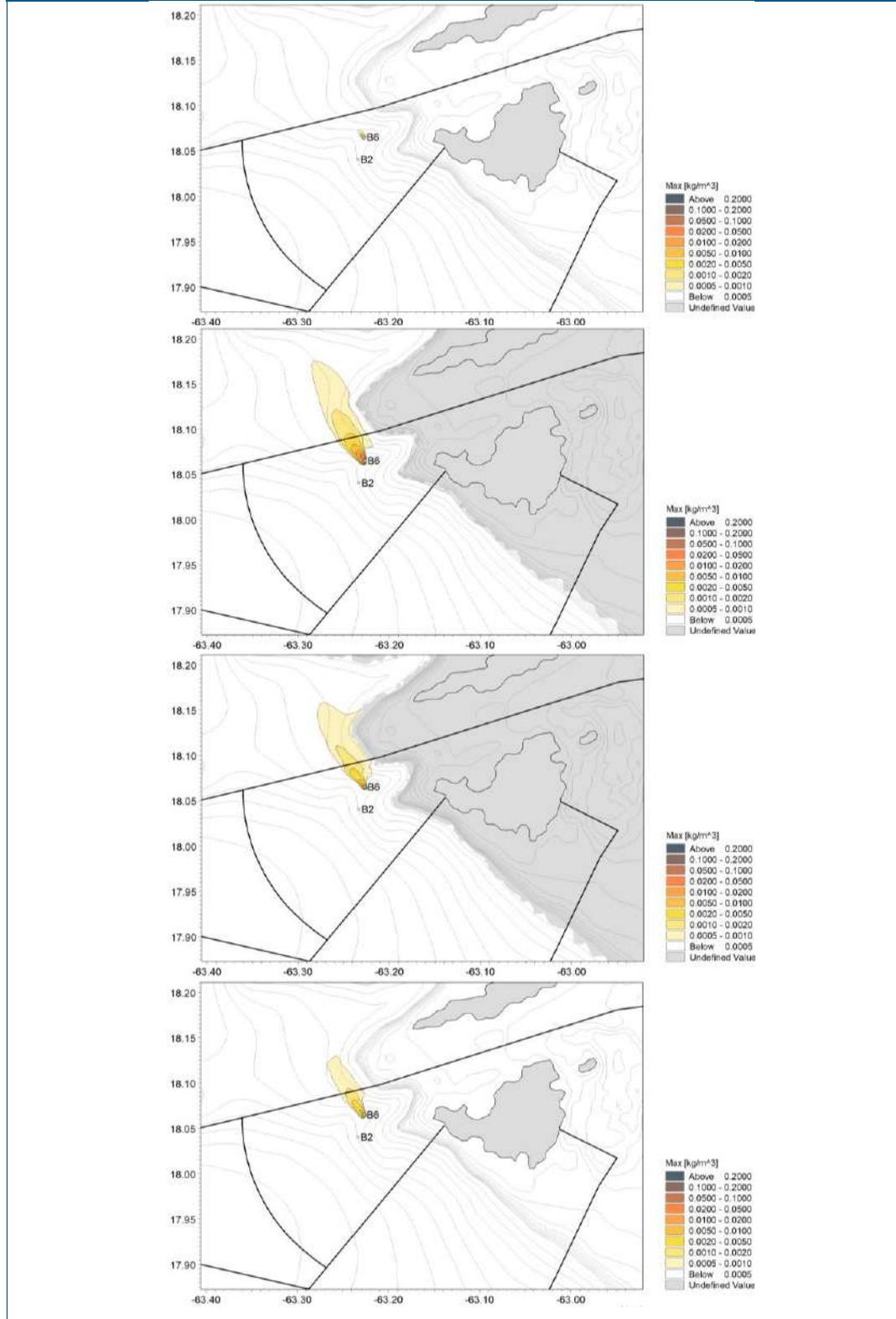


Figure 6-54 : Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 4	Calcaires	B2
-------------------	------------------	-----------

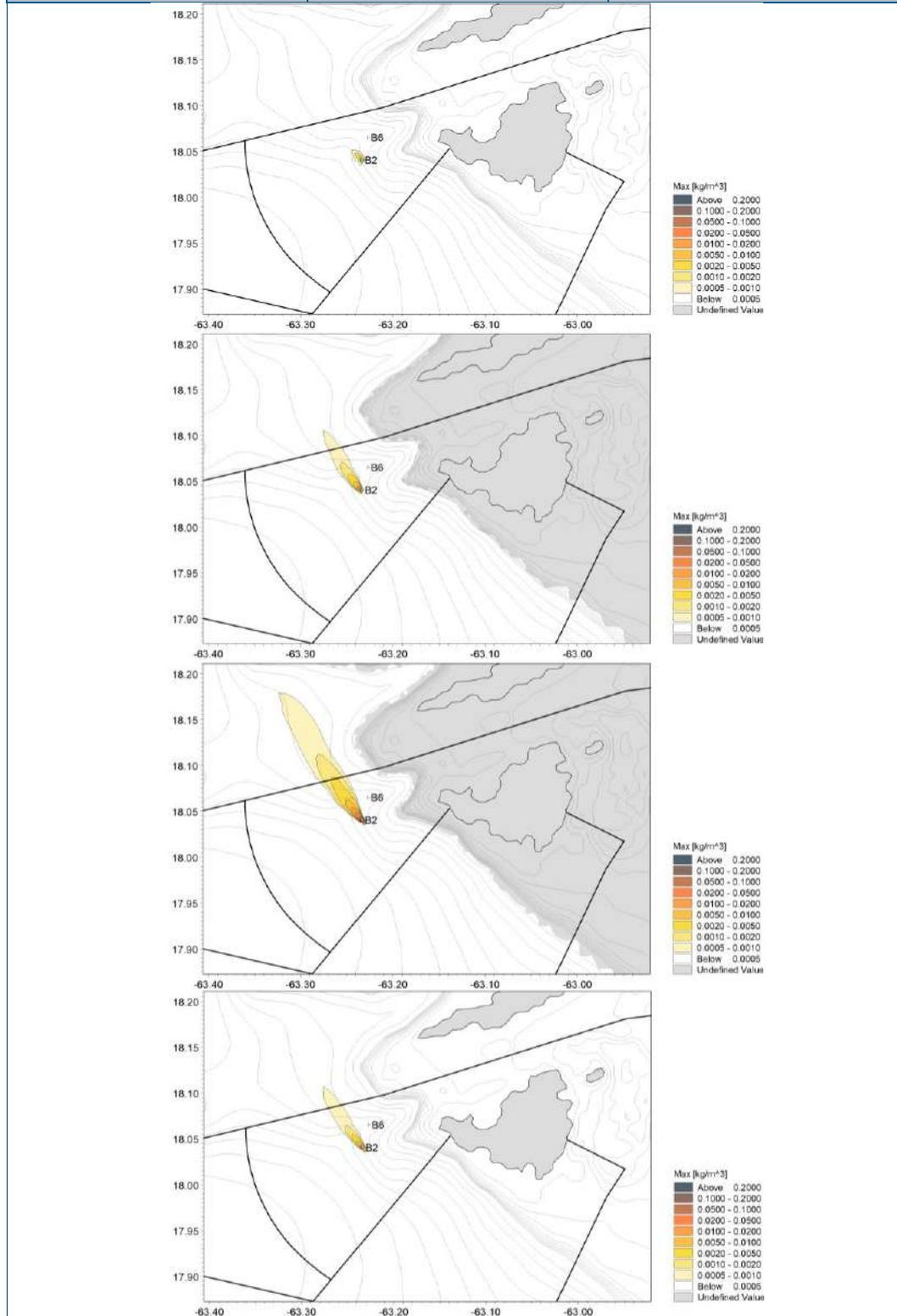


Figure 6-55 : Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 4	Calcaires	B6
------------	-----------	----

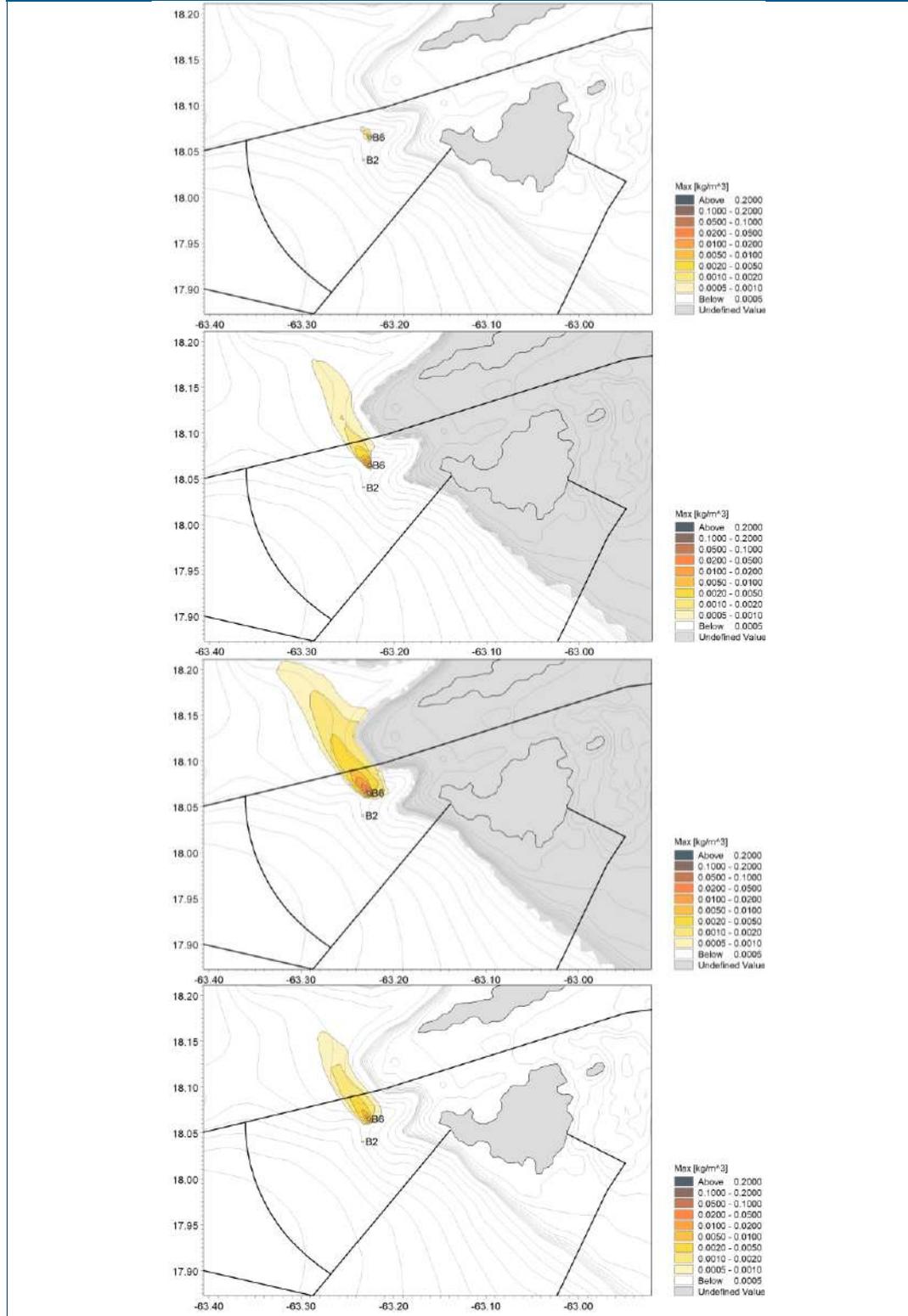


Figure 6-56 : Concentrations maximales lors du Scénario 4, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 5	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

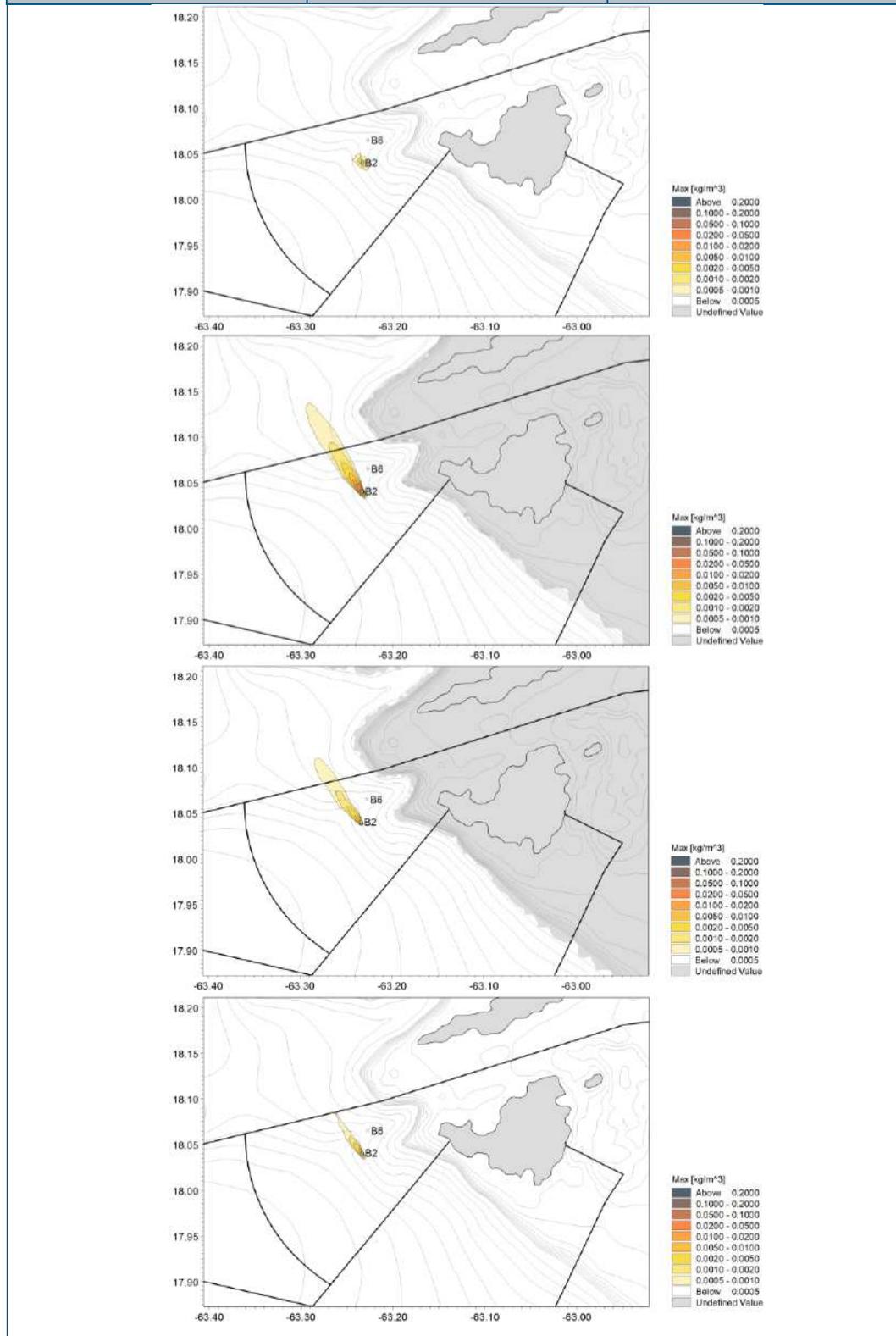


Figure 6-57 : Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 5	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

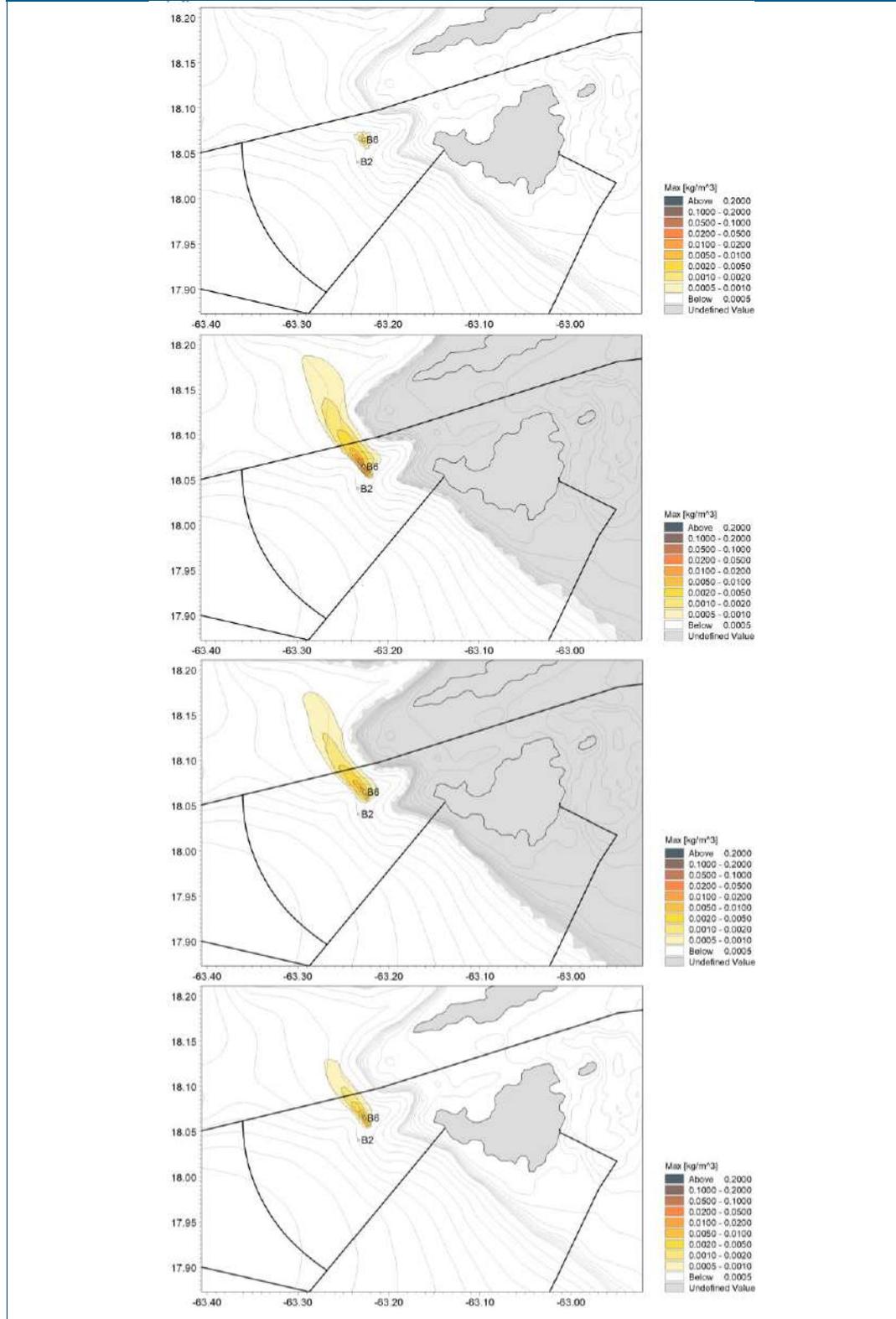


Figure 6-58 : Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension		
Scénario 5	Calcaires	B2

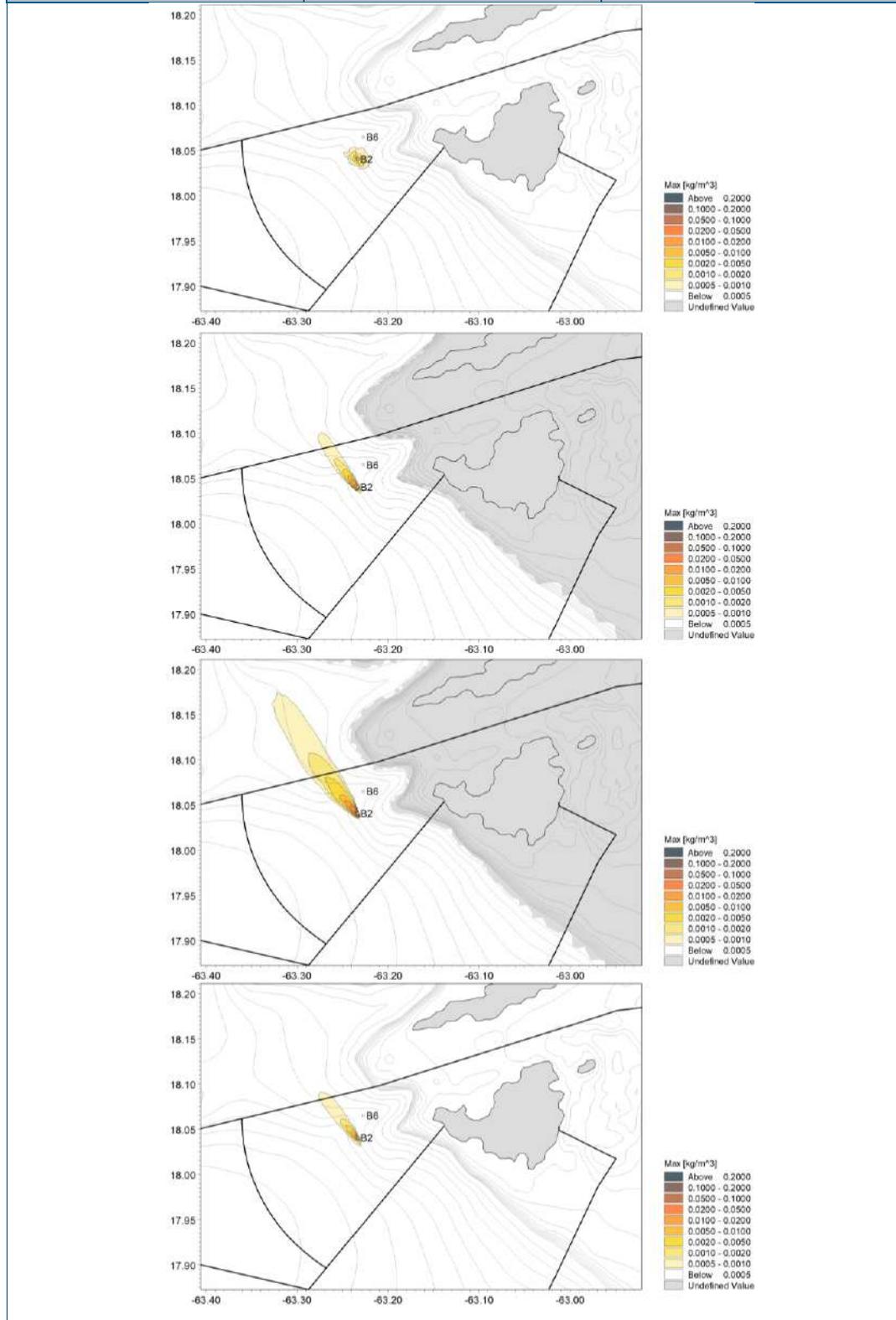


Figure 6-59 : Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 5	Calcaires	B6
-------------------	------------------	-----------

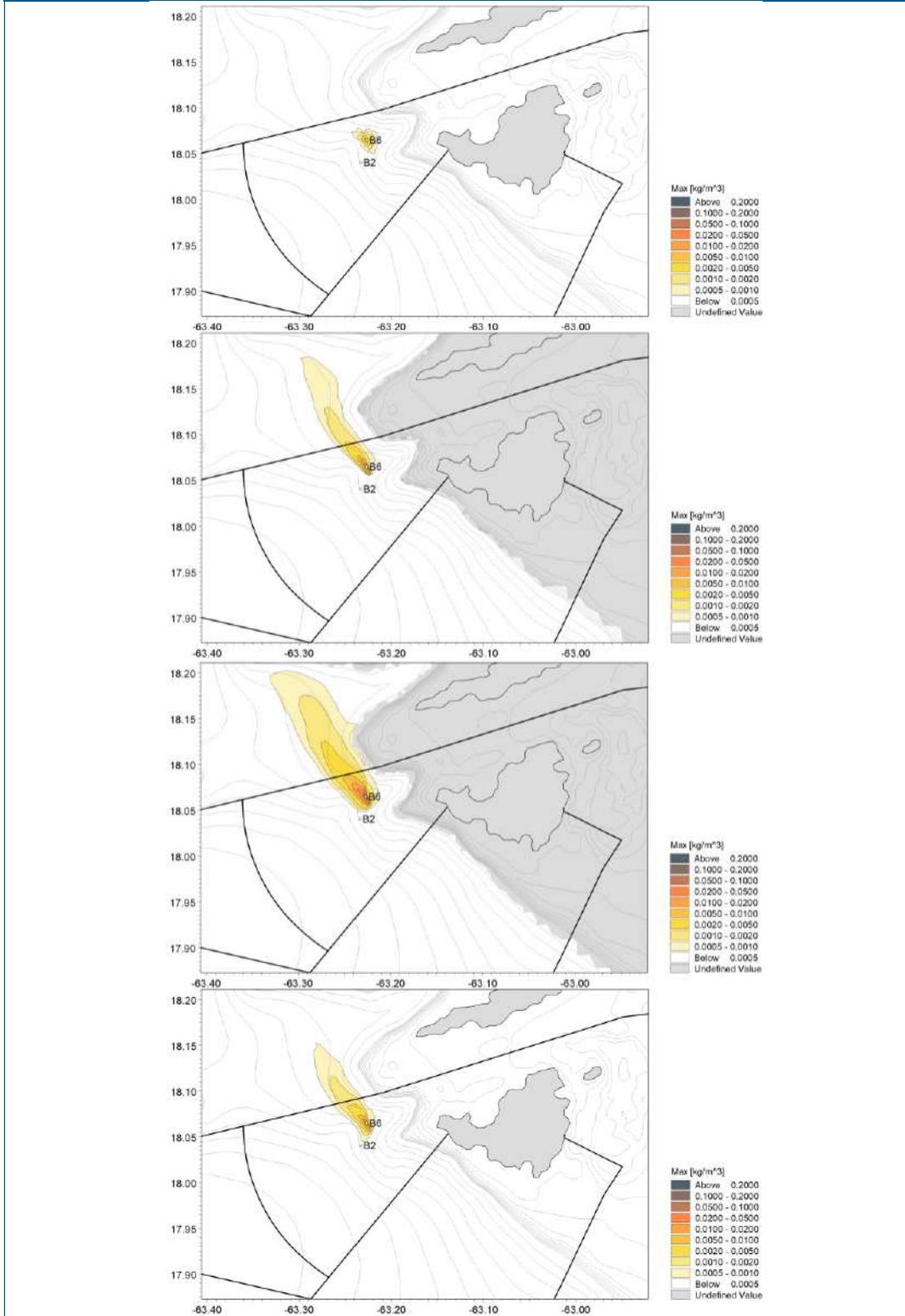


Figure 6-60 : Concentrations maximales lors du Scénario 5, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 6	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

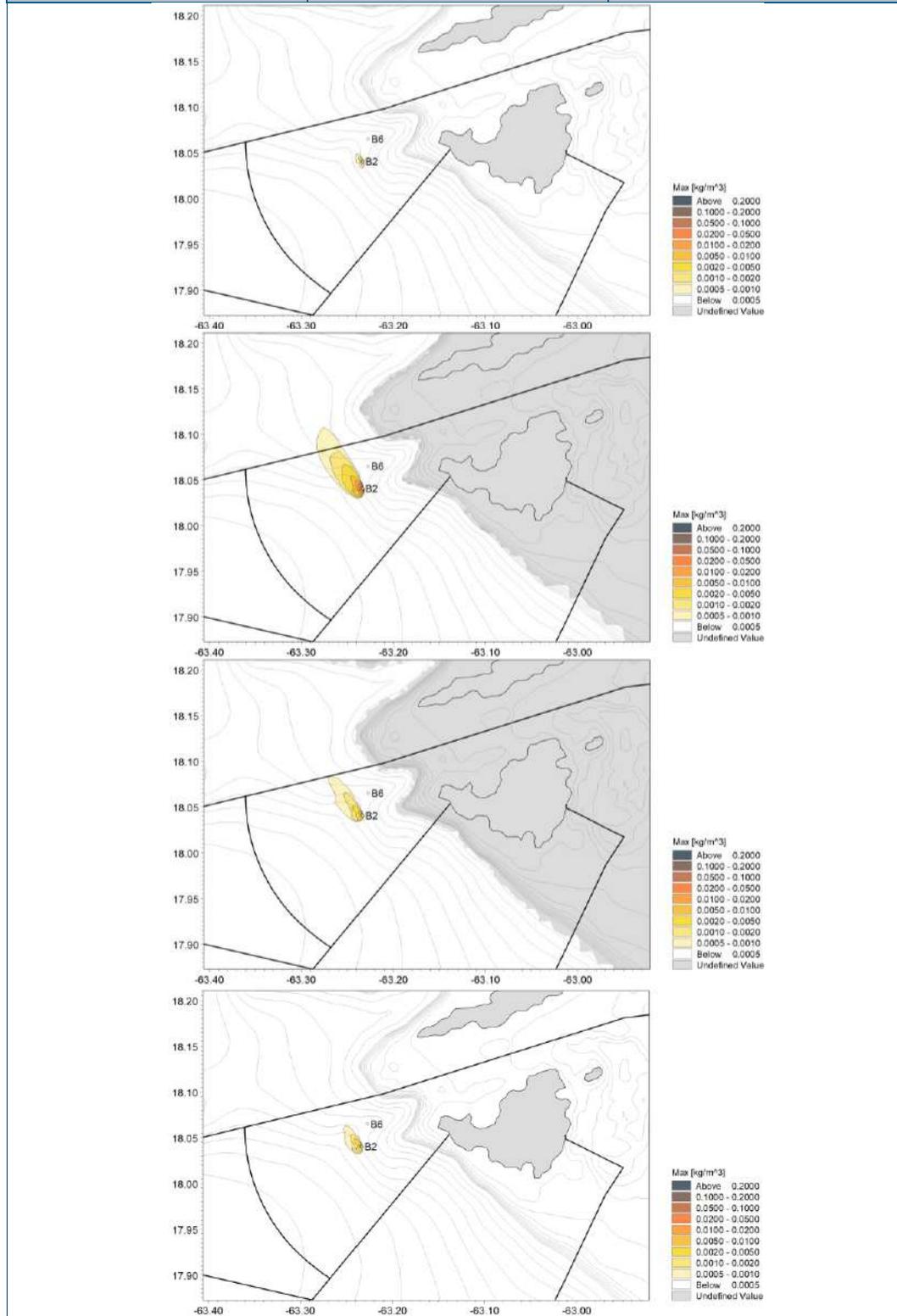


Figure 6-61 : Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 6	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

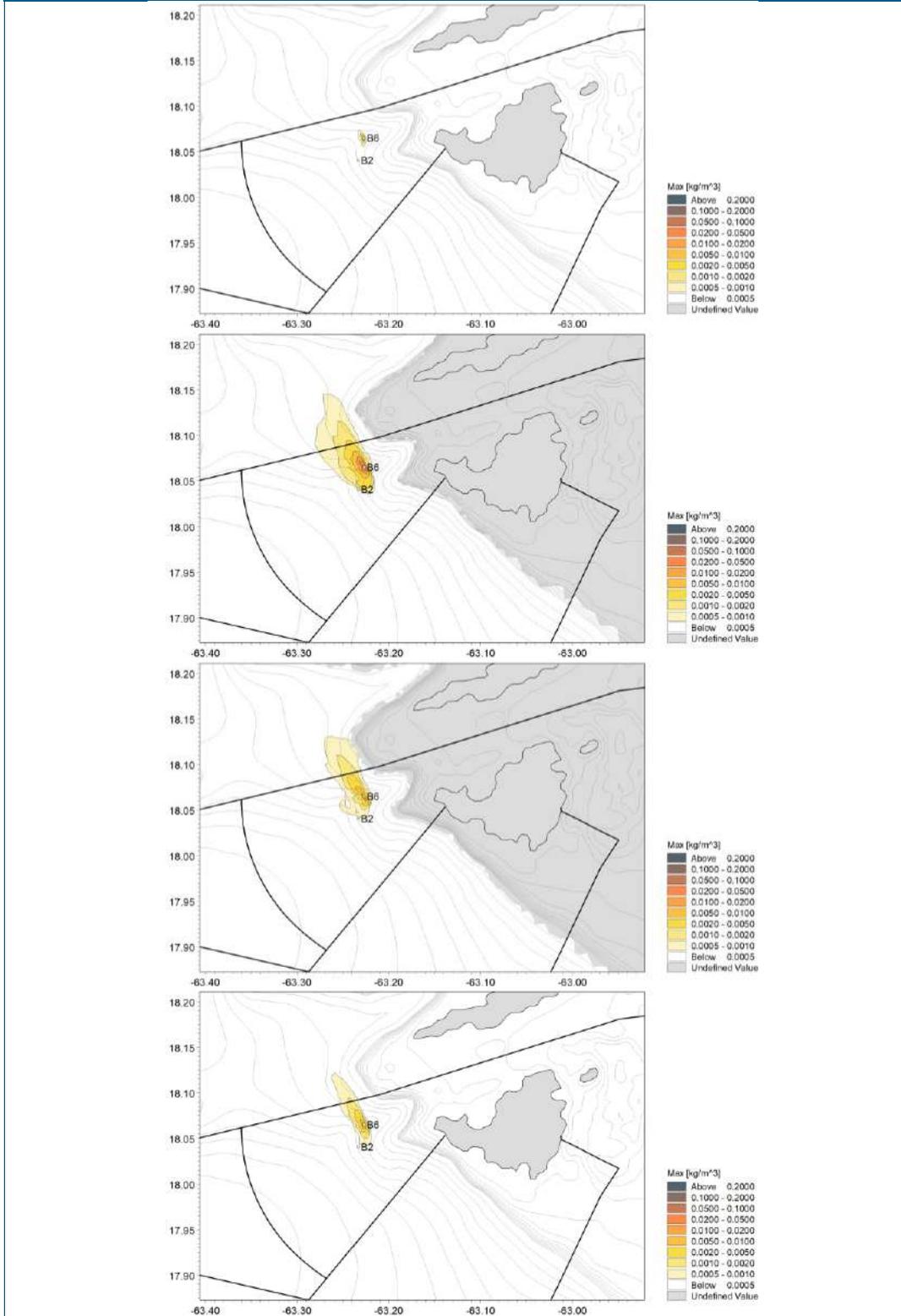


Figure 6-62 : Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 6	Calcaires	B2
------------	-----------	----

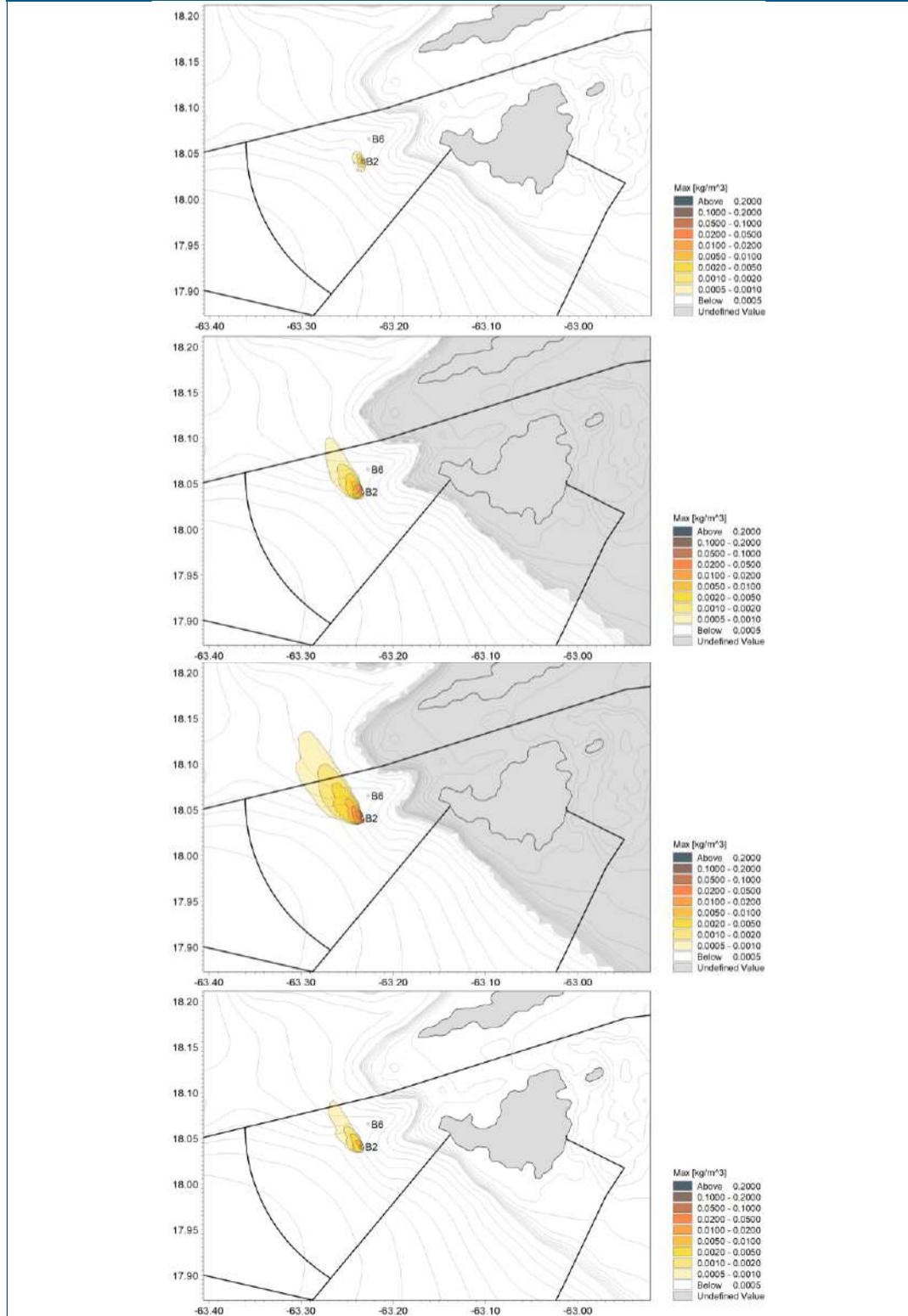


Figure 6-63 : Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 6	Calcaires	B6
-------------------	------------------	-----------

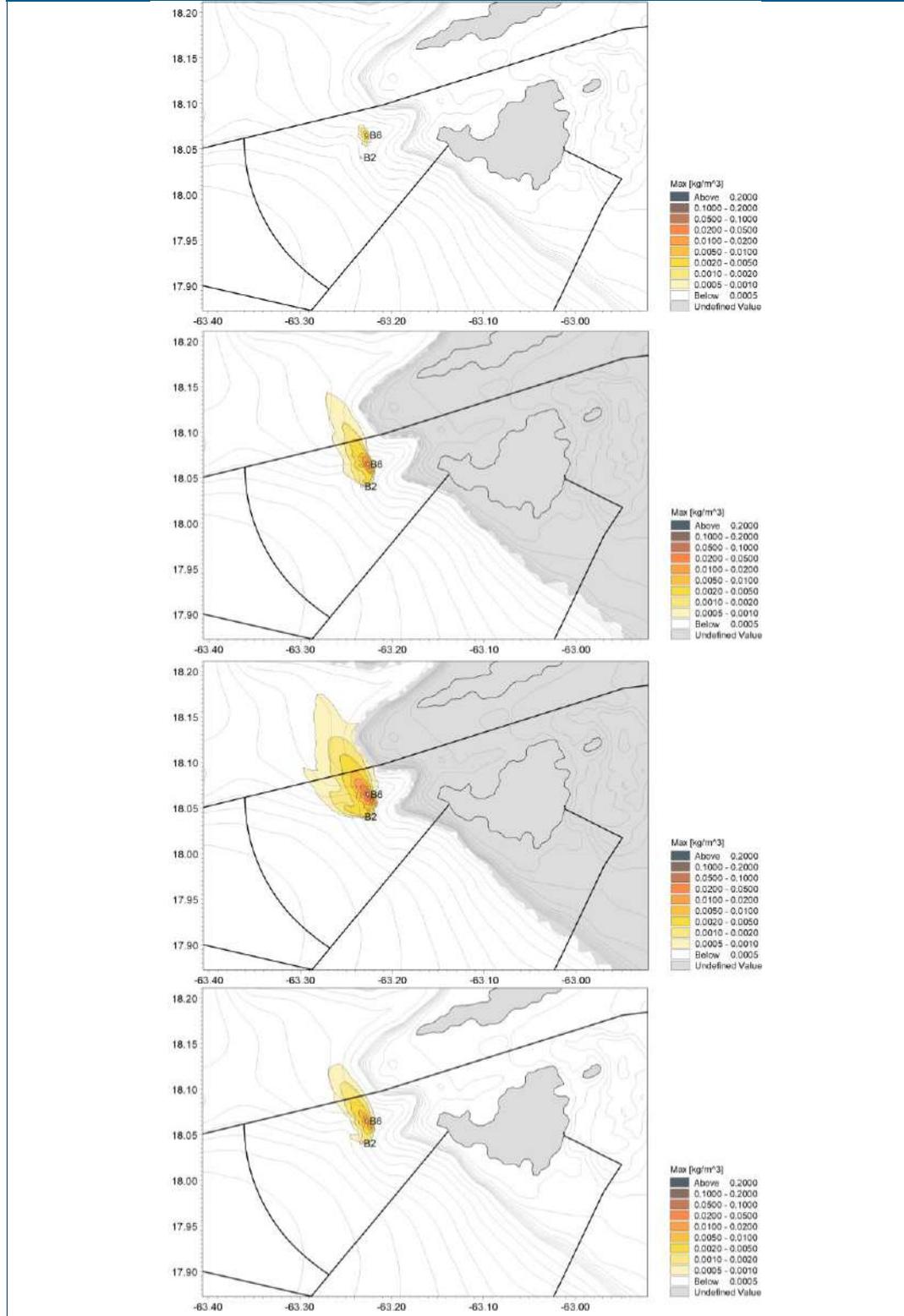


Figure 6-64 : Concentrations maximales lors du Scénario 6, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 7	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

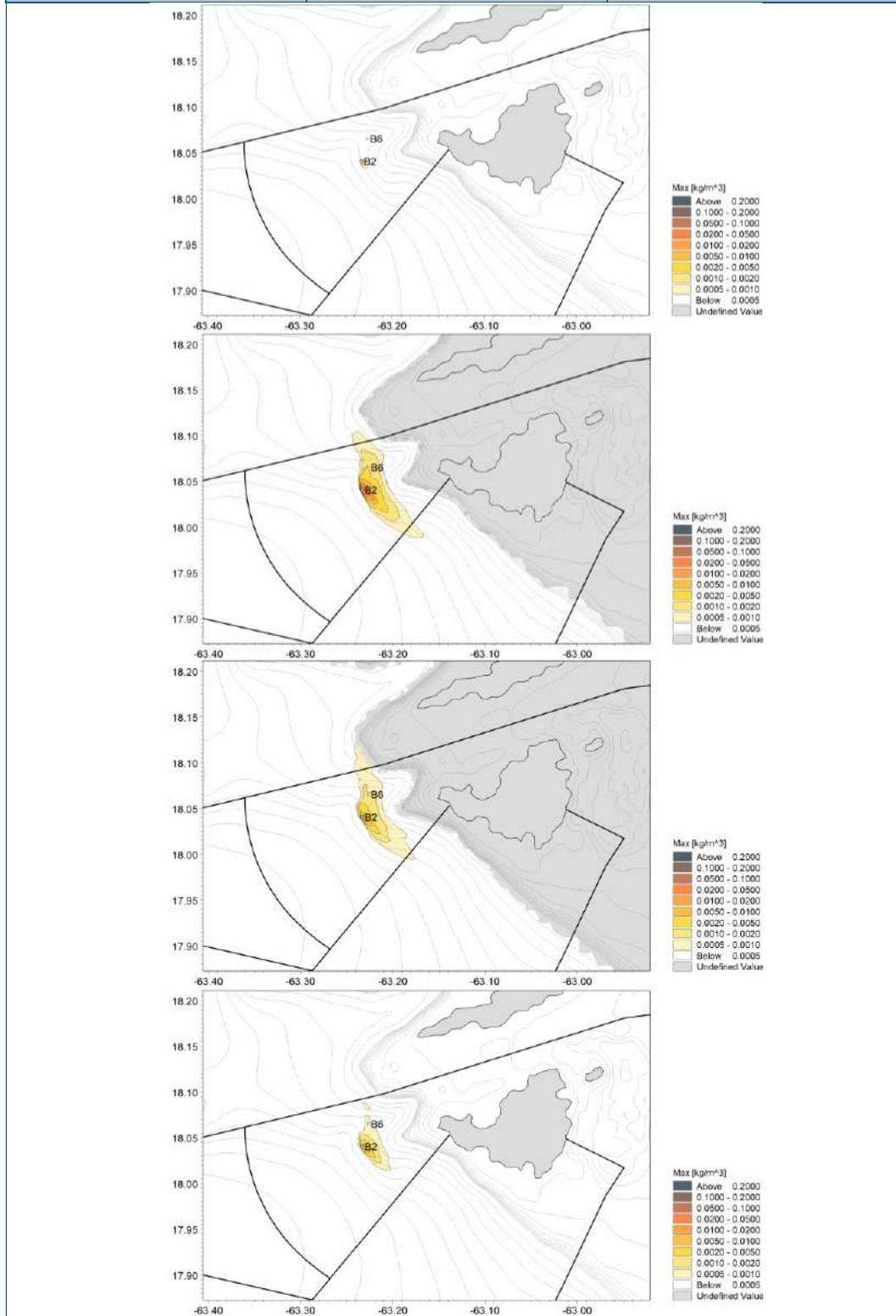


Figure 6-65 : Concentrations maximales lors du Scénario 7, claquage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 7	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

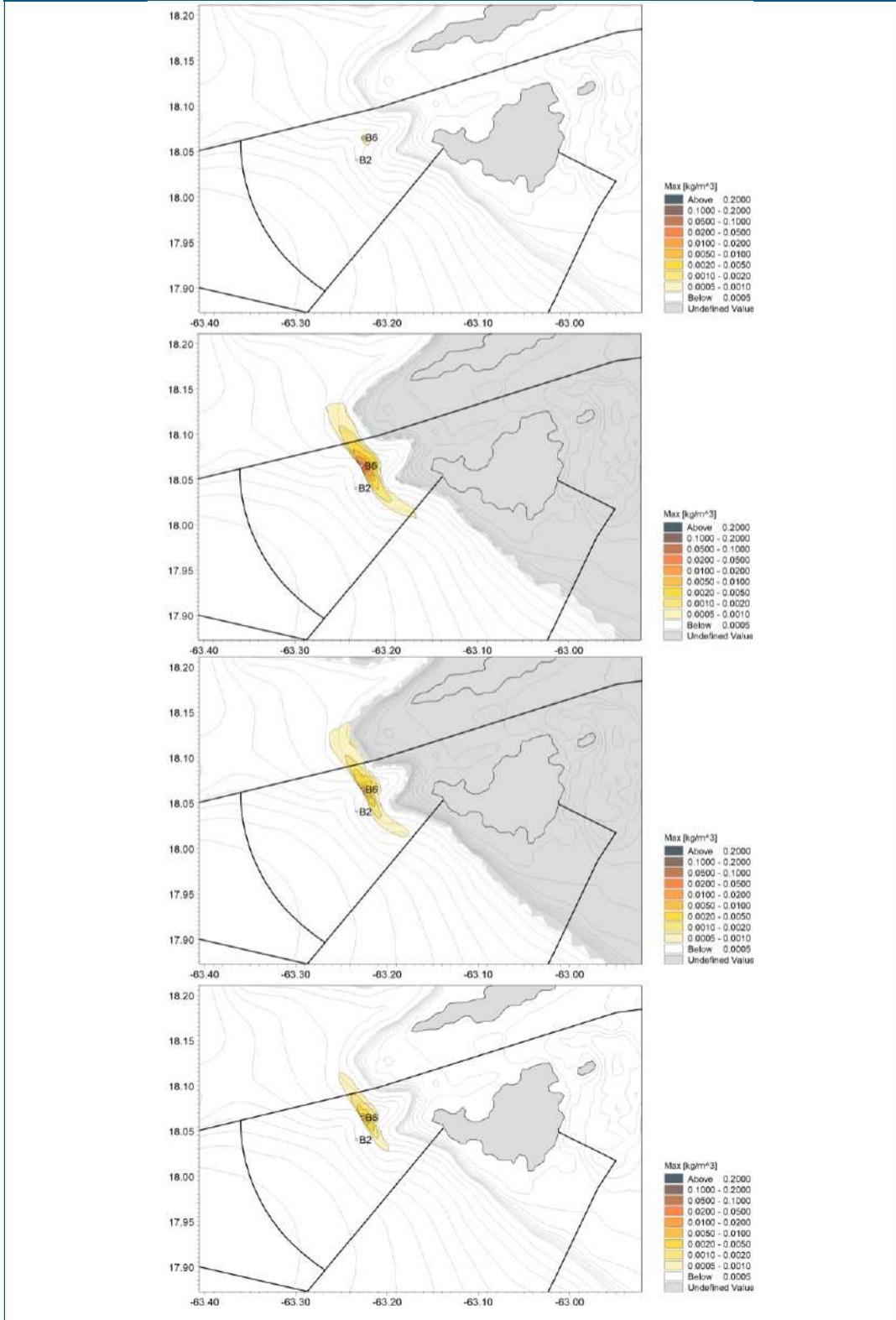


Figure 6-66 : Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 7	Calcaires	B2
-------------------	------------------	-----------

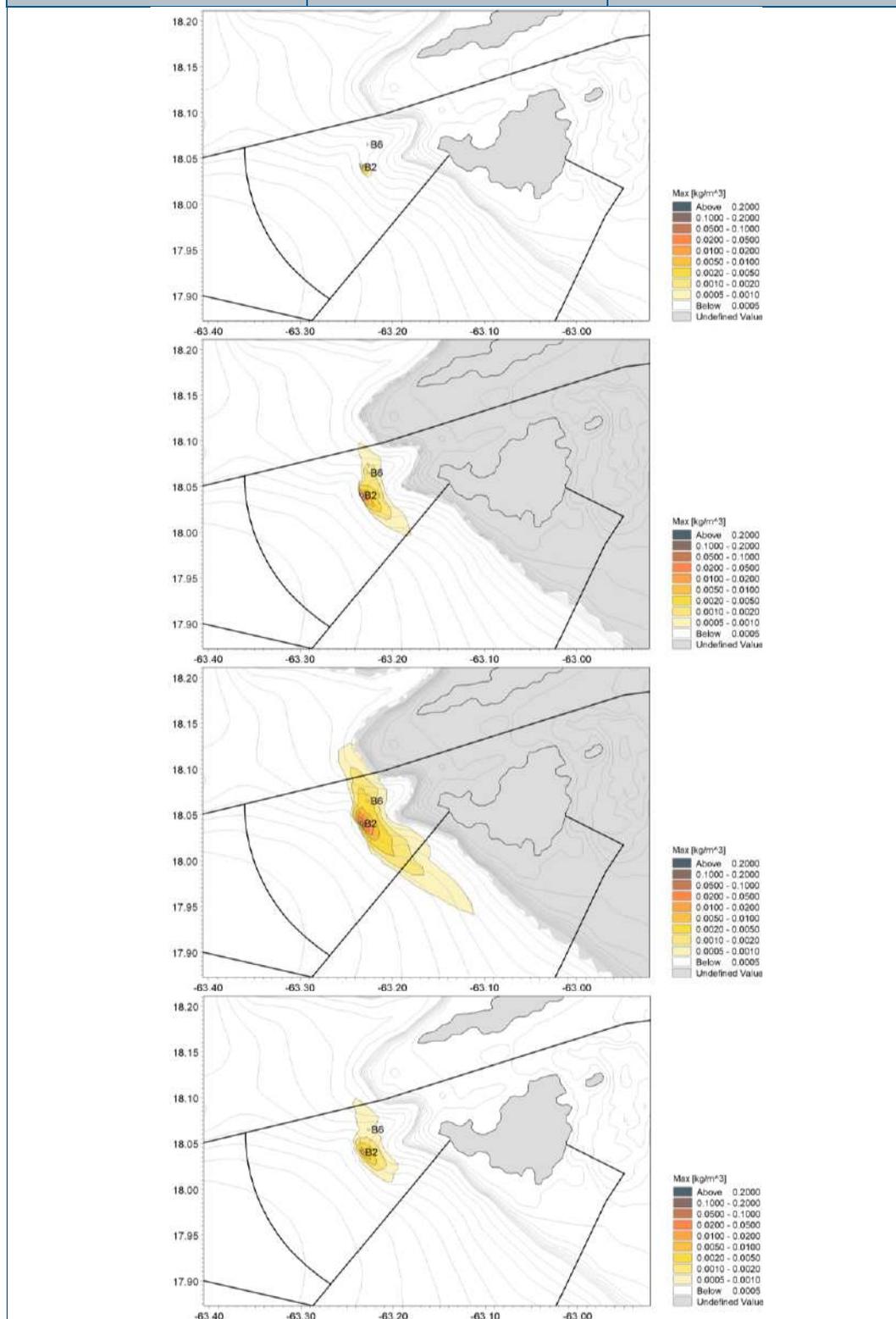


Figure 6-67 : Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 7	Calcaires	B6
------------	-----------	----

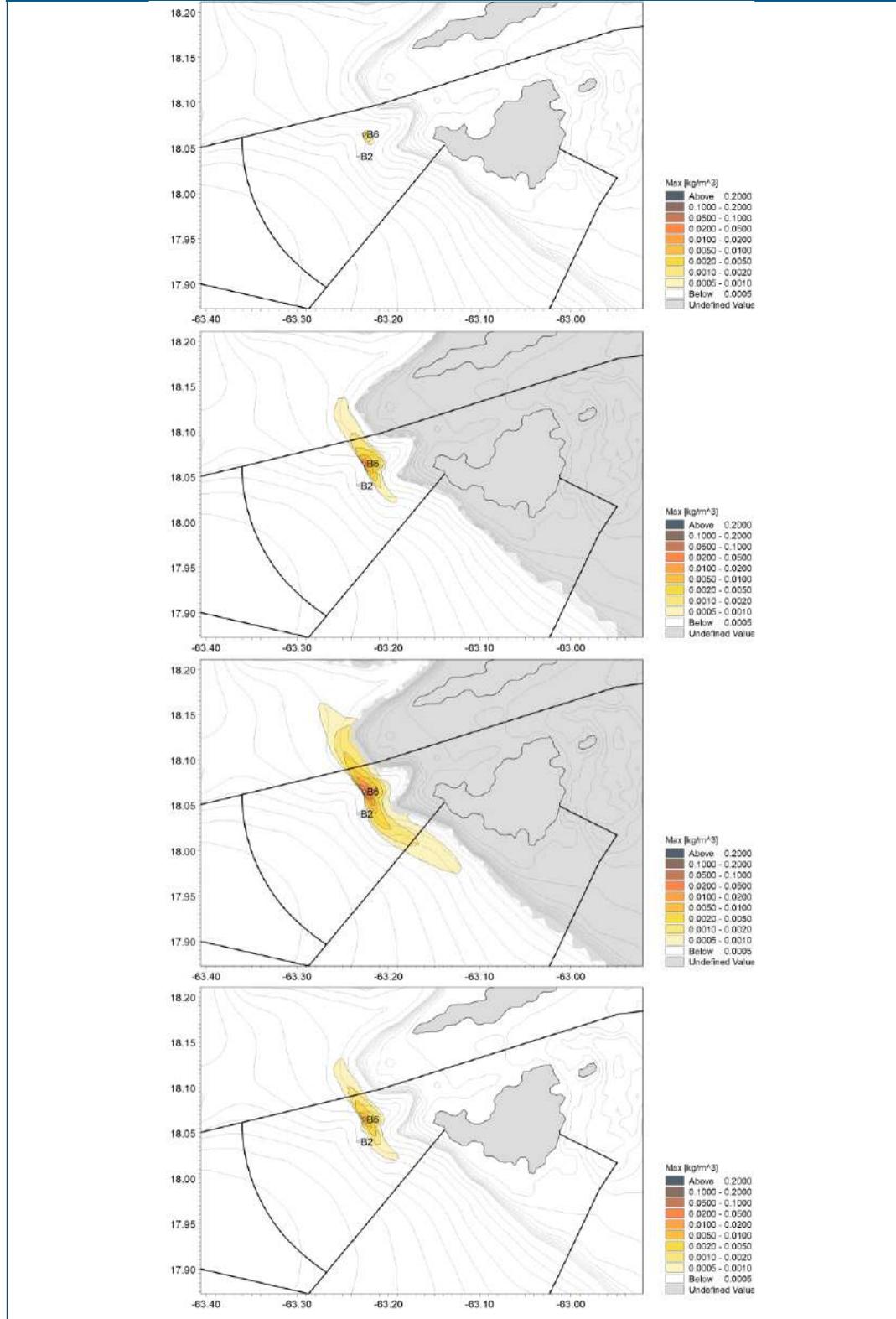


Figure 6-68 : Concentrations maximales lors du Scénario 7, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 8	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

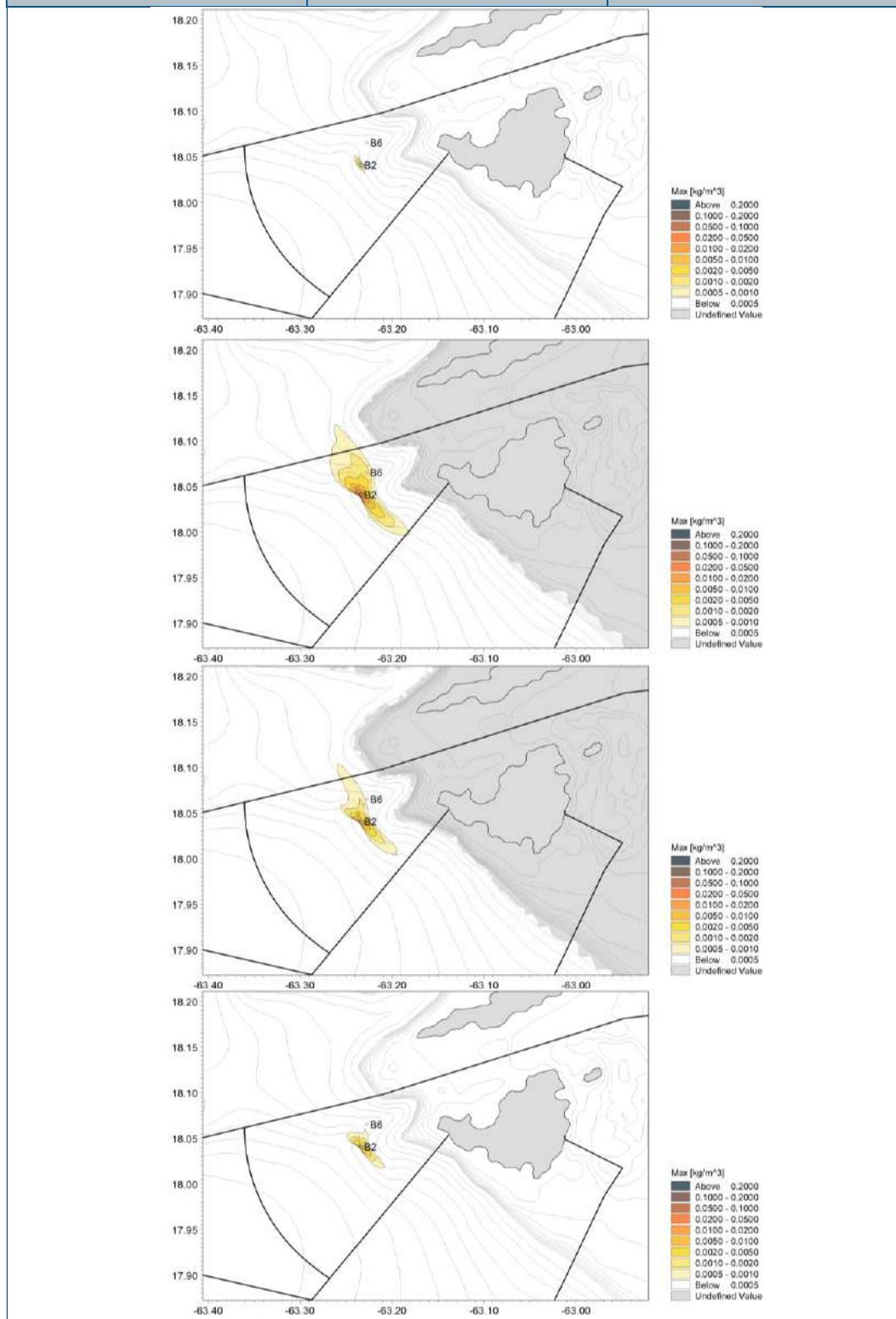


Figure 6-69 : Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 8	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

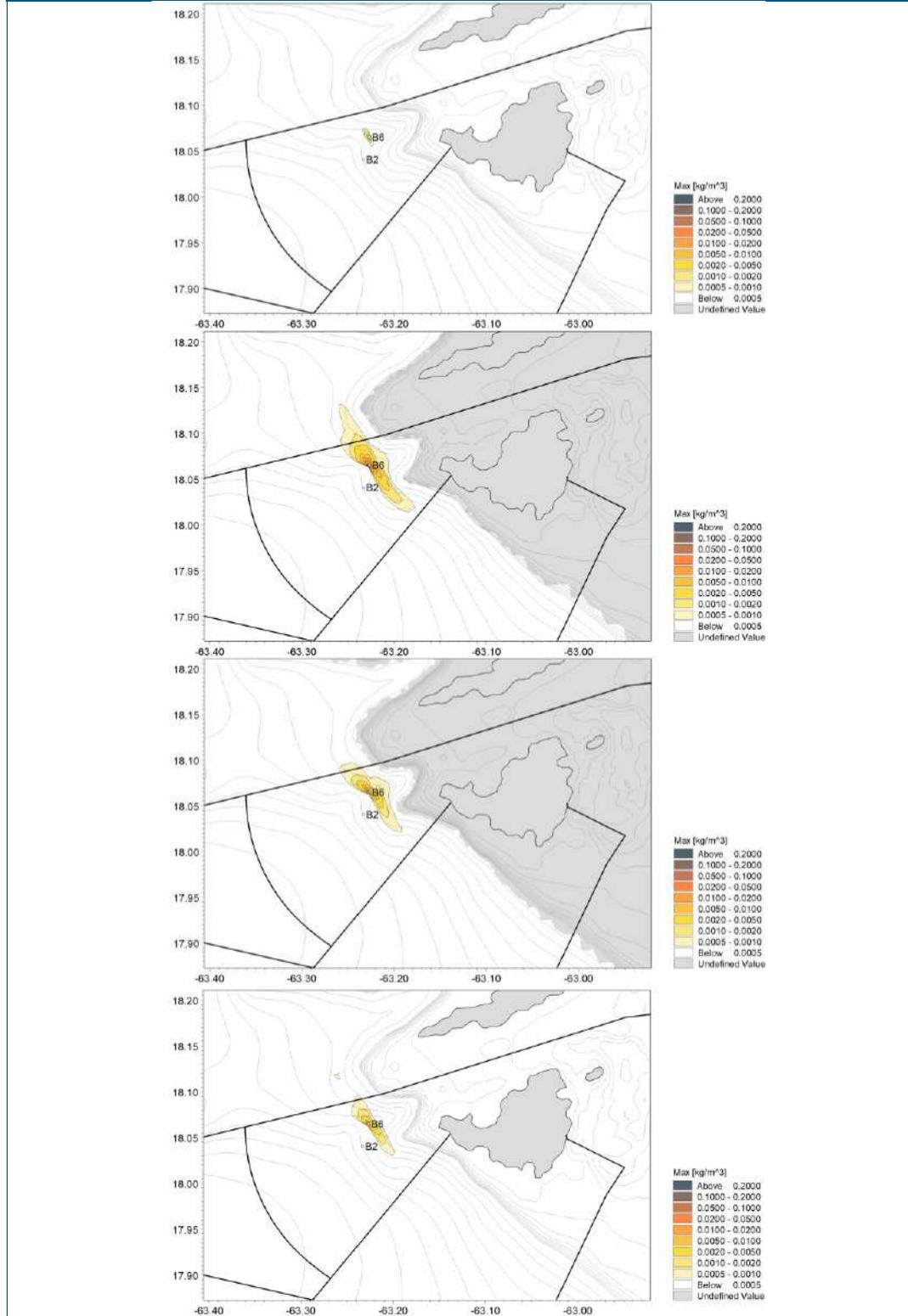


Figure 6-70 : Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 8	Calcaires	B2
-------------------	------------------	-----------

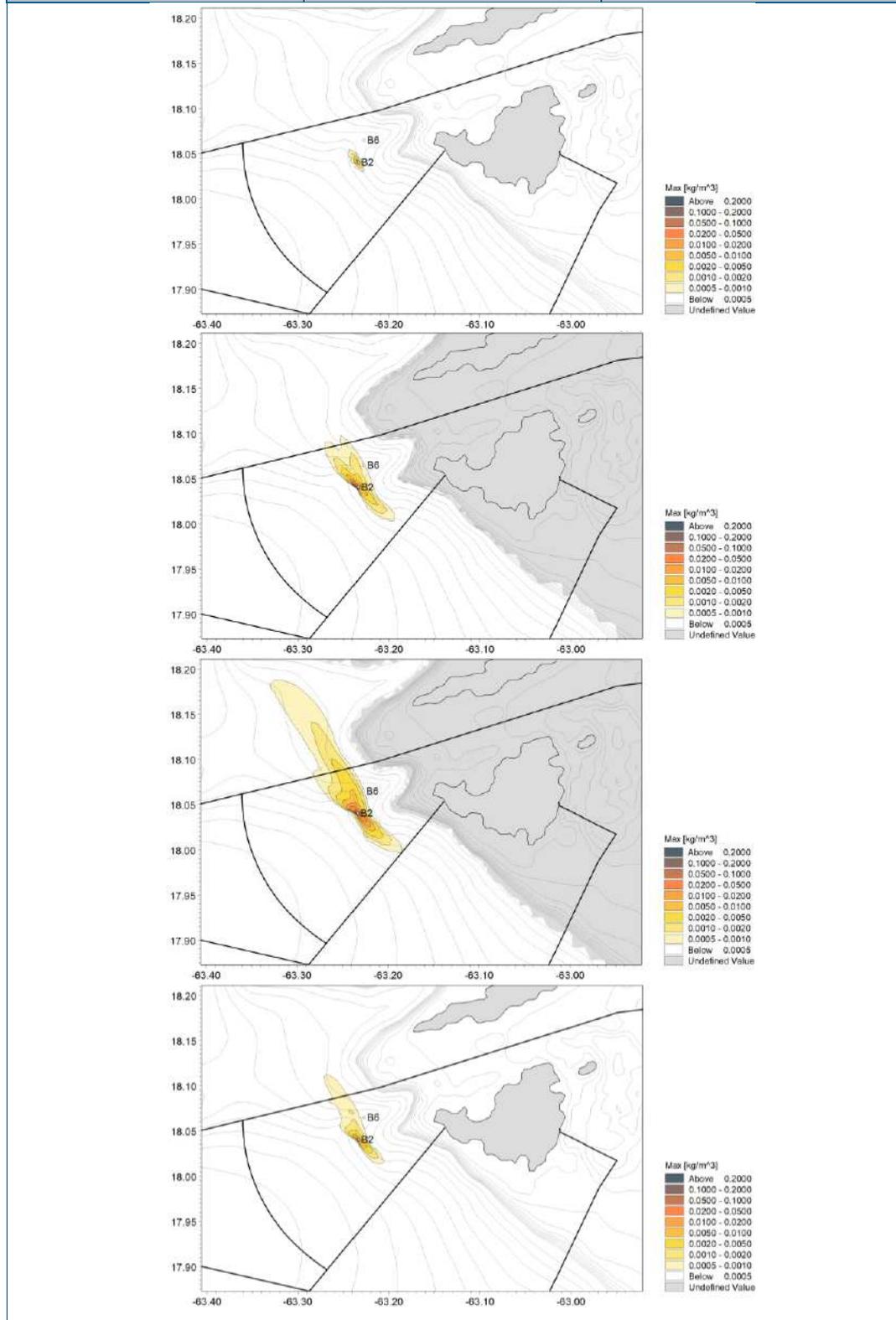


Figure 6-71 : Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 8	Calcaires	B6
-------------------	------------------	-----------

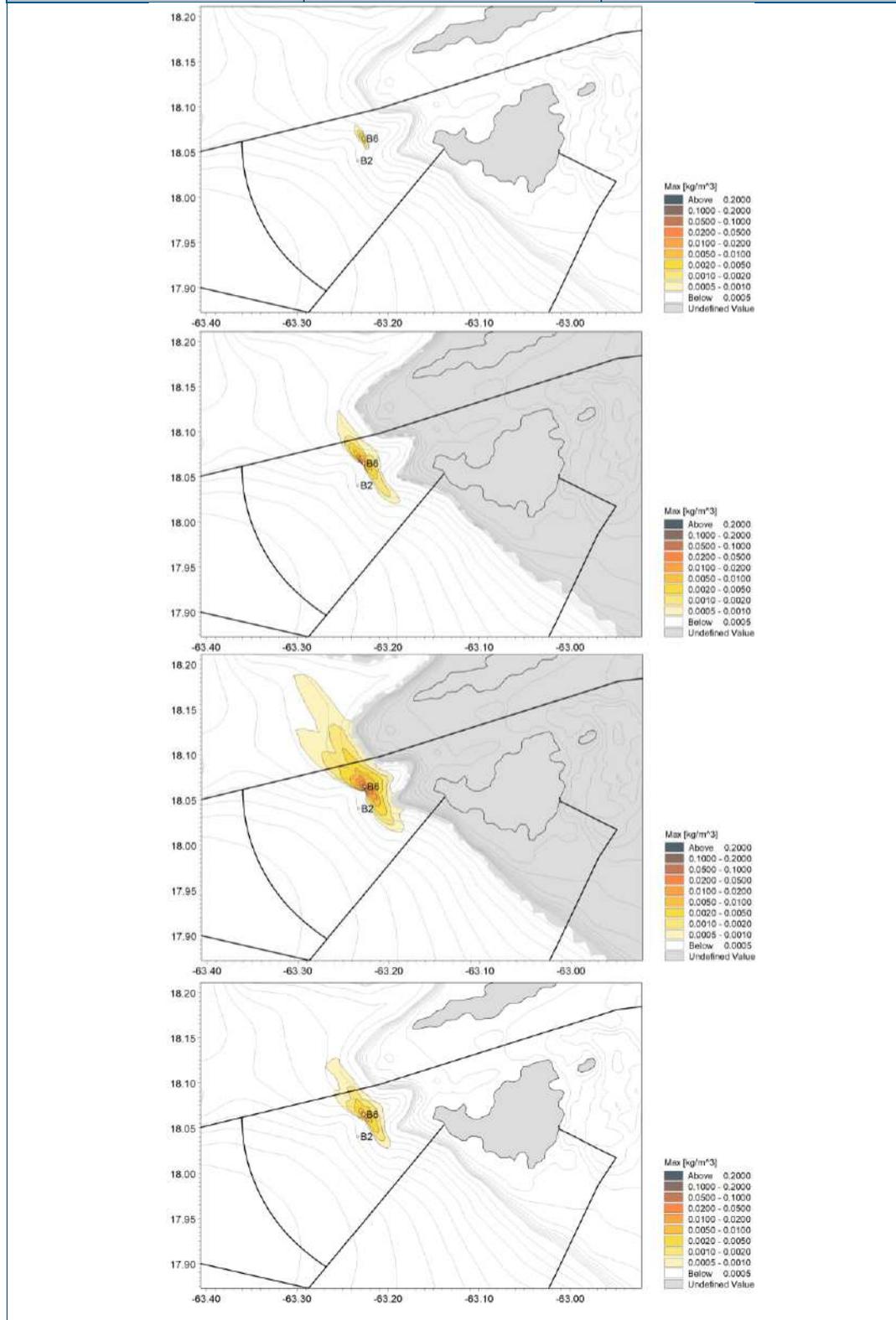


Figure 6-72 : Concentrations maximales lors du Scénario 8, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 9	Argiles	B2
-------------------	----------------	-----------

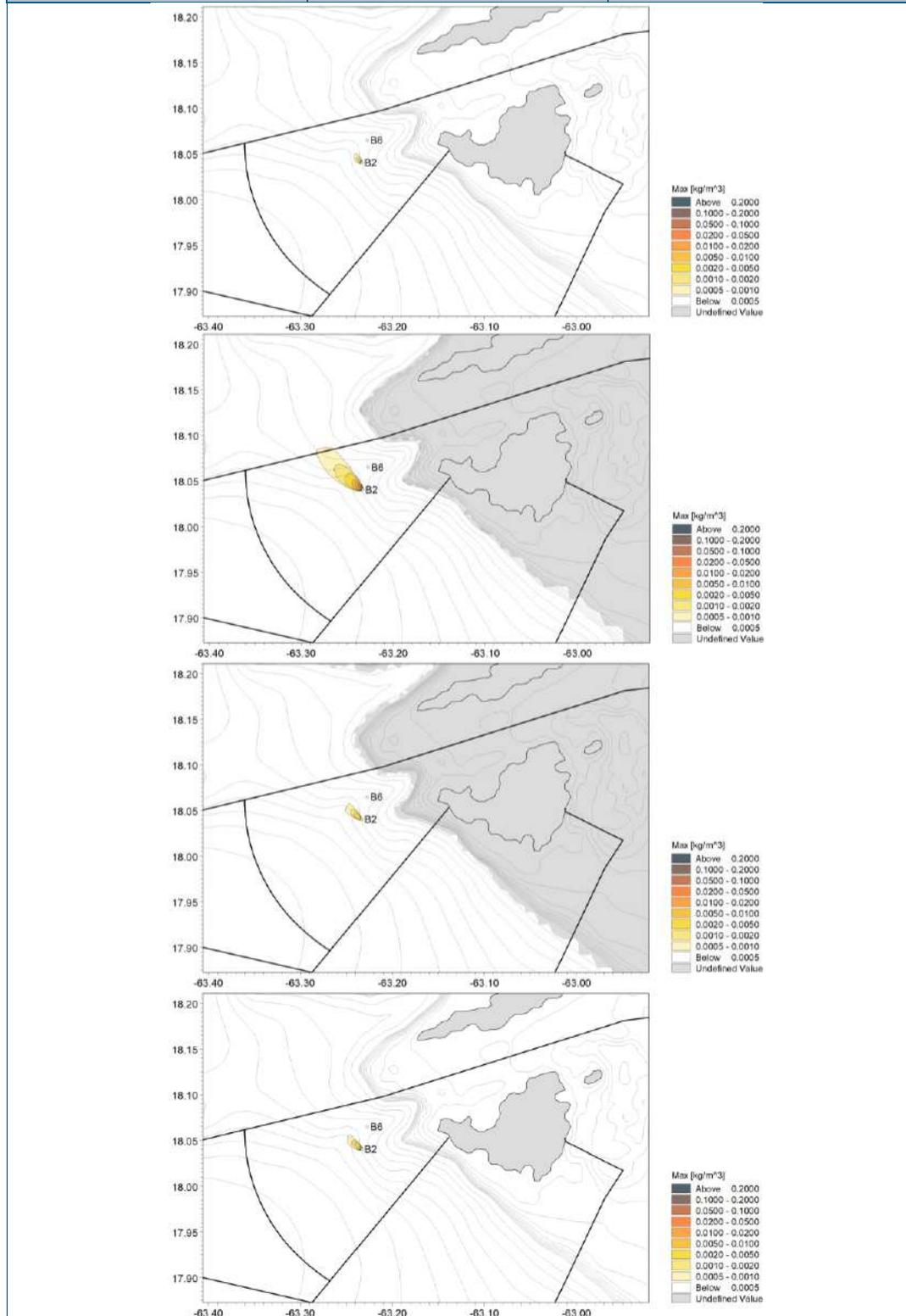


Figure 6-73 : Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 9	Argiles	B6
-------------------	----------------	-----------

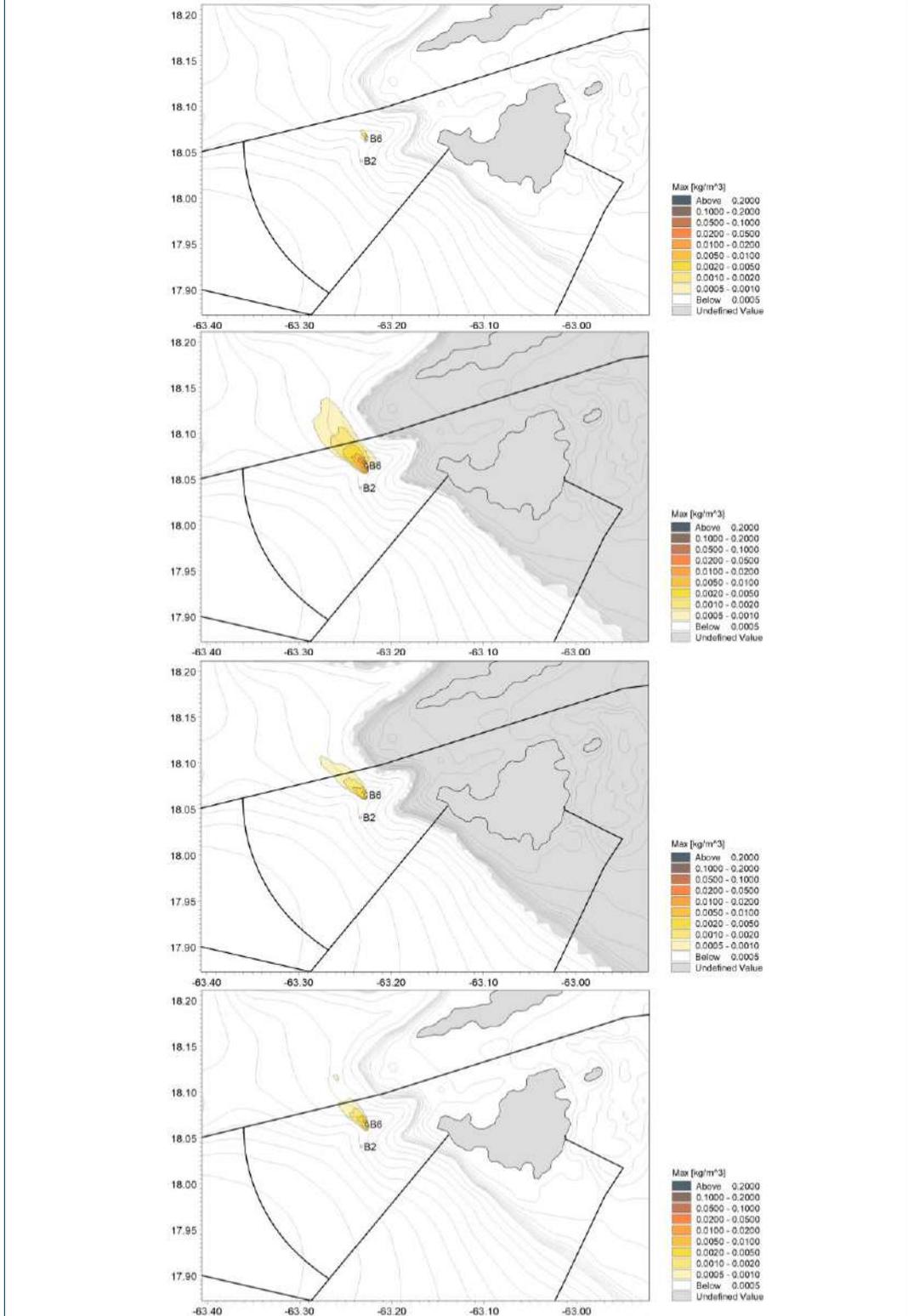


Figure 6-74 : Concentrations maximales lors du Scénario 9, claquage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

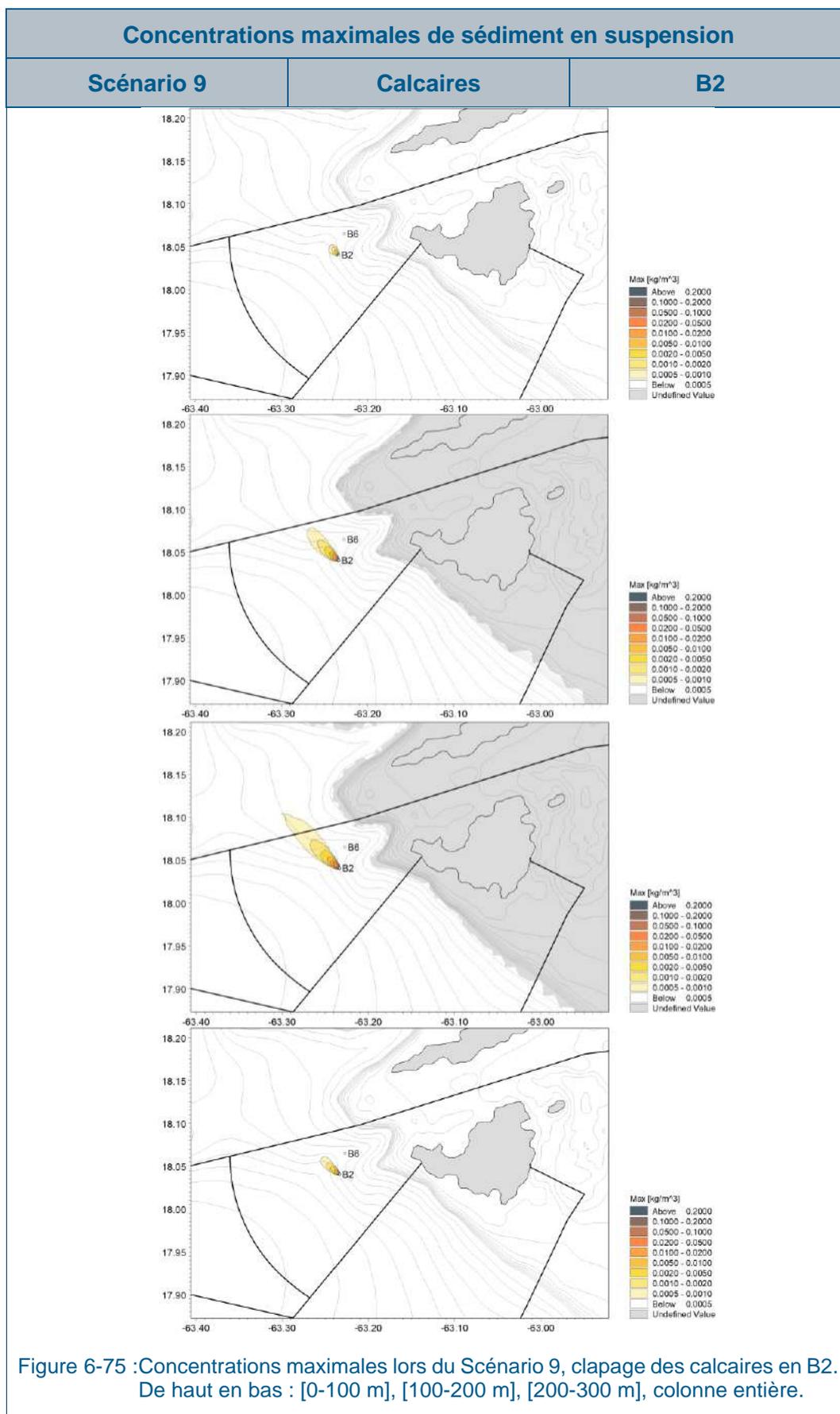


Figure 6-75 : Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario 9	Calcaires	B6
-------------------	------------------	-----------

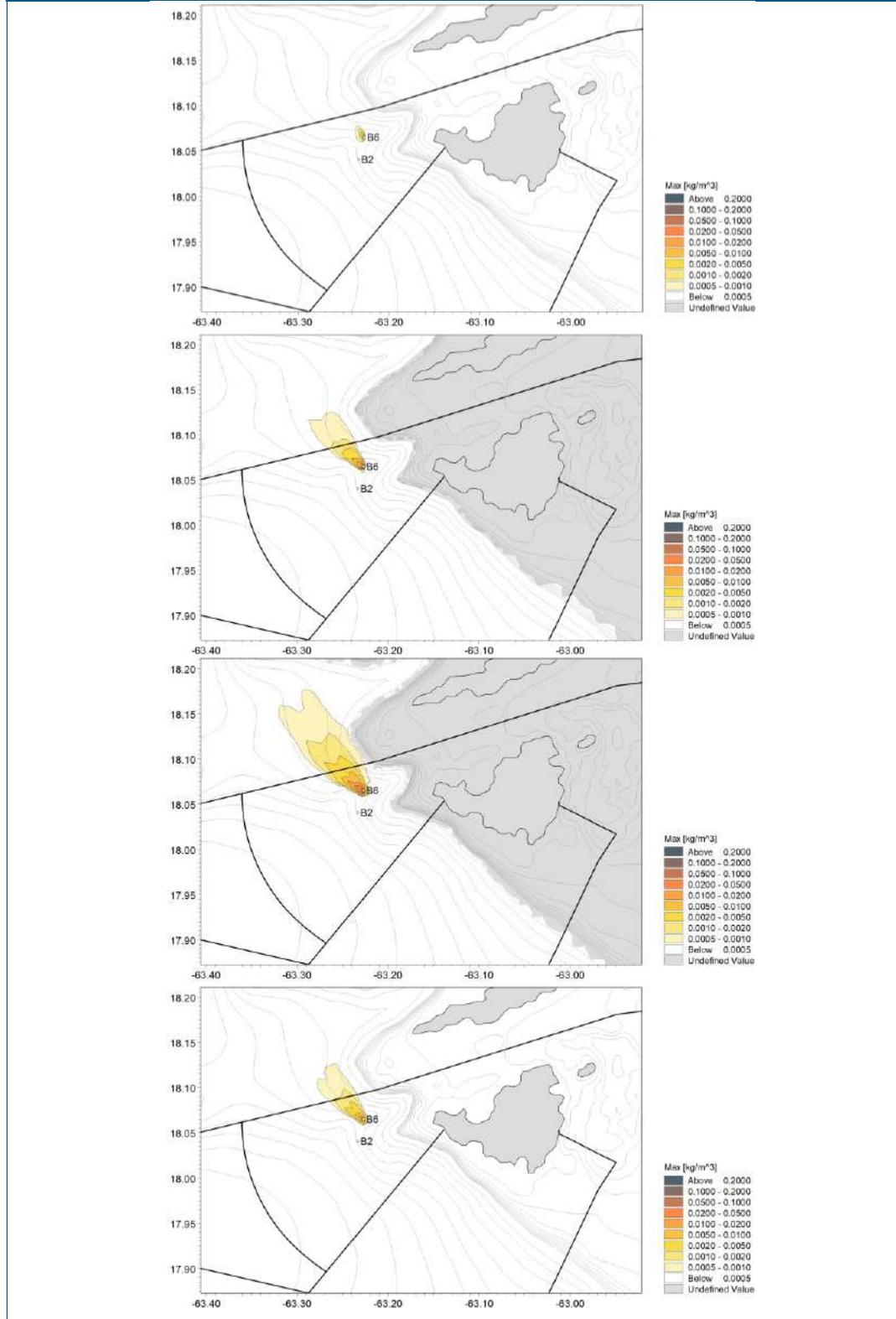


Figure 6-76 : Concentrations maximales lors du Scénario 9, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario long	Argiles	B2
----------------------	----------------	-----------

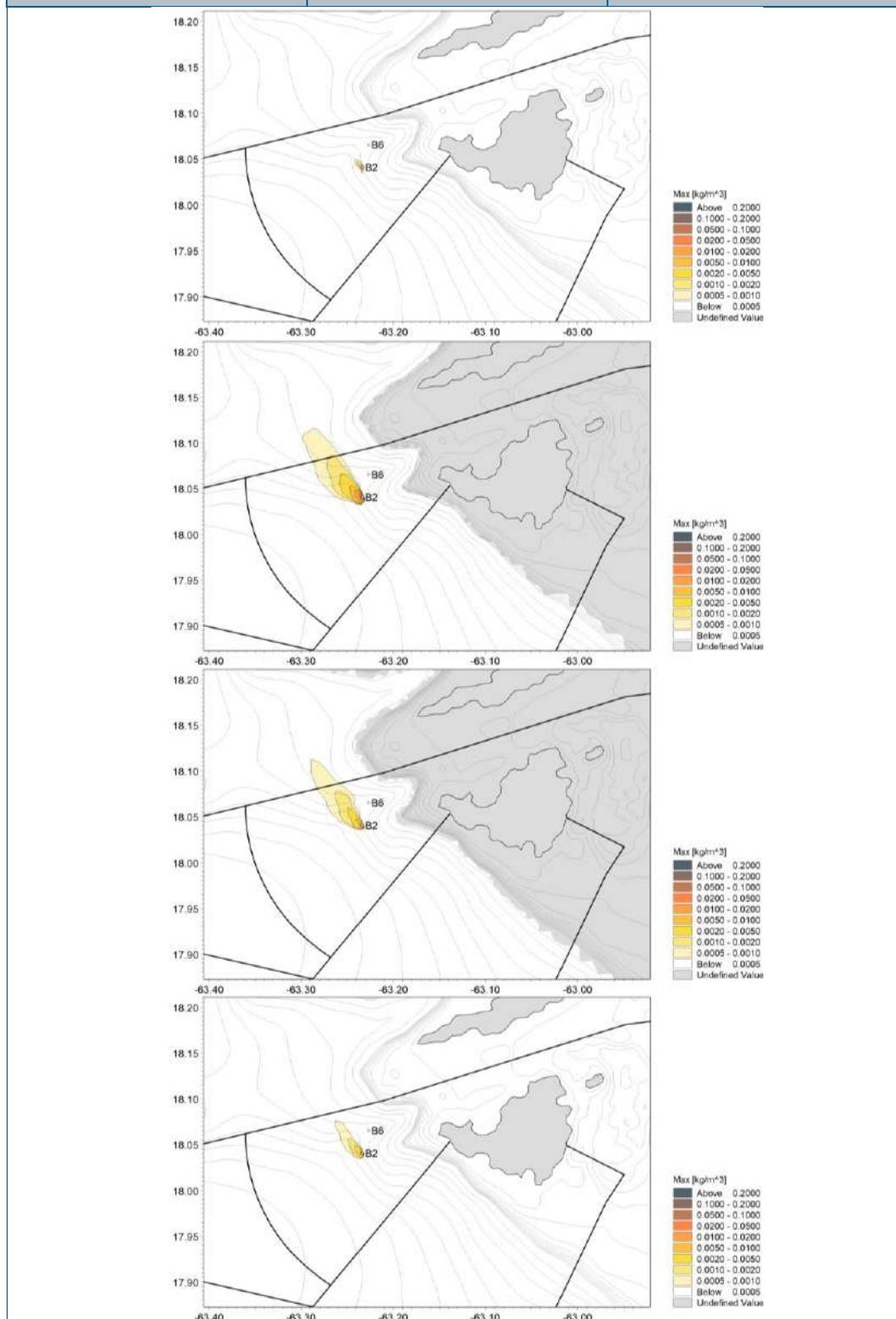


Figure 6-77 : Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des argiles en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario long	Argiles	B6
----------------------	----------------	-----------

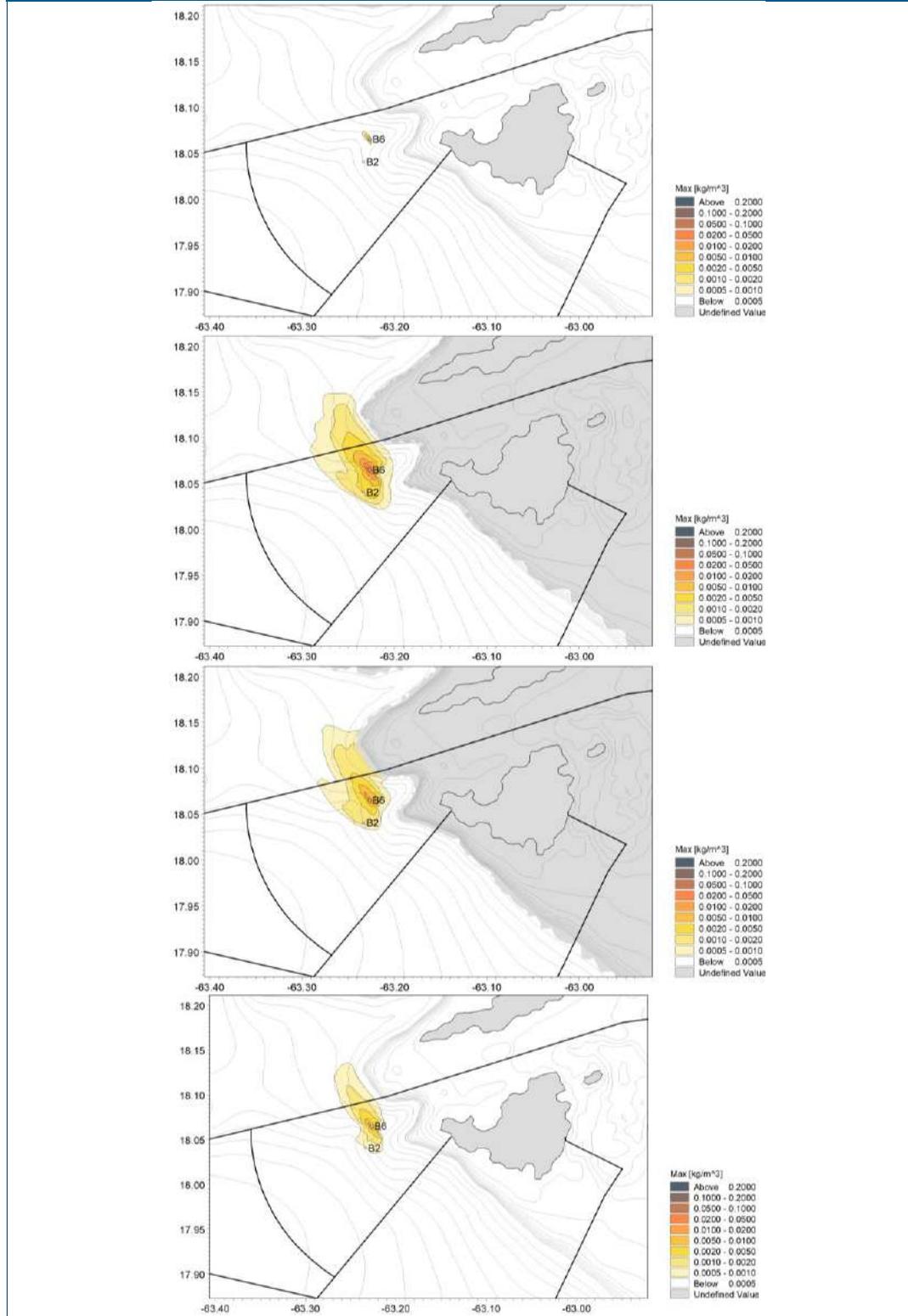


Figure 6-78 : Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des argiles en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

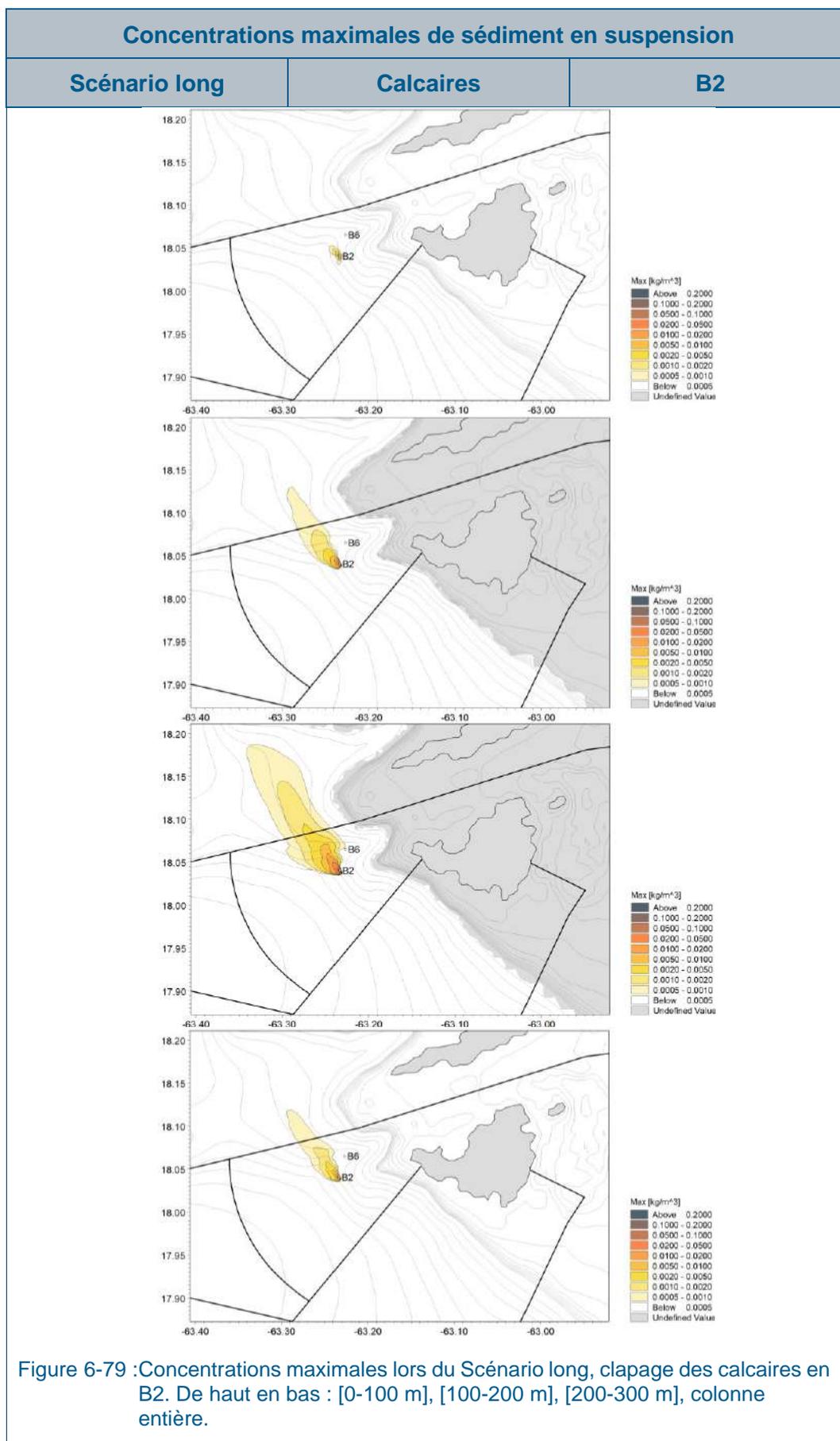


Figure 6-79 : Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des calcaires en B2. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

Concentrations maximales de sédiment en suspension

Scénario long	Calcaires	B6
----------------------	------------------	-----------

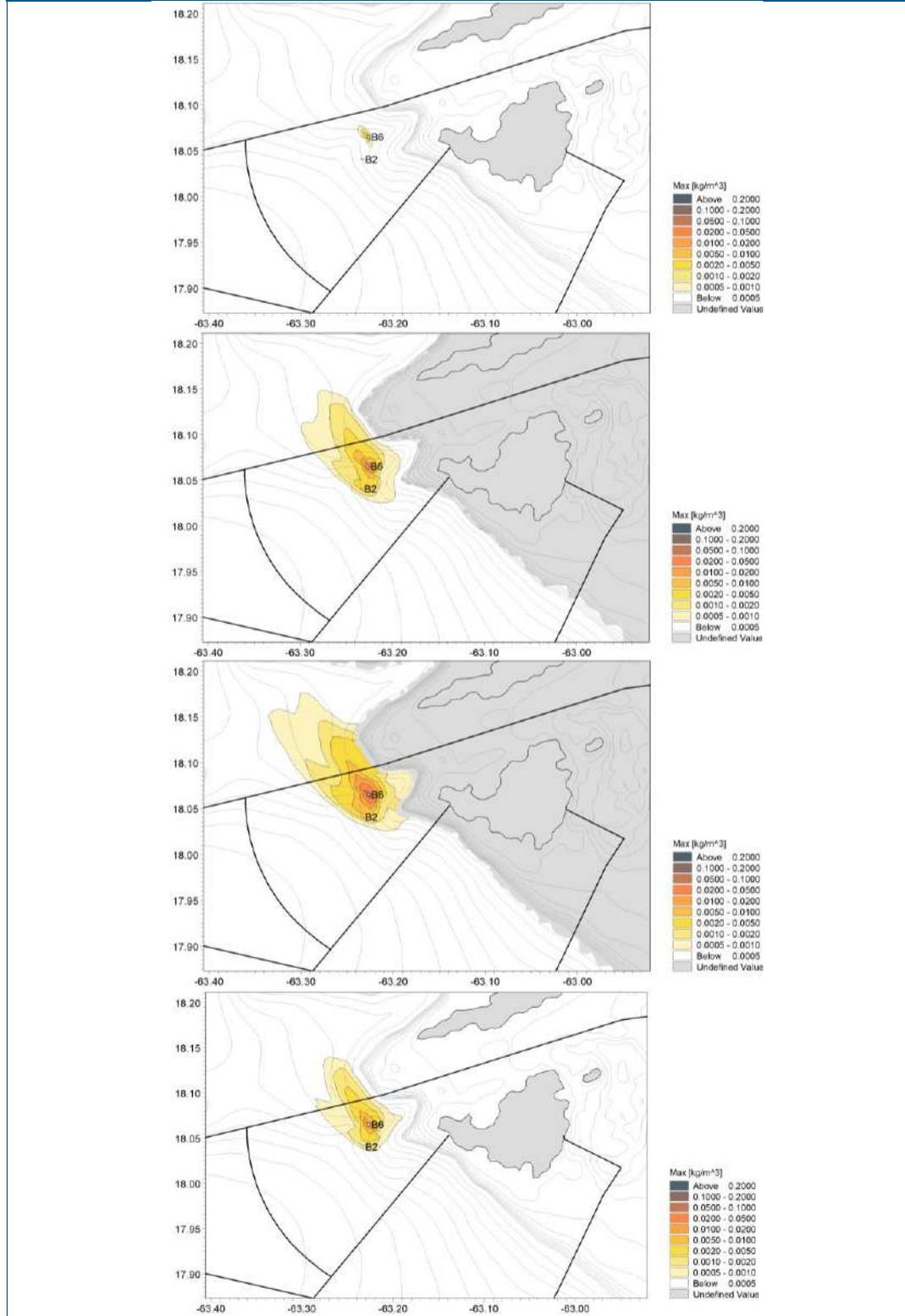


Figure 6-80 : Concentrations maximales lors du Scénario long, clapage des calcaires en B6. De haut en bas : [0-100 m], [100-200 m], [200-300 m], colonne entière.

B.3. Les bilans de masse

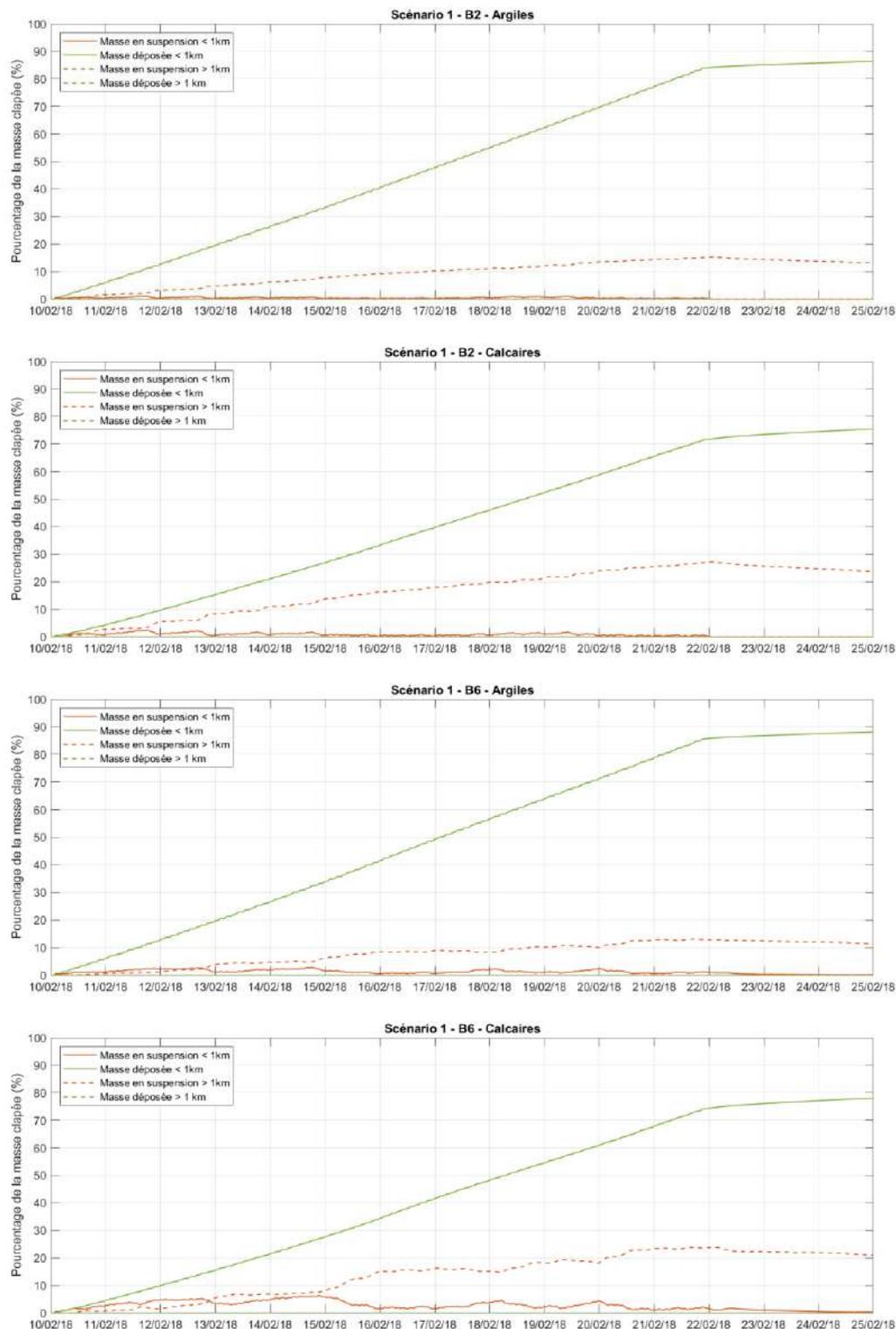


Figure 6-81 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 1.

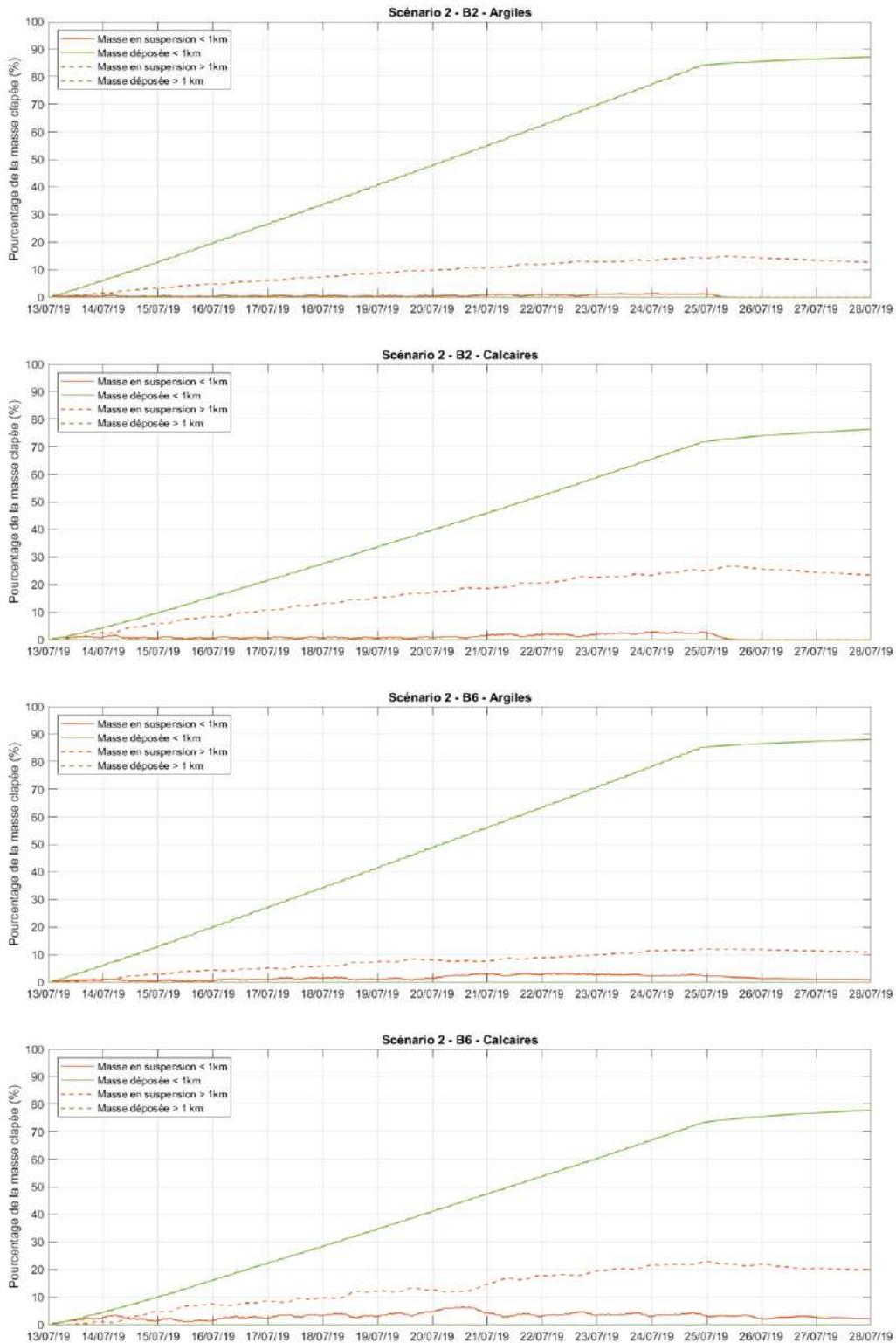


Figure 6-82 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 2.

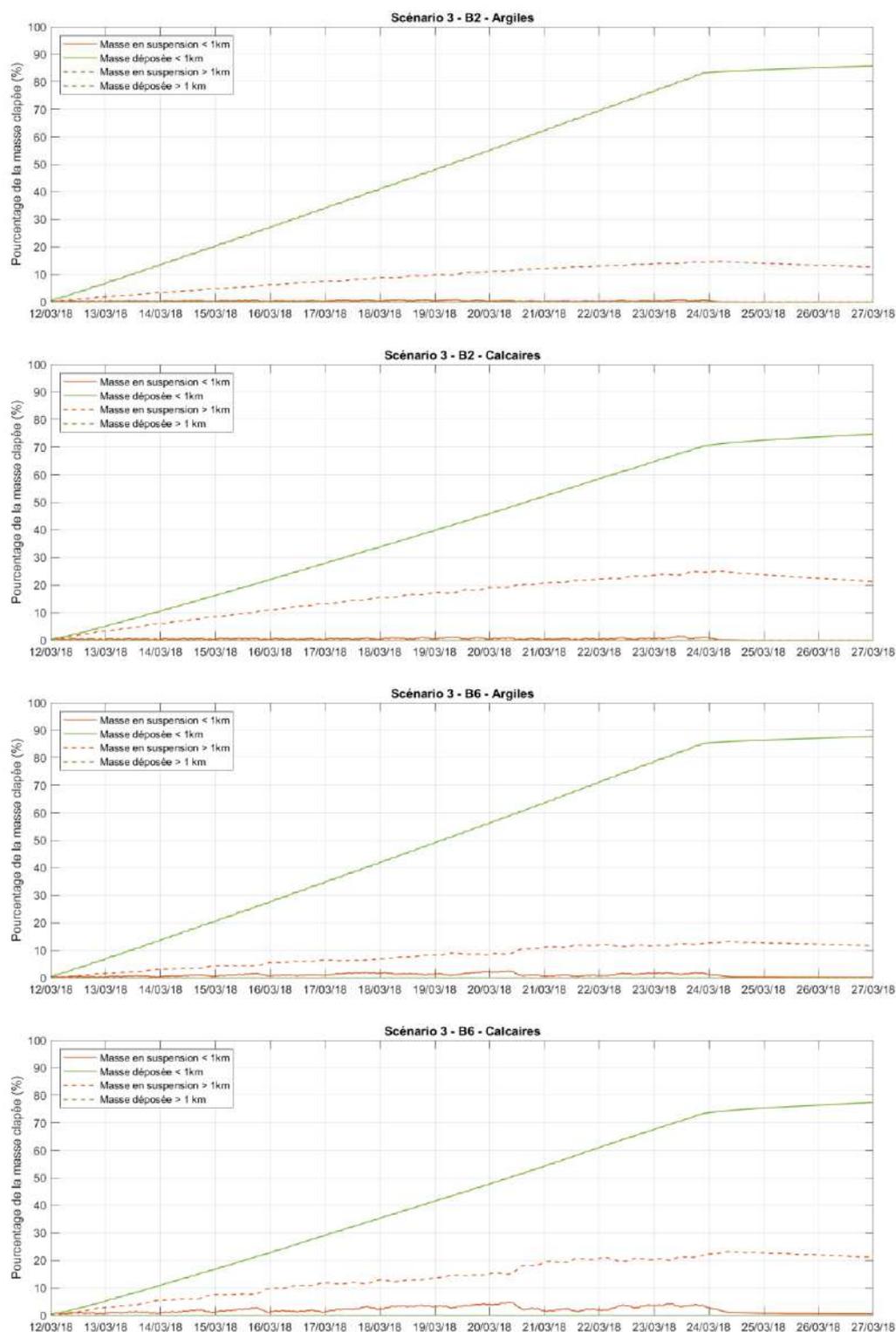


Figure 6-83 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 3.



Figure 6-84 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 4.

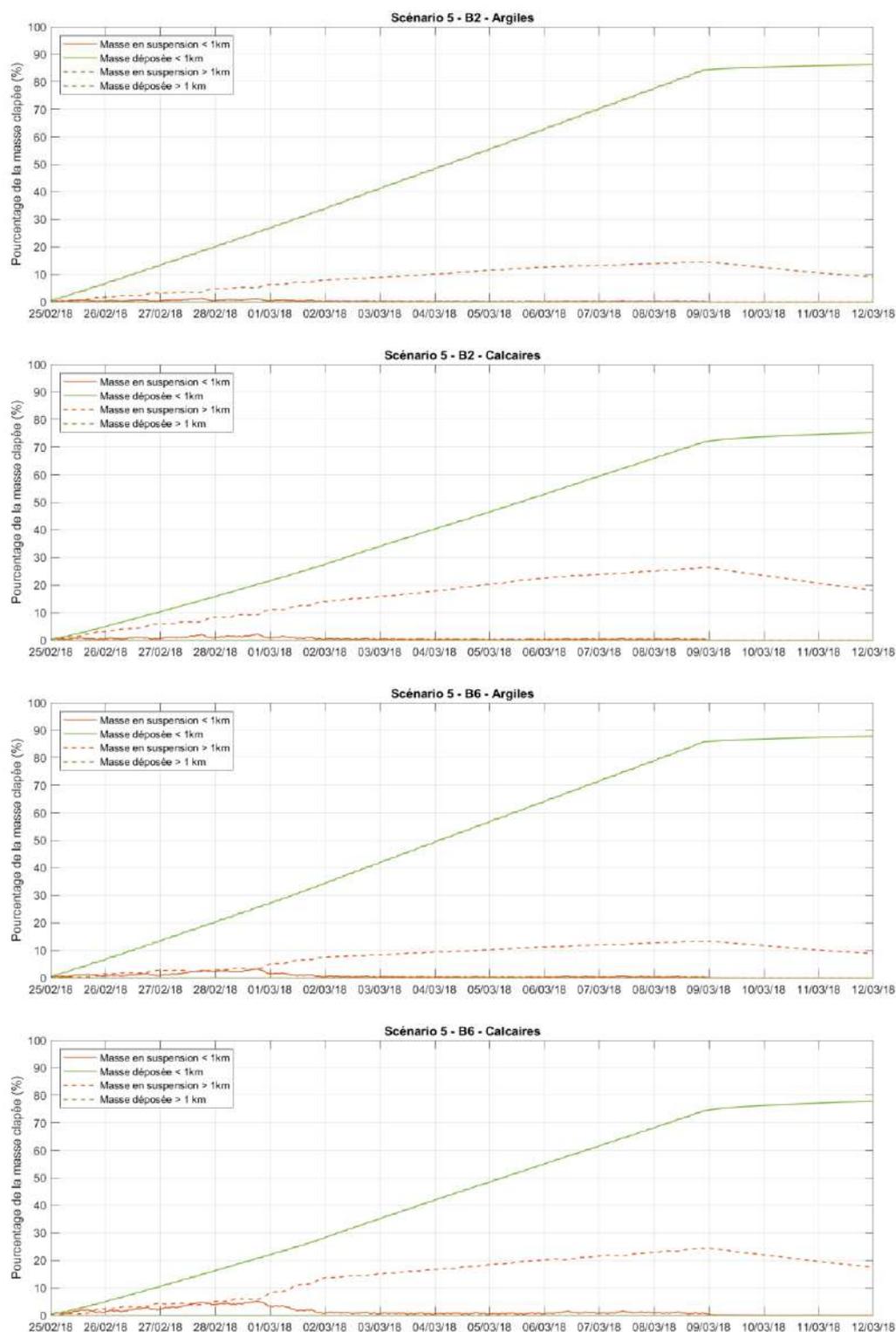


Figure 6-85 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 5.

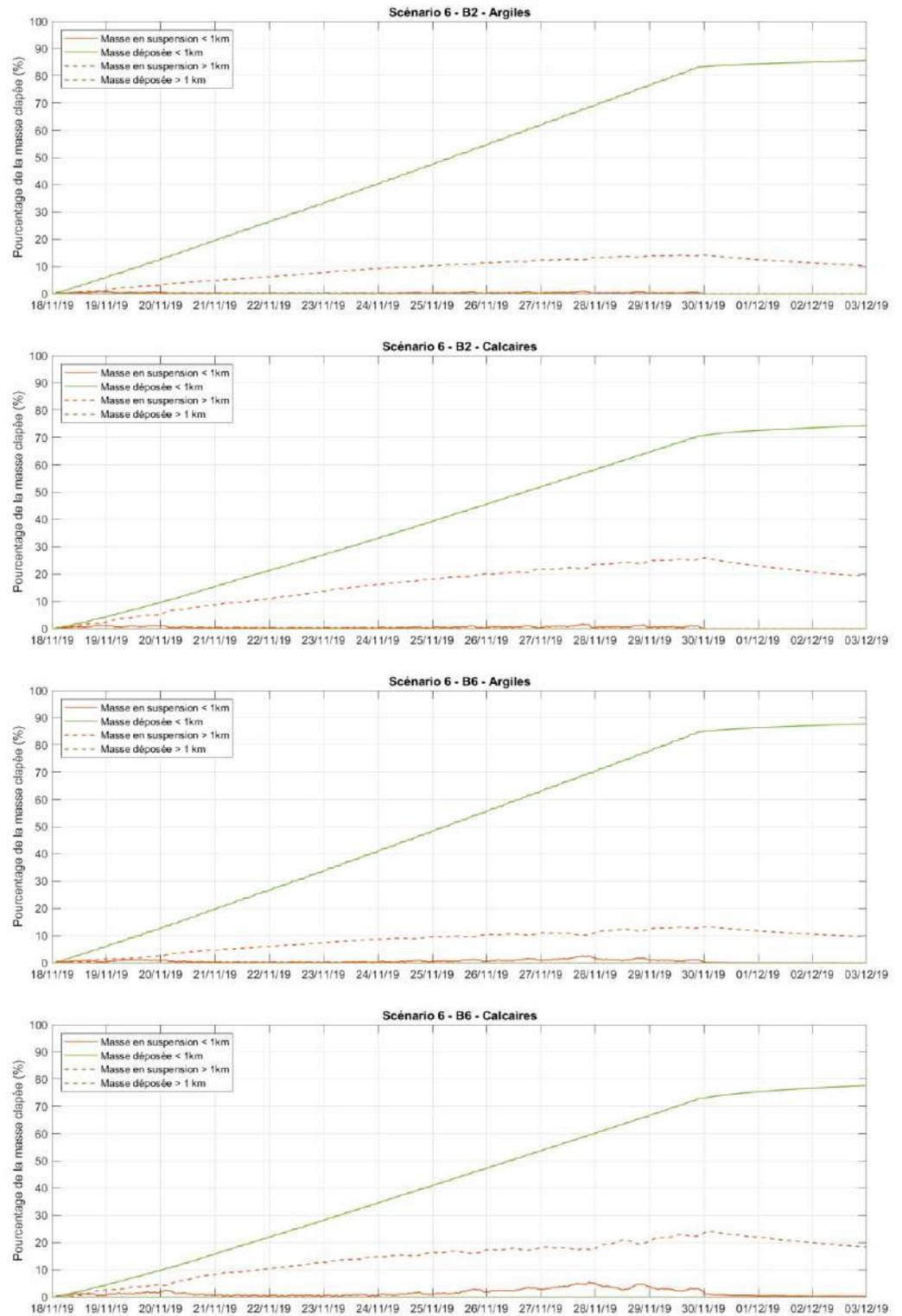


Figure 6-86 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 6.

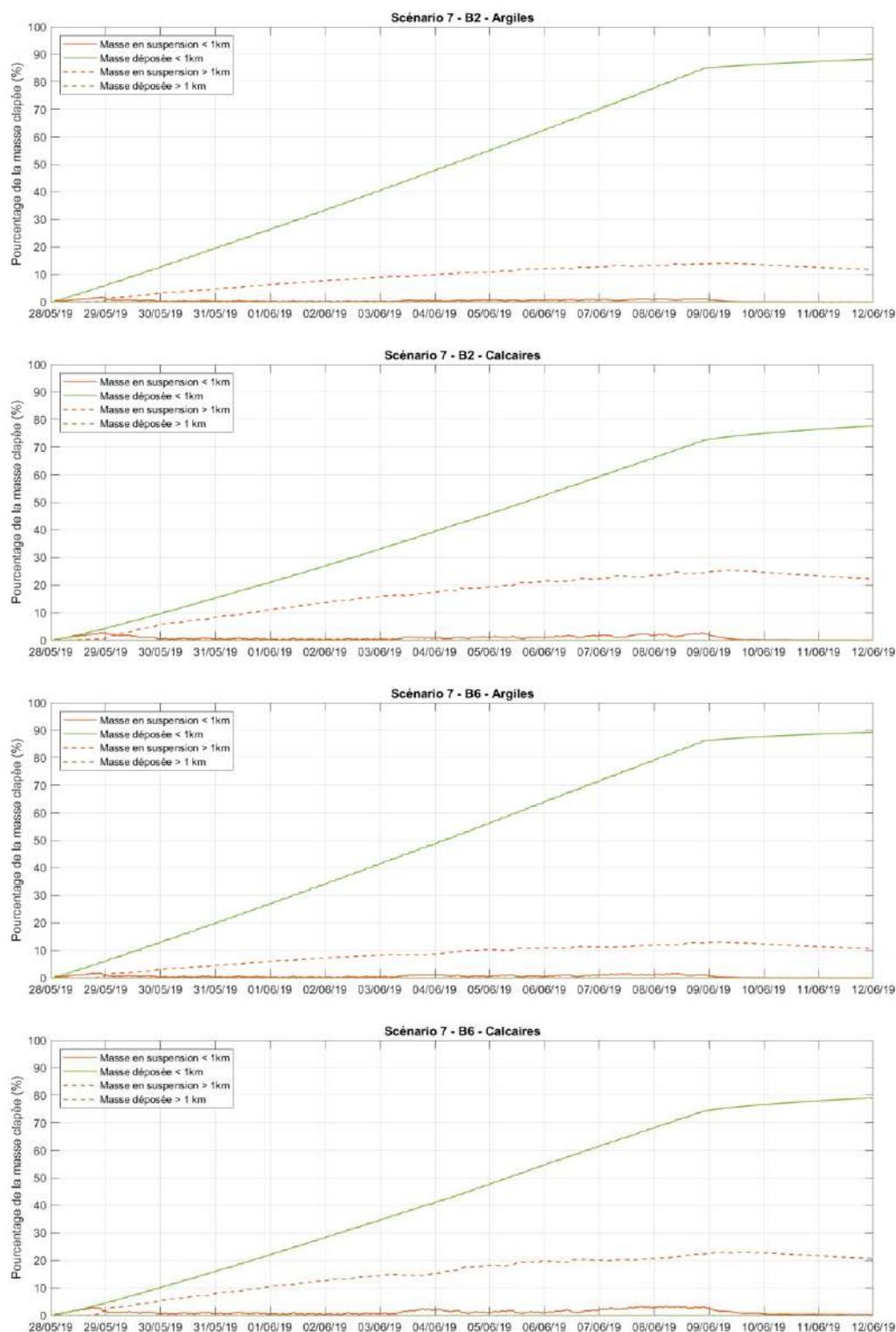


Figure 6-87 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 7.

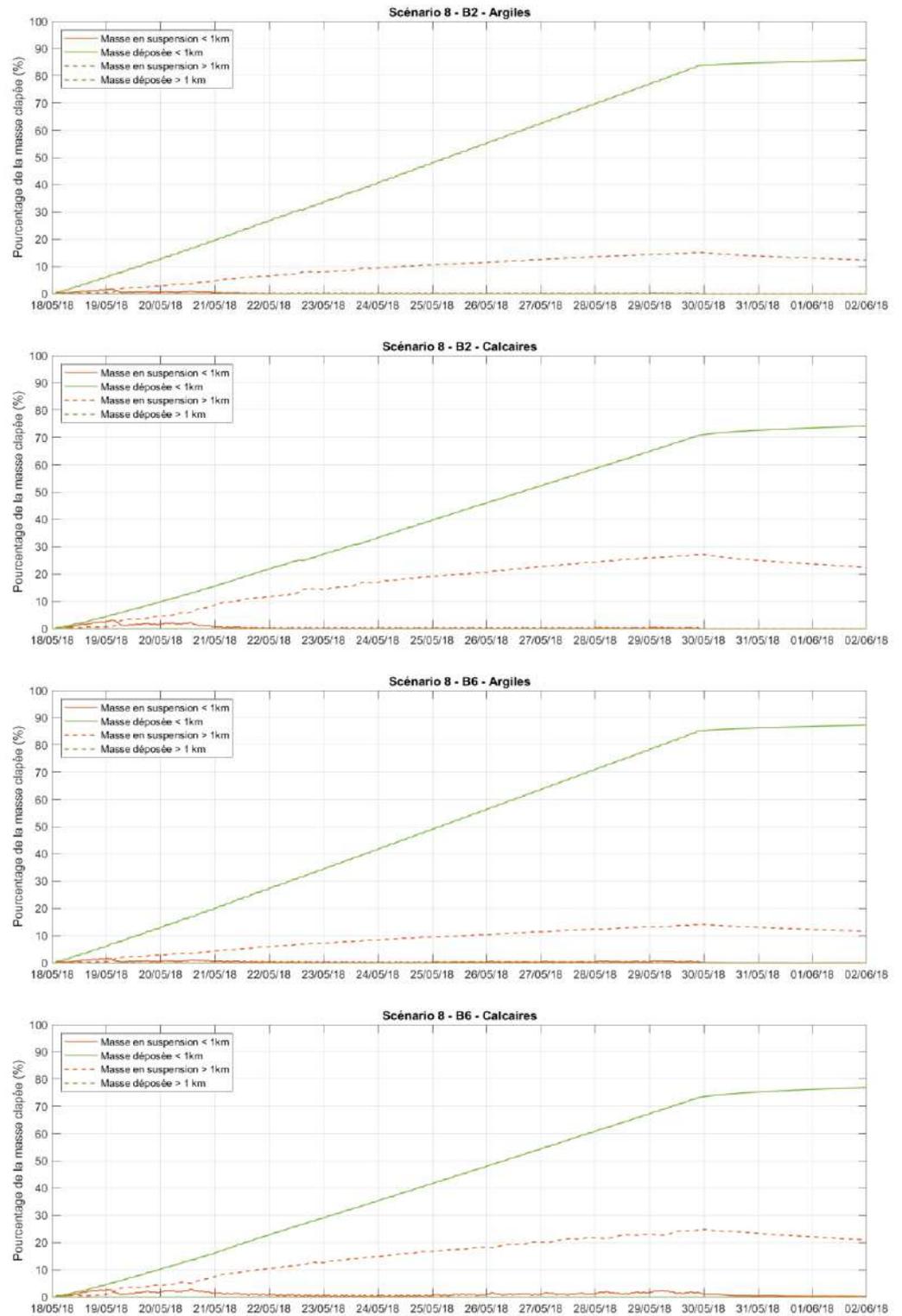


Figure 6-88 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 8.

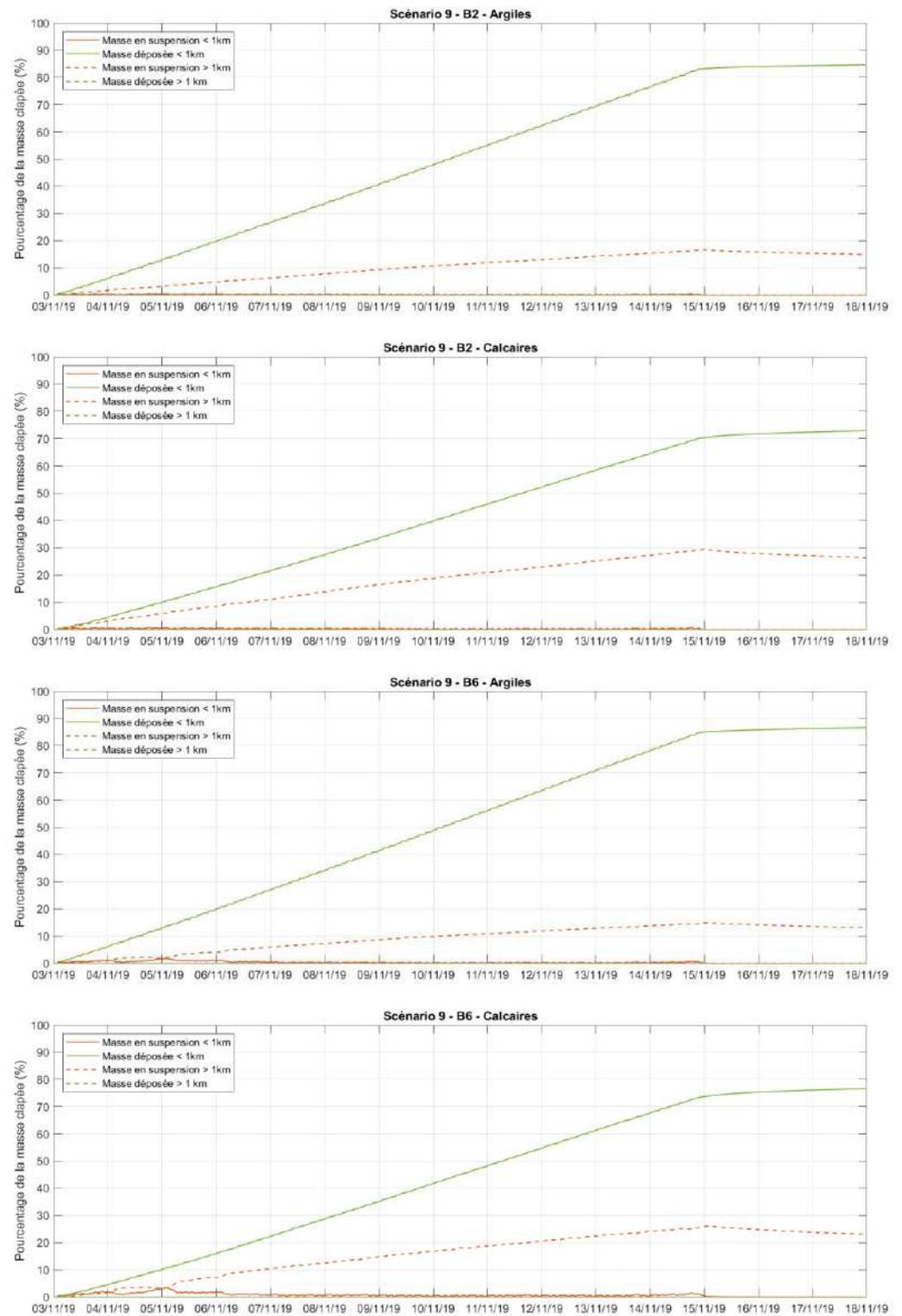


Figure 6-89 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario 9.



Figure 6-90 : Pourcentage de la masse totale clapée en suspension et déposée, dans un rayon de 1 km autour du point de clapage et au-delà – Scénario long.

ANNEXE C – Tests de sensibilité des résultats du modèle aux principaux paramètres

C Tests de sensibilité des résultats du modèle aux principaux paramètres

C.1. Incidence sur les dépôts

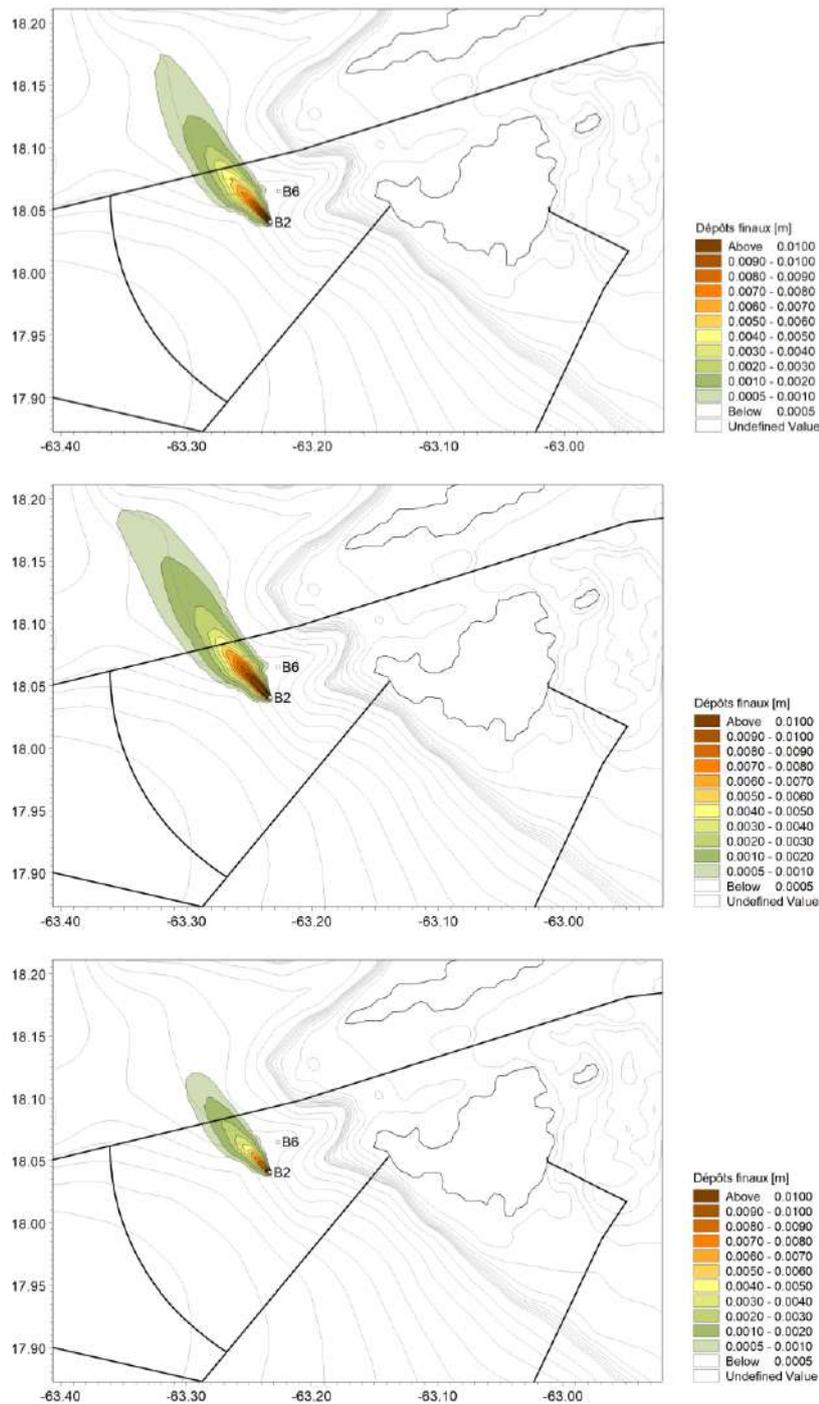


Figure 6-91 : Incidence des tests de sensibilité sur les dépôts : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).

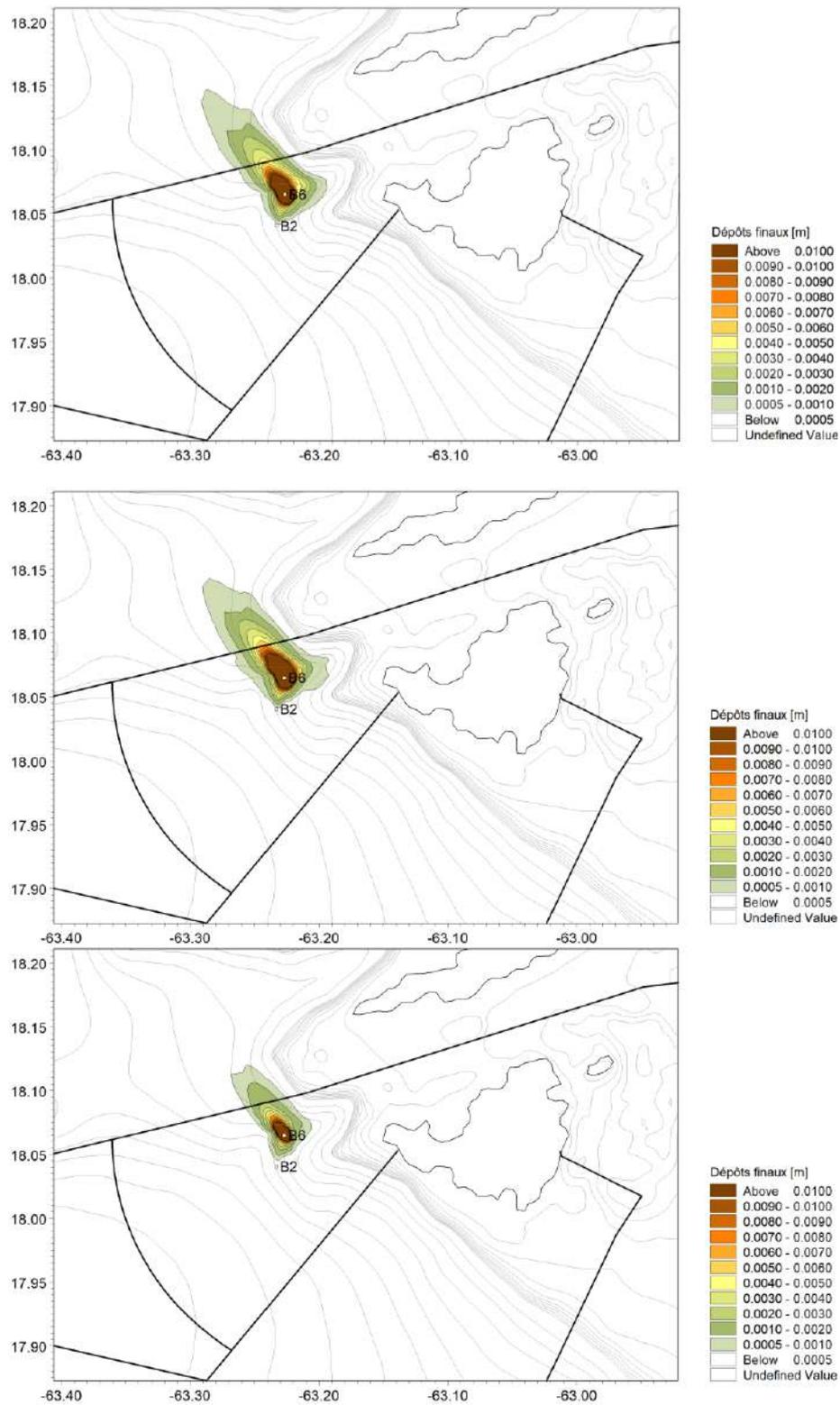


Figure 6-92 : Incidence des tests de sensibilité sur les dépôts : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).

C.2. Incidence sur les concentrations de matière en suspension

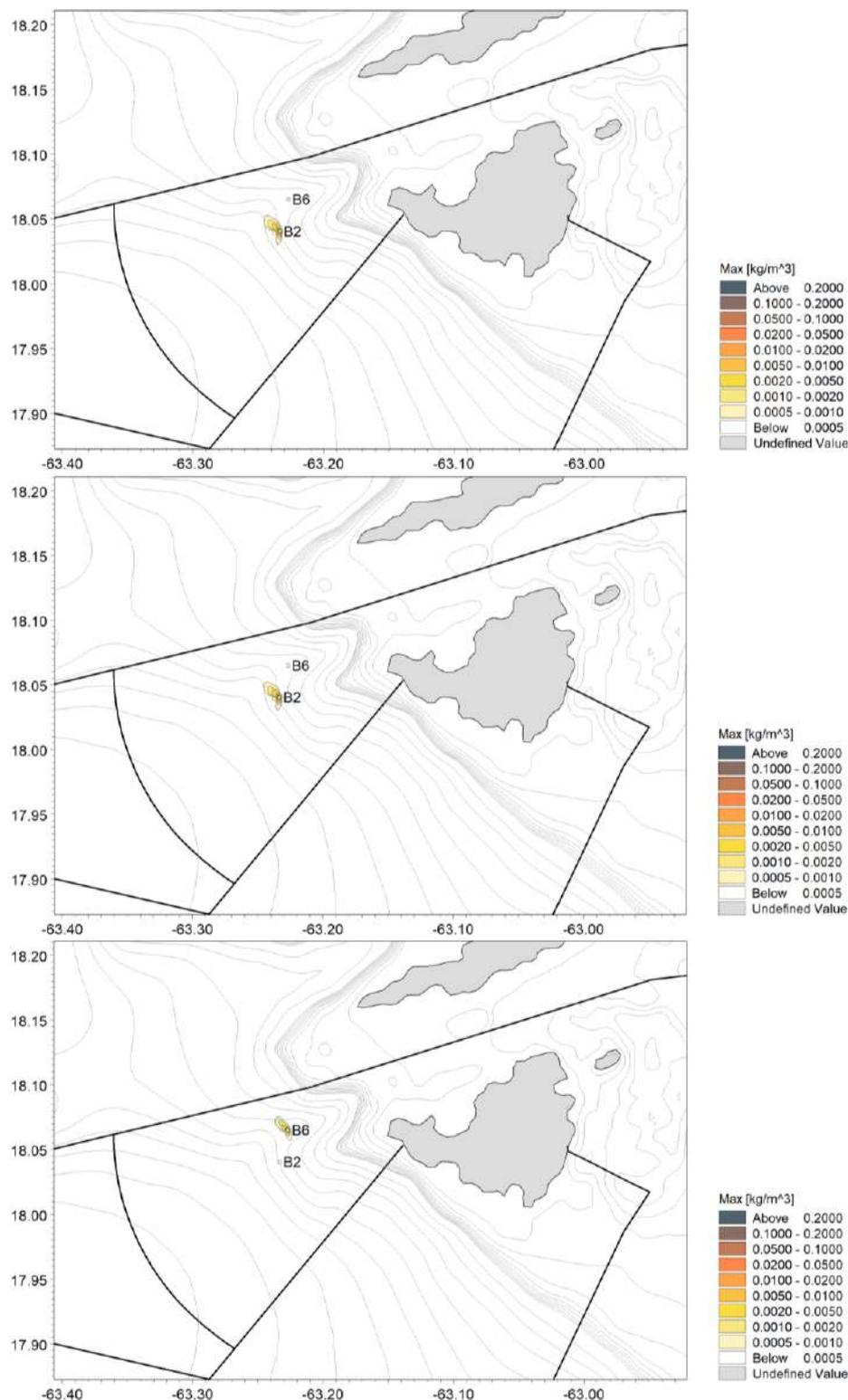


Figure 6-93 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [0-100m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).

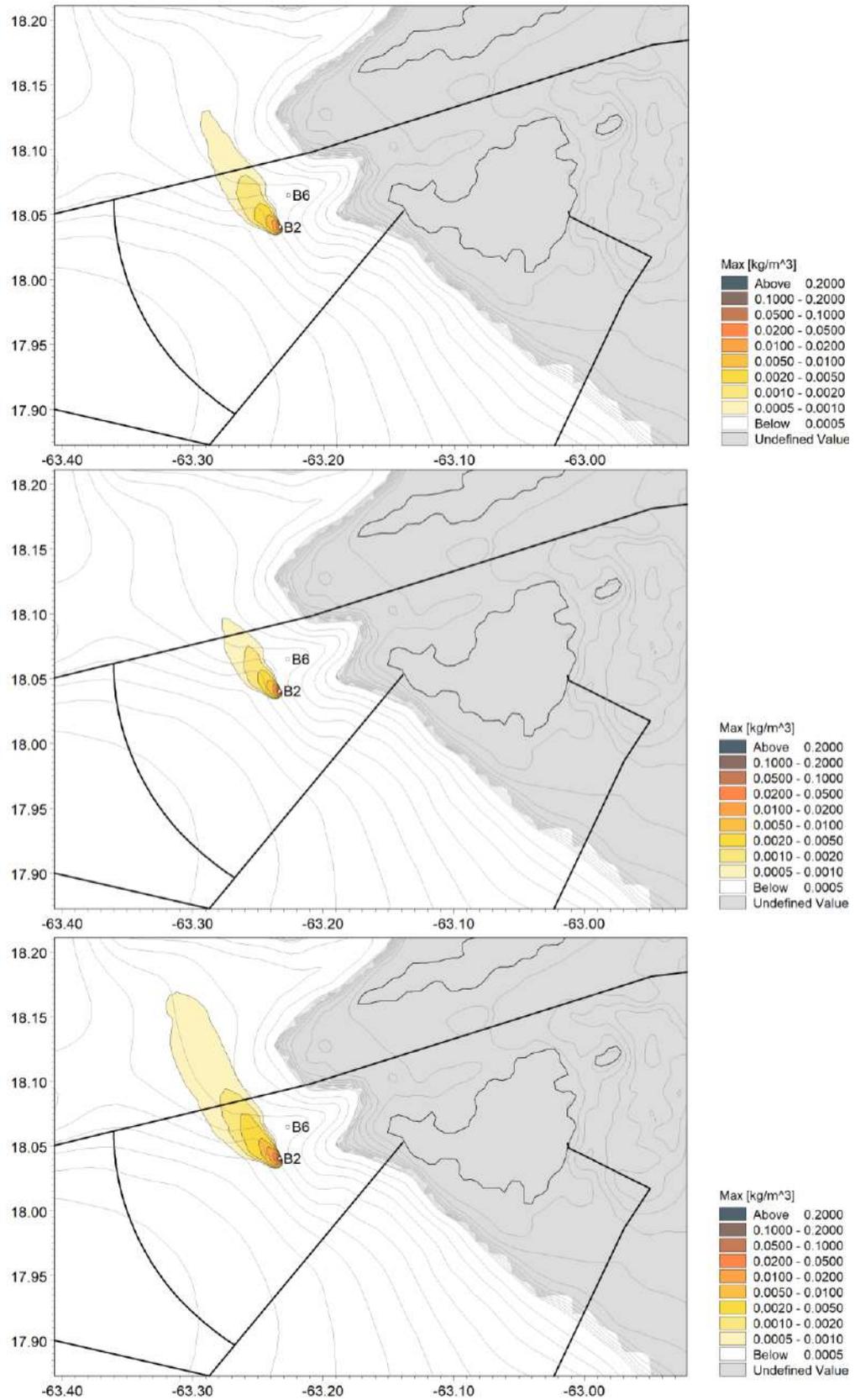


Figure 6-94 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [100-200m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).

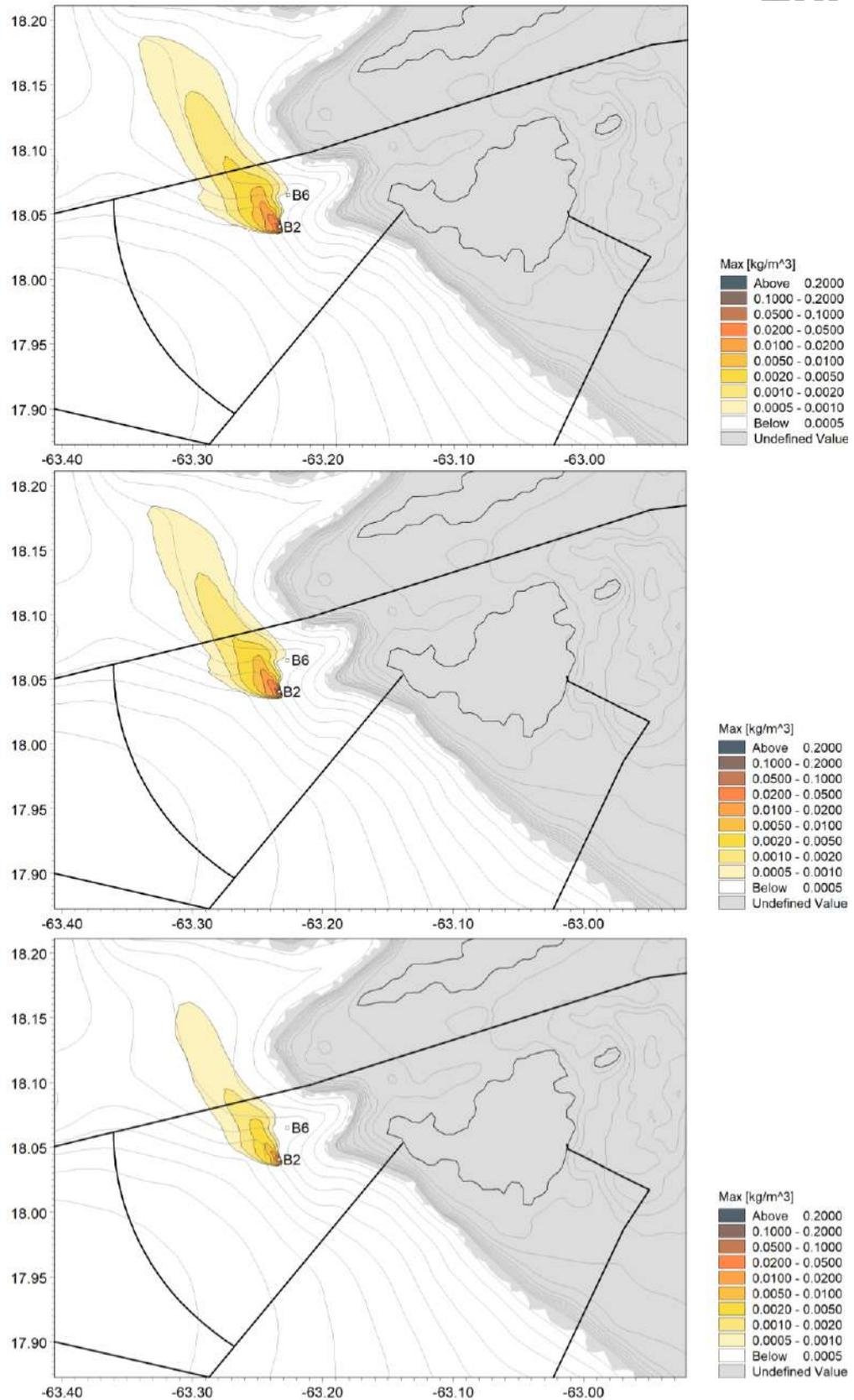


Figure 6-95 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [200-300m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).

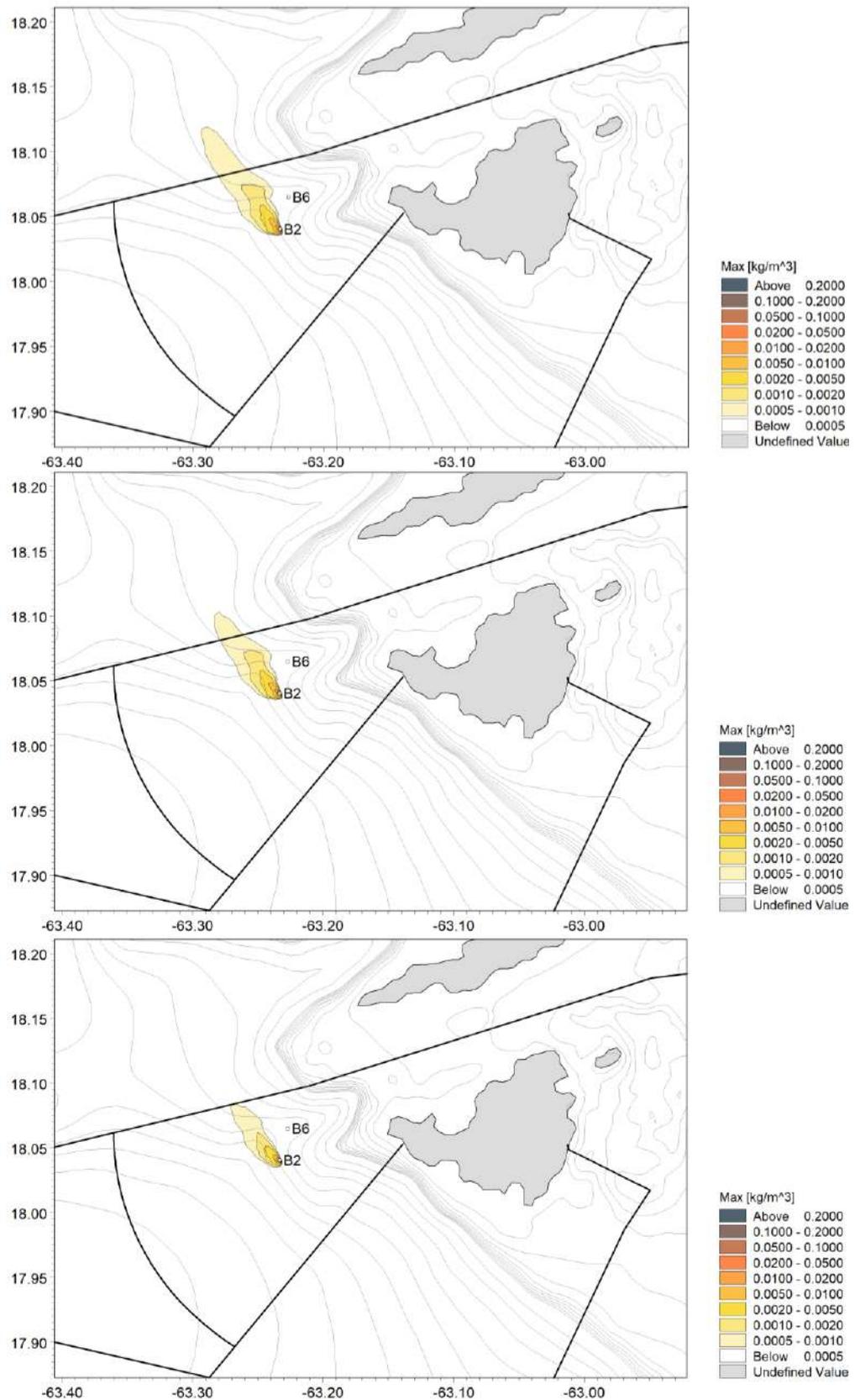


Figure 6-96 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension (colonne) : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B2, scénario long).

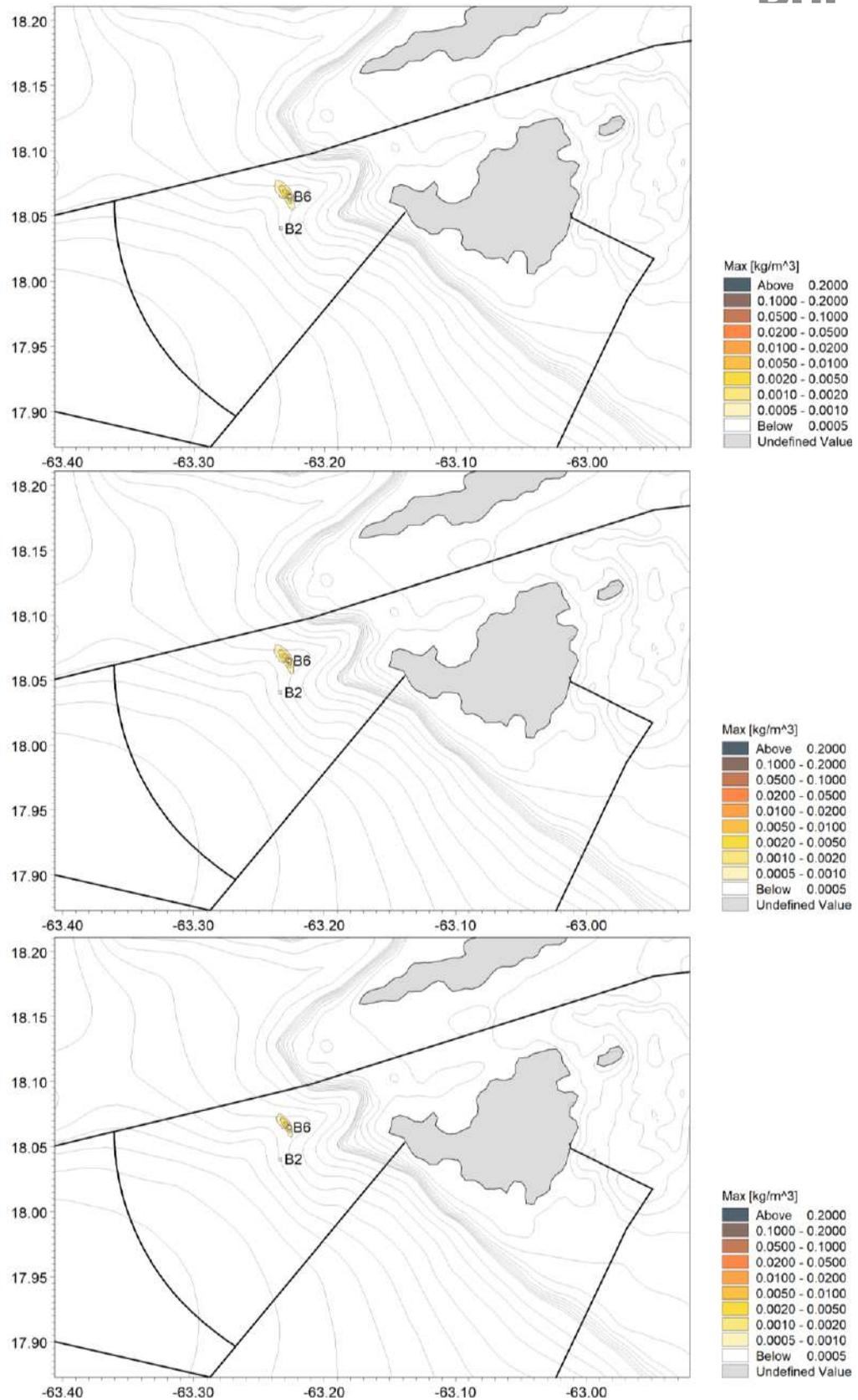


Figure 6-97 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [0-100m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).

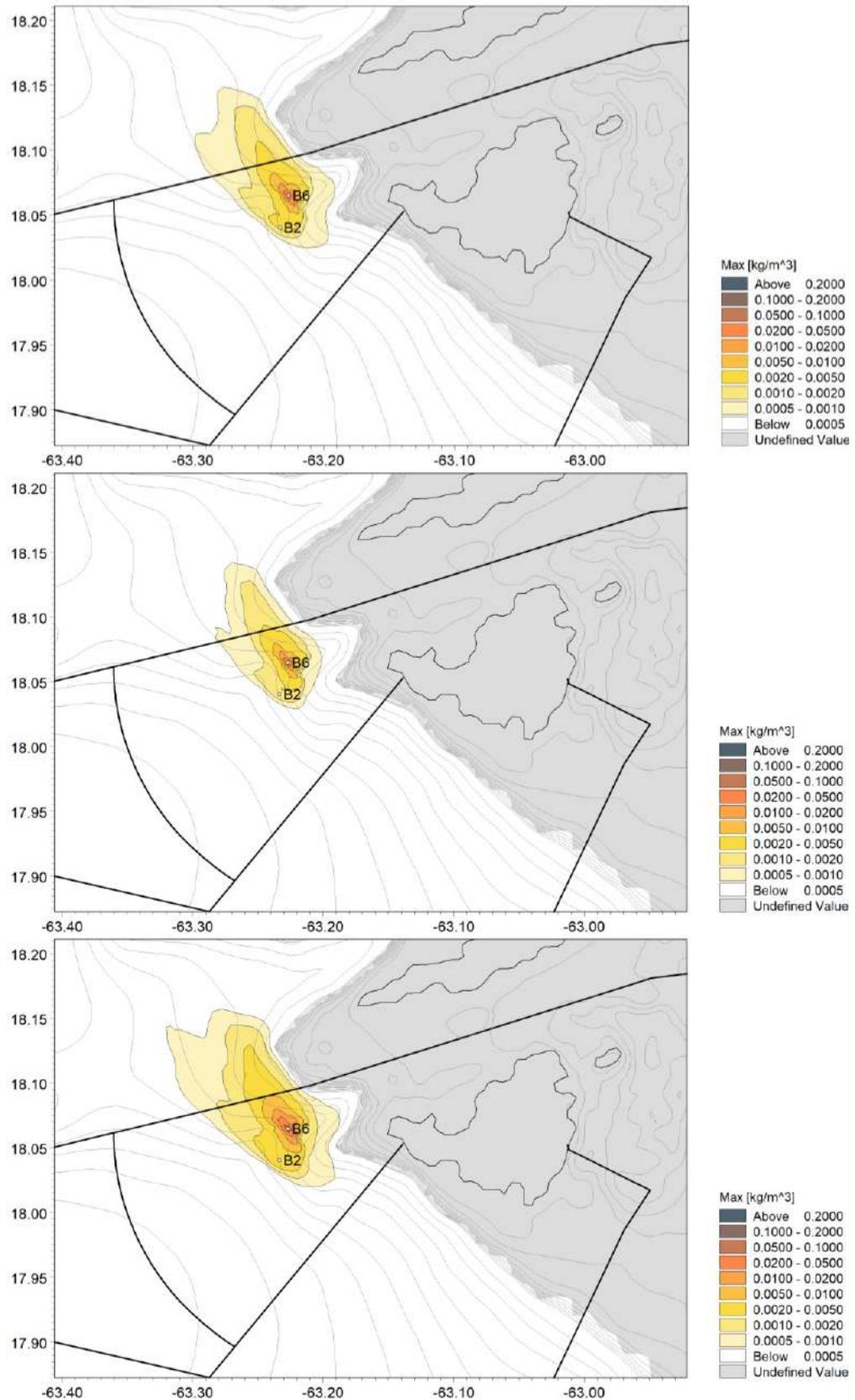


Figure 6-98 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [100-200m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).

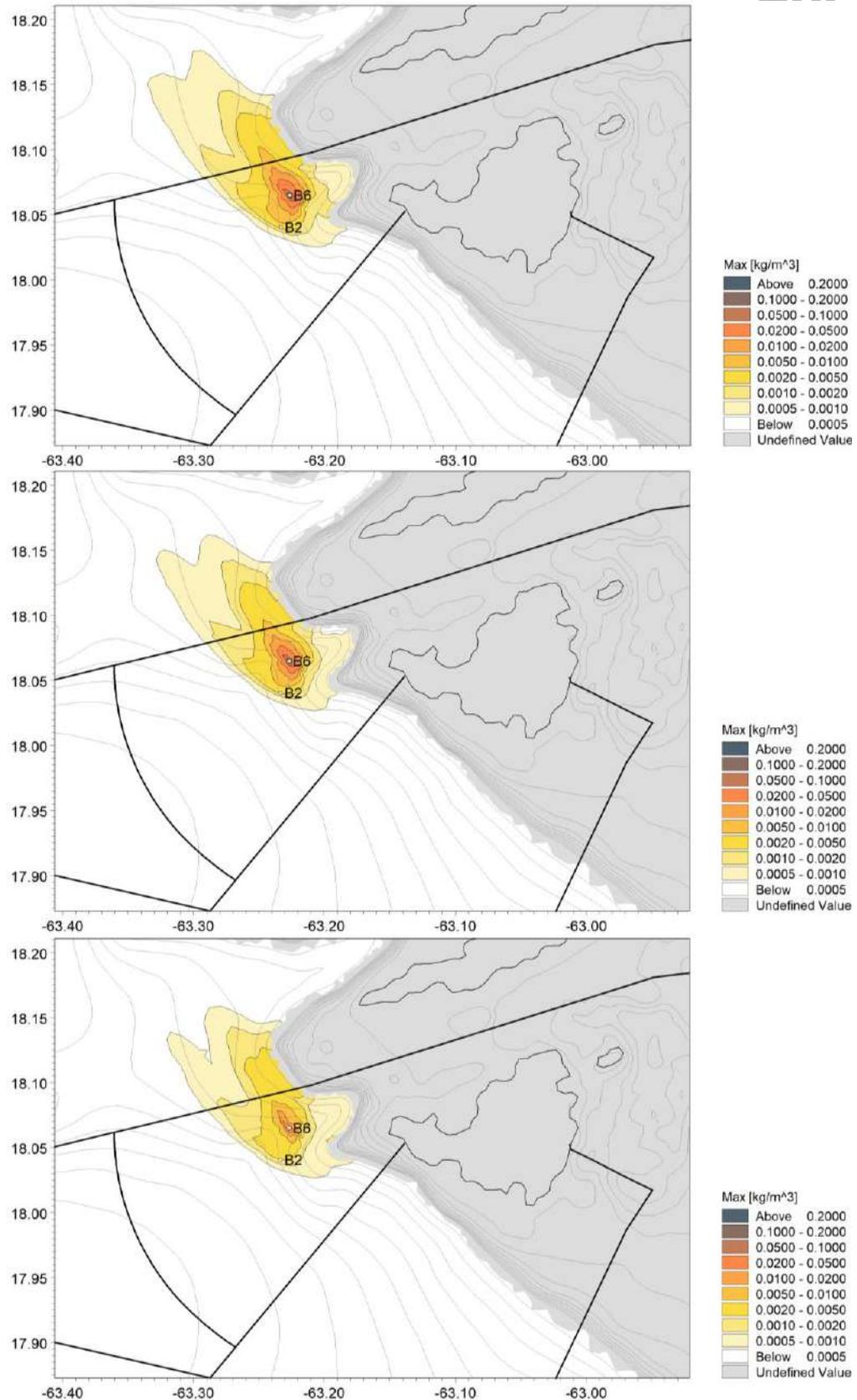


Figure 6-99 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension [200-300m] : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).

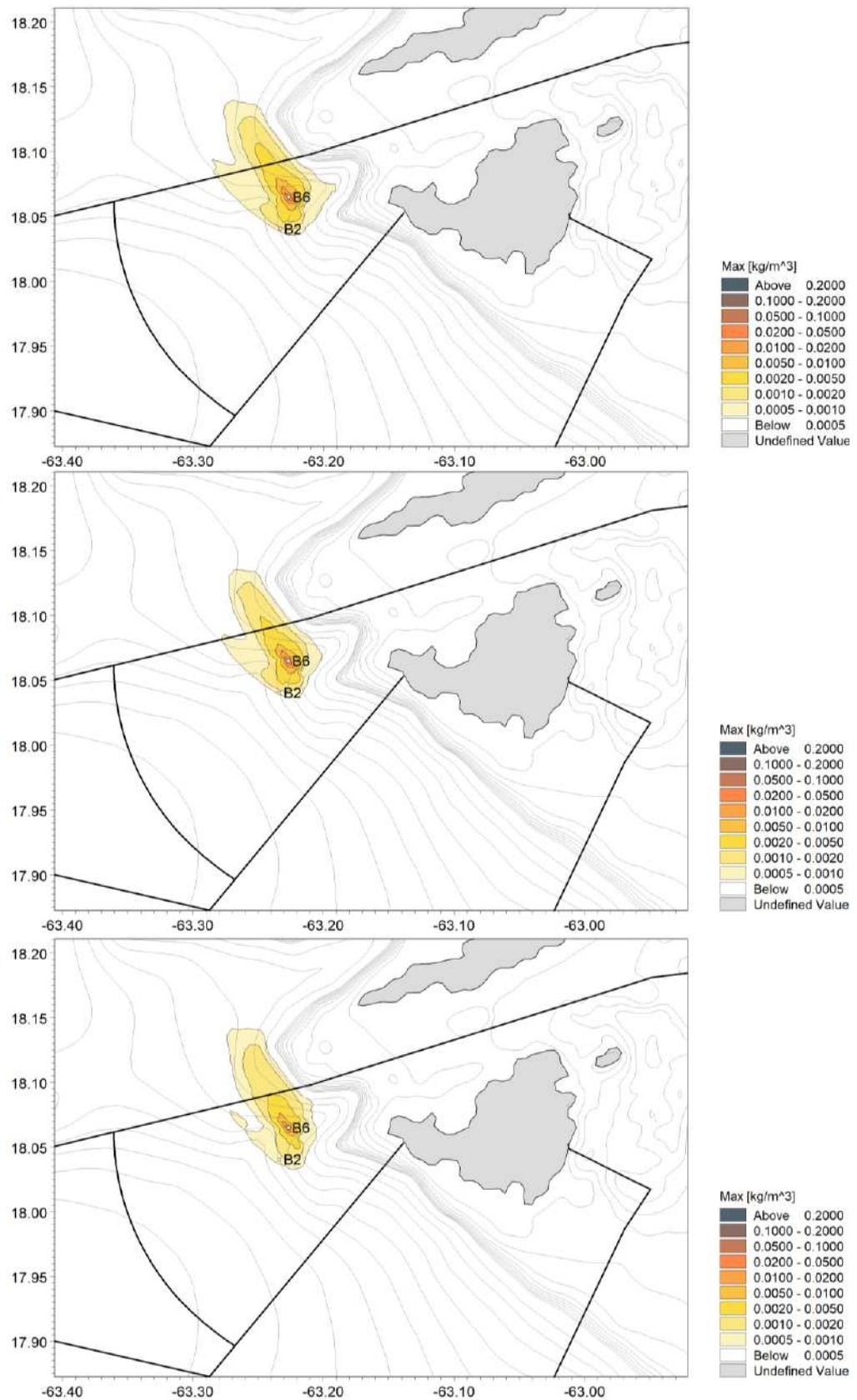


Figure 6-100 : Incidence des tests de sensibilité sur les concentrations de matières en suspension (colonne) : référence (haut), vitesse de chute constante (milieu) et distribution sédimentaire plus grossière (bas) (clapages des calcaires en B6, scénario long).

C.3. Incidence sur les bilans de masse

Tableau 6.1 : Incidence des tests de sensibilité sur les bilans de masse dans le polygone délimité par les frontières maritimes françaises.

Scénario long	Calcaires																	
	B2									B6								
	Dans polygone			Hors polygone			Total			Dans polygone			Hors polygone			Total		
	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total
Référence	0.1	62.0	62.1	11.5	16.2	37.9	11.6	78.3	100.0	2.5	71.1	73.6	9.8	9.6	26.4	12.2	80.7	100.0
Vitesse de chute constante	0.1	64.3	64.4	8.8	18.7	35.6	8.9	83.0	100.0	1.9	75.7	77.6	7.5	9.5	22.4	9.5	85.2	100.0
Distribution plus grossière	0.1	73.6	73.7	9.9	6.7	26.3	10.1	80.4	100.0	2.0	77.1	79.1	9.3	4.5	20.9	11.3	81.6	100.0

Tableau 6.2 : Incidence des tests de sensibilité sur les bilans de masse dans un rayon de 1 km autour des points de clapage B2 et B6.

Scénario long	Calcaires																	
	B2									B6								
	Dans un rayon de 1 km			Au-delà de 1 km			Total			Dans un rayon de 1 km			Au-delà de 1 km			Total		
	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total	SSC	Dépôt	Total
Référence	0.0	48.2	48.2	11.6	30.1	51.8	11.6	78.3	100.0	0.3	61.4	61.7	12.0	19.3	38.3	12.2	80.7	100.0
Vitesse de chute constante	0.0	48.3	48.3	8.9	34.7	51.7	8.9	83.0	100.0	0.2	63.7	63.9	9.3	21.4	36.1	9.5	85.2	100.0
Distribution plus grossière	0.0	63.1	63.1	10.1	17.3	36.9	10.1	80.4	100.0	0.2	72.3	72.5	11.2	9.3	27.5	11.3	81.6	100.0

