

Inelfe

Liaisons sous-marines



LIAISON SOUS-MARINE GOLFE DE GASCOGNE

EVALUATION DES INCIDENCES DES TRAVAUX DE POSE

RAPPORT D'ETUDE – V6

ARTELIA Eau & Environnement

6 rue de Lorraine

38130 - Echirolles

Tel. : +33 (0) 4 76 33 40 00

Fax : +33 (0) 4 76 33 43 33



N° 8 71 3734-7-v6 - Liaison sous-marine Golfe de Gascogne – Evaluation des incidences de travaux de pose					
6	Prise en commentaires de INELFE	FGN	SAL	SAL	03/07/2019
5	Intégration des analyses côté espagnol pour l'Etape 2 – Complément de l'Etape 1	NDD / OBD / ALR	FGN	SAL	29/05/2019
4	Analyses complémentaires pour l'Etape 2	NDD / OBD	FGN	SAL	22/05/2019
3	Intégration Etape 2 et retrait de l'analyse de l'Etape 3 suite demande de RTE	NDD	FGN	SAL	17/05/2019
2	Intégration Etapes 3 et 4 Prise en compte des commentaires de RTE sur la version 1	ALR / FGN / RWR / OBD	FGN	SAL	13/05/2019
1	Etape 1 - Etat initial	ALR	FGN		19/04/2019
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Le projet Golfe de Gascogne vise à créer une nouvelle interconnexion électrique entre la France et l'Espagne. Longue de 370 km, enfouie dans le sol ou posée au fond de l'Océan, elle reliera le poste de Cubnezais (près de Bordeaux) et le poste de Gatika (près de Bilbao).

Pour répondre à la demande de l'étude d'impact, sur la partie des eaux territoriales françaises et espagnoles, INELFE a sollicité ARTELIA pour l'évaluation des incidences des travaux de protection de la liaison sous-marine.

ETAPE 1 : Etat initial

L'objectif de l'étape 1 est d'établir l'état initial de la turbidité ambiante le long de l'interconnexion électrique et de la frange littorale au droit de ce linéaire.

L'analyse a été effectuée à partir de trois sources d'information :

- Données QUADRIGE : mesures in situ basse fréquence permettant de décrire le cycle saisonnier de la turbidité près des côtes ;
- Données d'observations satellite: Les données issues du service de surveillance de l'environnement européen Copernicus permettent de décrire la matière en suspension (fraction inorganique et organique) en surface au large, notamment à proximité de l'interconnexion ;
- La bibliographie existante.

Les données QUADRIGE montrent l'influence des fleuves côtiers sur la saisonnalité de la turbidité et de la matière en suspension. La zone côtière proche de l'Adour apparaît la plus turbide, avec un niveau de turbidité de l'ordre de 0 à 10 NFU. Pour les autres stations, la turbidité reste inférieure à 5 NFU. L'évolution temporelle de la turbidité est influencée par un cycle saisonnier, avec des pics de turbidité apparaissant notamment durant l'hiver, du fait d'apports terrigènes plus importants. Les mesures de fond ne montrent pas de différence notable par rapport aux mesures de surface. Seules deux stations permettent de caractériser la MES, les stations d'Arcachon bouée 7 (située à l'entrée du bassin d'Arcachon) et 64-Biarritz (situé dans le port de Biarritz). La station de Biarritz présente des concentrations en MES élevées, entre 5 et 40 mg/l, qui ne sont pas représentatives de la zone marine ouverte car la station est à l'intérieur du port. La station d'Arcachon présente des concentrations comprises entre 5 et 10 mg/l au printemps, à l'été et à l'automne. L'hiver, les concentrations dépassent fréquemment 10 mg/l et atteignent au maximum 40 mg/l.

L'analyse des données satellitales met en évidence le cycle saisonnier des matières en suspension. La résolution spatiale de 4 km et l'imprécision sur la mesure ne permettent pas de caractériser précisément la zone côtière. L'analyse de la fraction inorganique et organique montre que la fraction organique représente entre 0 et 1 mg/l. C'est une fraction faible. Leur contribution à la MES totale est donc faible durant les périodes hivernales, à proximité du bassin d'Arcachon et des zones estuariennes, et non négligeables au printemps et à l'été hors zone estuarienne lorsque les concentrations en MES totale sont inférieures à 5 mg/l.

L'analyse des cartes mensuelles de turbidité montre que le long de l'interconnexion, les zones au droit d'Arcachon, de Capbreton et de l'estuaire de l'Adour, sont des zones où la concentration en MES ambiante est la plus élevée.

Des campagnes océanographiques sont menées régulièrement à l'échelle globale du golfe de Gascogne. Parmi elle, les campagnes GIVAPA et PELGAS, couvrent la zone d'étude. Ces données sont très ponctuelles. Elles sont utilisées dans le cadre de sujets de recherche. Elles servent également à la calibration d'algorithme de traitement de données satellites. Les cartographies issues de données satellites publiées (MODIS, AVHRR) montrent le même schéma

que l'analyse des données Copernicus avec notamment la présence de l'influence des rivières côtières (Gironde, Adour) sur la répartition spatio-temporelle de la MES.

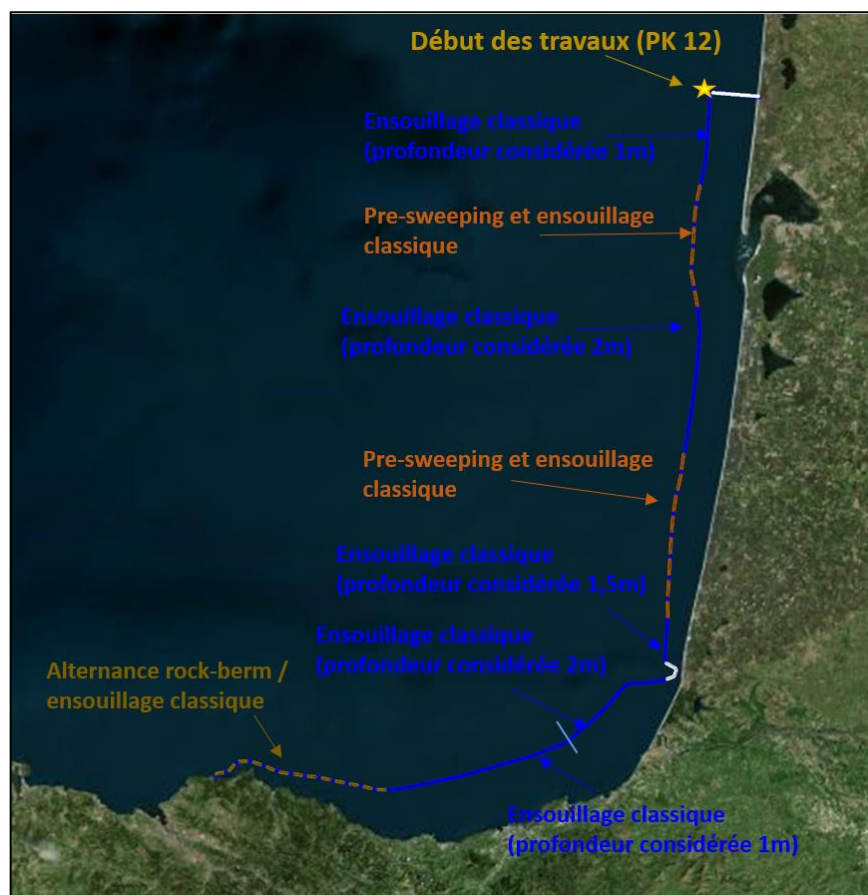
ETAPE 2 : Devenir du panache turbide

Il s'agit dans cette étape de quantifier le devenir du panache turbide, qui correspond à la partie fine des sédiments en place, lors des travaux et en fonction du mode opératoire (ensouillage classique, pre-sweeping, pose d'enrochements).

Une unique simulation a été réalisée ; elle permet de couvrir et de représenter le devenir du panache turbide pour des travaux d'une durée de 59 jours, réalisés en parallèle sur deux câbles (un par liaison électrique), entre le PK 12 côté France et l'atterrage espagnol (hors canyon). Elle inclut également 12 jours post-travaux.

Les volumes de sédiments mis en jeu en fonction des travaux sont les suivants :

- Pour les travaux de pre-sweeping, 2400 m³/h (drague aspiratrice) ;
- Pour les travaux d'ensouillage classique, 210 m³/h (charrue) ;
- Pour la pose d'enrochements, environ 666 m³/h.



Les fines remises en suspension au cours des travaux sont directement rejetées dans le modèle qui est initialisé avec de l'eau claire. Les résultats obtenus via la modélisation représentent donc directement l'impact par rapport au milieu ambiant.

La cartographie des concentrations maximales de MES (moyennées sur la hauteur d'eau) montre que le panache turbide reste localisé le long de la route à l'exception de la partie Nord du tracé (au

droit de la zone d'atterrissage et d'Arcachon) qui correspond à la zone la moins profonde (inférieur à 35m MSL) avec des houles plus fortes.

Les évolutions temporelles de concentration en MES, réalisées en différents points le long du tracé, montrent que les pics de MES les plus forts correspondent à la période des travaux (passage des engins de travaux et création d'une tranchée par pre-sweeping et/ou ensouillage classique). Les MES sont ensuite diluées plus ou moins rapidement en fonction de la localisation de la tranchée et des conditions hydrodynamiques. Durant le mois qui suit les travaux, des pics de MES à 1m au-dessus du fond apparaissent ponctuellement du fait de la remise en suspension des fines sous l'action de la houle.

Il apparaît clairement que les travaux de pre-sweeping suivi d'ensouillage classique génèrent les plus fortes concentrations de MES au cours de la simulation.

En cas d'ensouillage classique (PK 0-35, PK 65-100, PK 10-150, PK155-242, PK 243-245, PK 251-259, PK 262-272.5, PK 277-280), les volumes mis en jeu sont moins importants, la concentration en MES est moindre au moment des travaux, le panache est rapidement dilué notamment par grande profondeur. Pour les points les moins profonds, il faut attendre environ 20 jours pour que la concentration à 1 m au-dessus du fond soit négligeable de façon pérenne.

Cependant, quel que soit le mode opératoire, les concentrations moyennées sur la hauteur restent relativement basses avec des valeurs bien inférieures à 5 mg/l, à l'exception des pics au moment des travaux. Les concentrations à 1 m au-dessus du fond peuvent excéder 10 mg/l ponctuellement (sur une durée d'une ½ journée maximum). Des concentrations supérieures à 5 mg/l sont atteintes de façon cyclique avec la remise en suspension des sédiments sous les effets combinés de la houle et des courants dans les zones moins profondes. Au nord d'Arcachon, dans la région la plus active, cela se traduit par un temps de dépassement du seuil de 5 mg/l sur environ 5 jours sur la durée de la simulation (59 jours de travaux et 12 jours post-travaux).

Sur la première partie de la route espagnole (côté Est), l'impact sur la concentration en MES est visible uniquement au moment des travaux d'ensouillage classique. Les matériaux ne sont pas repris par la suite, essentiellement du fait des profondeurs d'eau importantes sur cette portion de tracé. Le temps de dépassement de la concentration de 5mg/l est faible sur cette portion, de l'ordre de 0,30 jours environ.

La 2ème portion de route espagnole subit une alternance d'ensouillage et de pose de berme dont le planning d'intervention est légèrement décalé dans le temps. La pose des bermes induit une remise en suspension des matériaux du sol en place. La concentration en MES la plus importante correspond à l'instant des travaux. Les concentrations très faibles visibles avant les travaux correspondent à la mobilisation des sédiments lors des travaux d'ensouillage aux PK voisins quelques jours avant. La pose des bermes mobilise les sédiments du sol pendant les travaux et sur une grosse demi-journée au maximum.

Après les travaux, les points les plus proches d'Arcachon montrent des concentrations de MES à proximité du fond du même ordre de grandeur que la turbidité naturelle qui varient entre 5 mg/l et 10 mg/l hors période hivernale.

Dans cette même zone, la MES modélisée, en dehors du pic de concentration généré au moment des travaux, est également en deçà de la MES ambiante issue des données satellites (concentration moyenne journalière en MES en été inférieure à 1 mg/l en surface avec des pics pouvant atteindre les 2 mg/l voir les 5 mg/l certaines années). En surface, la MES générée par les travaux n'a pas d'impact sur le milieu ambiant.

La concentration en MES au sud du canyon montre un impact négligeable des travaux. Le pic de MES généré par les travaux d'ensouillage dans la zone est rapidement dilué du fait de la profondeur. Pour rappel, dans cette zone, la concentration moyenne journalière en MES en été issue de la donnée satellite la plus proche est de 1,87 mg/l en surface avec des pics fréquents au-delà des 10 mg/l.

Il ressort, de l'analyse de la remise en suspension des sédiments lors des phases des travaux, que les impacts sont rapidement très faibles en dehors du moment d'intervention des différents engins, sur tout le linéaire de la route (France et Espagne). Ce constat est valable à la fois pour la concentration moyenne dans la colonne d'eau, pour la concentration proche du fond (la plus élevée) et pour la concentration de surface (celle qui peut également avoir un impact visuel).

ETAPE 4 : Impact des souilles et des bermes en enrochement sur l'hydrodynamique

Dans cette étape, il s'agit de valider que l'impact des souilles avant comblement et des bermes en enrochements est négligeable à l'échelle régionale sur la houle et les courants et donc sur la bande côtière.

4 profils correspondant à 4 localisations le long du tracé ont été étudiés. Ces localisations permettent d'étudier les impacts pour les différents modes opératoires (ensouillage classique avec ou sans pre-sweeping, « rock berm ») et pour les conditions les plus critiques d'un point de vue de l'hydrodynamisme (zones les moins profondes) sur la partie « large du tracé » (fonds supérieurs à 20 m et souille ou berme parallèle à la côte). L'étude de l'impact sur ces 4 zones permet de conclure sur l'ensemble du tracé, hors canyon de Cap Breton.

Les outils/modèles utilisés sont schématiques et considèrent un état de référence (fond plat) et un état projet (souille ou berme après travaux et avant évolution des fonds).

Les calculs confirment que la présence des souilles et des bermes en enrochements pour les 2 liaisons électriques (4 routes) a un impact négligeable sur la houle localement au niveau des zones travaux et donc sur le littoral.

Les impacts des souilles sur la courantologie sont essentiellement liés à deux effets contraires :

- Soit une augmentation des intensités par une diminution du frottement du fond ;
- Soit une diminution des intensités par une réduction du débit de l'écoulement à la proximité des fonds.

Ces deux effets contraires sont premièrement difficiles à évaluer a priori et il est deuxièmement difficile de se prononcer, sans l'appui d'outil d'analyse, sur celui qui sera majoritaire.

Le modèle mis en place permet d'étudier les différents cas majorants pour l'impact des travaux sur la courantologie locale.

Les impacts obtenus peuvent dépasser quelques pourcents au niveau des ruptures des pentes et donc au droit direct des travaux. Plus au loin, à 200 m, les impacts deviennent négligeables (inférieur au mm/s). Les impacts entre les deux liaisons peuvent donc rentrer en interaction mais sans une modification significative de l'analyse faite ici.

oOo

SOMMAIRE

SYNTHESE ET CONCLUSIONS	A
OBJET DE L'ETUDE	I
1. HYPOTHESES GENERALES ET PARAMETRES - DESCRIPTIF DES TRAVAUX	1
1.1. PREAMBULE	1
1.2. MODE OPERATOIRE EN PHASE TRAVAUX	2
1.3. PLANNING D'INTERVENTION, CADENCES	5
1.4. PROFILS DES FONDS ET PARAMETRES DES SEDIMENTS	6
2. ETAPE 1 : ETUDE DE LA TURBIDITE NATURELLE	10
2.1. ZONE D'ETUDE ET DONNEES DISPONIBLES	10
2.1.1. ABREVIATIONS	10
2.1.2. DEFINITIONS	11
2.1.3. ZONE D'ETUDE ET DONNEES DISPONIBLES	11
2.2. MESURES IN-SITU QUADRIGE	13
2.2.1. DESCRIPTION	13
2.2.2. ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA TURBIDITE	15
2.2.3. ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA MES	20
2.2.4. CORRELATION MES/TURBIDITE	21
2.2.5. ANALYSE STATISTIQUE DE LA TURBIDITE PAR STATION	22
2.3. DONNEES SATELLITALES ISSUES DE LA BASE DE DONNEES COPERNICUS	23
2.3.1. DESCRIPTION	23
2.3.2. ANALYSE DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA MES TOTALE LE LONG DE L'INTERCONNEXION	24
2.3.3. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE	26
2.4. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	33
2.4.1. TURBIDITE DANS LA ZONE COTIERE AU LARGE DE L'EMBOUCHURE DE LA GIRONDE, CAMPAGNE GIVAPA 4 ET 5	33
2.4.2. ANALYSE AVHRR COMBINEE AVEC LA CAMPAGNE ECOFER	34
2.4.3. ATLAS DE LA TURBIDITE DANS LE GOLFE DE GASCogne, DONNEES MODIS	35
2.4.4. CAMPAGNE PELGAS	37
3. ETAPE 2 : DEVENIR DES PANACHES TURBIDES EN PHASE TRAVAUX	39
3.1. RAPPEL SUR LE MILIEU AMBIANT	39
3.2. ANALYSE DU DEVENIR DU PANACHE TURBIDE	42
4. ETAPE 4 : IMPACT SUR L'HYDRODYNAMIQUE REGIONALE	56

4.1. IMPACT SUR LA HOULE	57
4.1.1. METHODOLOGIE	57
4.1.2. CONDITIONS DE HOULE	57
4.1.3. IMPACT	57
4.2. IMPACT SUR LES COURANTS	58
4.2.1. THEORIE	58
4.2.2. APPLICATION A LA LIAISON	61
4.2.2.1. Courantologie	61
4.2.2.2. Analyse des impacts	64
4.2.3. CONCLUSION SUR LES IMPACTS DES TRAVAUX SUR LA COURANTOLOGIE LOCALE	72
REFERENCES	73
ANNEXE A POURCENTAGES DE FINES LE LONG DU LINEAIRE DE ROUTE	74
ANNEXE B IMPACT SUR LA HOULE	77

TABLEAUX

Tableau 1 – Types de travaux en fonction des PK	4
Tableau 2 – Description des données disponibles	14
Tableau 3 – Synthèse des valeurs de turbidité au fond (NFU)	22
Tableau 4 – Synthèse des valeurs de turbidité en surface (NFU)	22
Tableau 5 – Synthèse des valeurs de MES à proximité de la route par AVHRR	35
Tableau 6 – Valeurs des MES mesurées par satellite aux points A, B, D et E	39
Tableau 7 – Mode opératoire et profondeur moyenne pour les points exploités pour les panaches turbides	45
Tableau 8 – Temps de dépassement à 1m du fond pour différents seuils (en heure et en jour)	52
Tableau 9 – Profils, mode opératoire et profondeur moyennes	57
Tableau 10 – Courants maximums aux points sélectionnés	64
Tableau 11 – Point N02 – courant dans l'axe - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	66
Tableau 12 – Point N02 – courant perpendiculaire - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	67
Tableau 13 – Point L02 – courant dans l'axe - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	68
Tableau 14 – Point L02 – courant perpendiculaire - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	68
Tableau 15 – Point L03 – courant dans l'axe - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	69
Tableau 16 – Point L03 – courant perpendiculaire - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	69
Tableau 17 – Point L11 – courant dans l'axe - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	70
Tableau 18 – Point L11 – courant perpendiculaire - – intensité du courant (m/s) et impact (%)	71

FIGURES

Figure 1. Projet de liaisons	1
Figure 2. Tracé de l'interconnexion	2

Figure 3. Type de travaux le long de l'interconnexion	3
Figure 4. Planning d'intervention des opérations de travaux par PK et date	6
Figure 5. Profils – Ensouillage classique	7
Figure 6. Profils – Pre-sweeping + Ensouillage classique	8
Figure 7. Profils – Rock Berm Main Route	9
Figure 8. Localisation de l'interconnexion électrique, des principales villes et des rivières	12
Figure 9. Apport de sédiment par la zone terrestre dans le golfe de Gascogne, d'après [6]	12
Figure 10. Localisation des points quadriges	15
Figure 11. Relation NFU et NTU à partir des stations Adour 2, Hossegor et Arcachon	15
Figure 12. Evolution temporelle de la turbidité à Arcachon bouée 7	16
Figure 13. Evolution temporelle de la turbidité à Adour 2, extrema à 425 NFU (fond) et 200 NFU (surface) – hors échelle	17
Figure 14. Evolution temporelle de la turbidité à 64-Biarritz	17
Figure 15. Evolution temporelle de la turbidité à Capbreton	18
Figure 16. Evolution temporelle de la turbidité à Hossegor	18
Figure 17. Evolution temporelle de la turbidité à Saint-Jean-de-Luz	19
Figure 18. Evolution temporelle de la turbidité à Txingudi, extrema à 115 NFU (fond) et 159 NFU (surface) en janvier 2012 - hors échelle	19
Figure 19. Evolution temporelle de la MES à 64-Biarritz	20
Figure 20. Evolution temporelle de la MES à Arcachon bouée 7	20
Figure 21. Corrélation MES-Turbidité à 64-Biarritz (26 valeurs)	21
Figure 22. Corrélation MES-Turbidité à Arcachon Bouée 7 en surface	21
Figure 23. Localisation des points A, B, C, D et E des séries temporelles	25
Figure 24. Moyenne journalière de la MES totale mesurée par satellite en 2016	25
Figure 25. Matière organique particulaire (MOP) le long de l'interconnexion	26
Figure 26. Moyenne mensuelle de la MES inorganique observée par satellite en 2016	32
Figure 27. Profils hydrologiques simplifiés montrant la répartition verticale de la turbidité au large de la Gironde d'après [5]	33
Figure 28. Concentration en MES des eaux de surface à partir des images AVHRR NOAA en 1991, d'après [11]	35
Figure 29. Extrait de (Gohin, 2011a), turbidité moyenne de surface de janvier à juin	36
Figure 30. Extrait de (Gohin, 2011), turbidité moyenne de surface de juillet à décembre	37
Figure 31. Turbidité de surface : Comparaison entre les résultats de la campagne PELGAS du 1 ^{er} au 27 mai 2016 (a) et les résultats de mesures satellites (b)	38
Figure 32. Séries temporelles de MES au point D	40
Figure 33. Séries temporelles de MES au point B	40
Figure 34. Séries temporelles de MES au point A	41
Figure 35. Séries temporelles de MES au point E	41
Figure 36. Concentration maximale en MES, moyennée sur la hauteur d'eau, au cours de des travaux	43
Figure 37. Localisation des points exploités pour les panaches turbides - France	44
Figure 38. Séries temporelles des MES au point P01 Ensouillage classique 1 m	46
Figure 39. Séries temporelles des MES au point P02 Ensouillage classique 1 m	46
Figure 40. Séries temporelles des MES au point P03 Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	47
Figure 41. Séries temporelles des MES au point P04 Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	47
Figure 42. Séries temporelles des MES au point P05 Ensouillage classique 2 m	47
Figure 43. Séries temporelles des MES au point P06 Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	48

Figure 44. Séries temporelles des MES au point P07 Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	48
Figure 45. Séries temporelles des MES au point P08 Ensouillage classique 1,5 m	48
Figure 46. Séries temporelles des MES au point P09 Ensouillage classique 2 m	49
Figure 47. Séries temporelles des MES au point P10 Ensouillage classique 1 m	49
Figure 48. Séries temporelles des MES au point P11 Ensouillage classique 1 m	50
Figure 49. Séries temporelles des MES au point P12 Rock berm	50
Figure 50. Séries temporelles des MES au point P13 Rock berm	51
Figure 51. Concentration maximale en MES, en surface, au cours des travaux	53
Figure 52. Séries temporelles des MES au point D. Observations et modélisation	54
Figure 53. Localisation des profils d'études pour l'étude d'impact sur la houle et les courants	56
Figure 54. Axe de la liaison parallèle au courant	59
Figure 55. Axe de la liaison perpendiculaire au courant ; profils de vitesse d'écoulement	60
Figure 56. Axe de la liaison oblique par rapport au courant ; déviation des lignes de courant	61
Figure 57. Niveaux et courants au point N02 (coefficient 117 le 21 mars)	62
Figure 58. Niveaux et courants au point L02 (coefficient 117 le 21 mars)	62
Figure 59. Niveaux et courants au point L03 (coefficient 117 le 21 mars)	63
Figure 60. Niveaux et courants au point L11 (coefficient 117 le 21 mars)	63
Figure 61. Géométrie schématique des fonds étudiés avec la localisation des travaux considérés et des profils analysés	65
Figure 62. Courant le long du profil V525 - point N02 – courant dans l'axe	66
Figure 63. Courant le long du profil H500 - point N02 – courant perpendiculaire	67
Figure 64. Courant le long du profil V525 - point L11 – courant dans l'axe	70
Figure 65. Courant le long du profil H500 - point L11 – courant perpendiculaire	71
Figure 66. Impact en courant le long du profil V525 - point L11 – courant perpendiculaire	72

OBJET DE L'ETUDE

Le projet Golfe de Gascogne vise à créer une nouvelle interconnexion électrique entre la France et l'Espagne. Longue de 370 km, enfouie dans le sol ou posée au fond de l'Océan, elle reliera le poste de Cubnezais (près de Bordeaux) et le poste de Gatika (près de Bilbao).

L'interconnexion électrique France-Espagne par le Golfe de Gascogne est mise en œuvre par INELFE, la société constituée par RTE le Réseau de Transport d'Electricité français et son homologue espagnol REE (Red Eléctrica de España).

Pour répondre à la demande de l'étude d'impact, sur la partie des eaux territoriales françaises et espagnoles, INELFE a sollicité ARTELIA pour l'évaluation des incidences des travaux de protection de la liaison sous-marine.

L'étude comprend 4 étapes :

- Etape 1 : quantification de l'état naturel initial ;
- Etape 2 : devenir des panaches turbides en phase travaux ;
- Etape 3 : évolution des fonds au niveau des souilles ;
- Etape 4 : impact des travaux sur la houle et les courants.

La version 2 du présent rapport correspond aux étapes 1, 2 et 4 de l'étude. L'étape 3 fait l'objet d'un rapport séparé.

1. HYPOTHESES GENERALES ET PARAMETRES - DESCRIPTIF DES TRAVAUX

1.1. PREAMBULE

Le projet est constitué de deux liaisons électriques.

Chaque liaison est constituée de deux câbles électriques, soit 4 câbles électriques en tout (Figure 1). Chaque câble électrique est posé séparément le long d'un tracé donné appelé route de câble. Il y a donc 4 routes de câbles, deux par liaison électrique réparties ainsi :

- 50 m de distance entre 2 routes de câbles d'une même liaison ;
- 250 m de distance entre les 2 routes de câbles les plus proches des 2 liaisons électriques.

Pour chacune des liaisons électriques, un câble fibre optique est attaché à un des deux câbles électriques et donc posé simultanément à celui-ci.

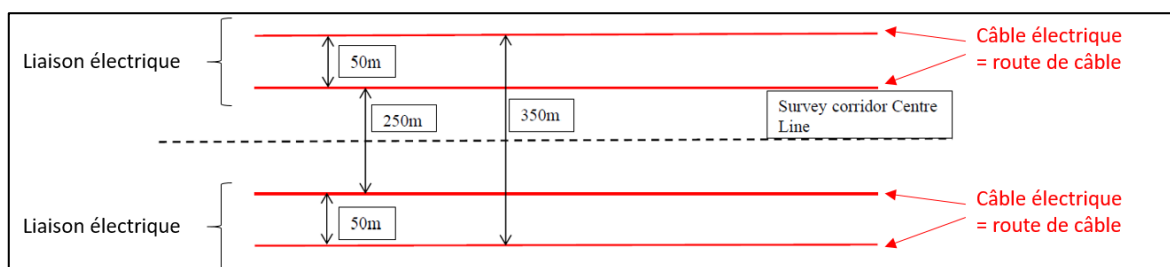


Figure 1. Projet de liaisons

La route (axe central) retenue et considérée pour l'étude est représentée sur la Figure 2. Elle est composée de :

- La « Main Route » sur la plupart du tracé ;
- La portion « HDD Crossing Route » qui passe sous le canyon de Cap Breton ;
- L'ARSW (Additional Route Spanish Waters), portion la plus au large côté espagnol ;
- L'OMR (Optimised Main Route) à l'approche de la côte espagnole à proximité de l'atterrissage.

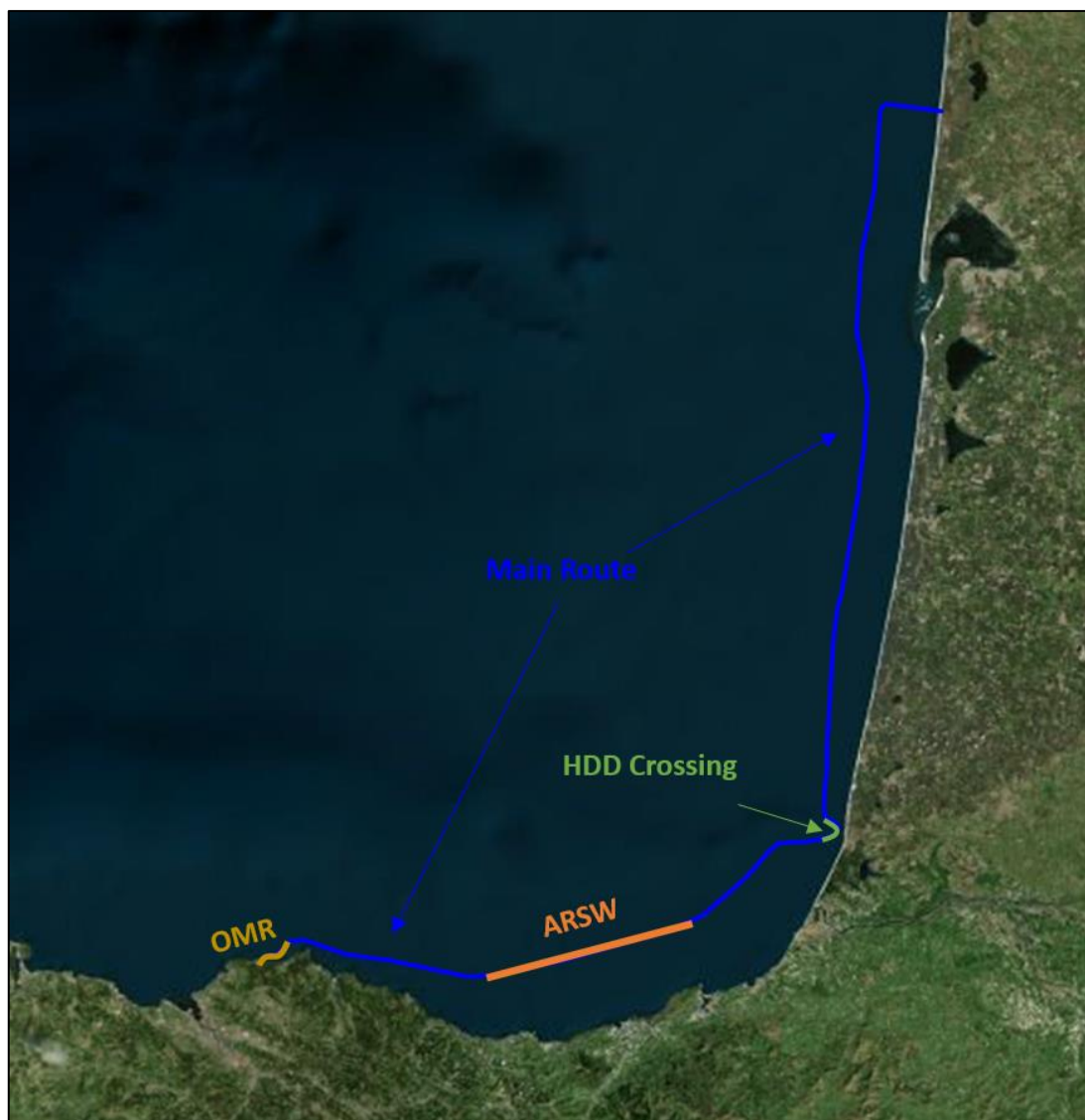


Figure 2. Tracé de l'interconnexion

1.2. MODE OPERATOIRE EN PHASE TRAVAUX

Les travaux sont réalisés en parallèle sur une route de la première liaison électrique et une route de la deuxième liaison électrique. Il a été considéré dans la suite de l'étude les hypothèses suivantes :

- Les simulations de devenir du panache turbide (Etape 2 - §3) ont été réalisées une seule fois par portion de route ; ces opérations sont simulées en parallèle sur deux des routes des deux liaisons électriques ;
- L'évolution des fonds (Etape 3 qui fait l'objet d'un rapport séparé) a été étudiée sur des profils qui représentent une seule souille soit une seule route ;
- L'impact sur la houle (Etape 5 - §4.1) a été étudié sur la base de profils représentant les 2 liaisons électriques soit 4 routes ;
- L'impact sur les courants (Etape 5 - §4.2) a été étudié pour une liaison électrique.

Selon les portions de route, différents types de travaux interviennent :

- Des travaux d'ensouillage classique avec des profondeurs cibles évoluant entre 1 et 2 m sur la plupart du linéaire ;
- Des travaux de pre-sweeping dans les zones où des singularités sédimentaires type dunes apparaissent. Ces travaux de pre-sweeping consistent à creuser une tranchée dans la dune ; ils sont suivis de travaux d'ensouillage classique quelques jours après ;
- Des travaux de « rock berm » (pose d'enrochements pour protéger les câbles) dans les zones à fonds rocheux en alternance avec des travaux d'ensouillage classique. La pose d'enrochement a lieu après l'ensouillage de manière décorrélée.

La **Figure 3** et le **Tableau 1** présentent le type de travaux considéré pour l'étude le long du tracé de l'interconnexion et en fonction des PK (Points Kilométriques).

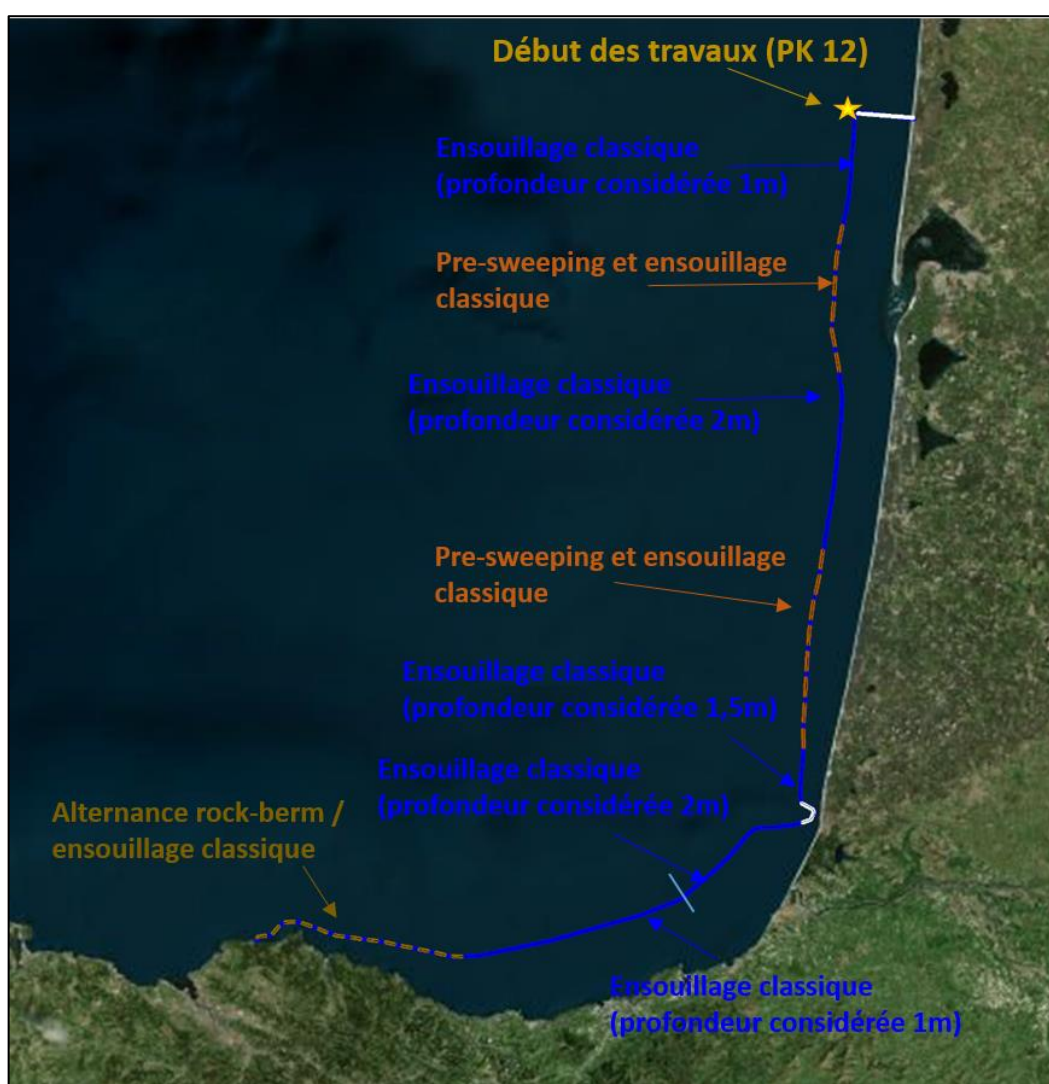


Figure 3. Type de travaux le long de l'interconnexion

Pour le devenir des panaches turbides (Etape 2), les travaux débutent au droit de la zone d'atterrissage côté France (PK 12) et la zone de passage sous le canyon de Cap-Breton (tracé en blanc sur la figure précédente) n'est pas étudiée.

Pour l'impact sur la houle et les courants (Etape 4), il a été choisi différentes zones d'études réparties le long du linéaire afin de prendre en compte les 3 types d'opérations (ensouillage classique, pre-sweeping suivi d'ensouillage classique et rock berm) et les zones les plus critiques. Ces zones sont précisées dans le chapitre 4.

Tableau 1 – Types de travaux en fonction des PK

PK	Type de travaux	Route
0 - 12	Non étudié (Ensouillage classique 1 m)	Main Route
12 - 35	Ensouillage classique 1 m	Main Route
35 - 65	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	Main Route
65 - 100	Ensouillage classique 2 m	Main Route
100 - 140	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	Main Route
140 - 150	Ensouillage classique 1,5 m	Main Route
150 – 155 : passage du canyon	Non étudié (Pre-sweeping + Ensouillage classique)	HDD Crossing
155 - ≈189 (frontière franco-espagnole)	Ensouillage classique 2 m	Main Route
≈189 (frontière franco-espagnole) - 242	Ensouillage classique 1 m	Main Route + ARSW
242 - 243	Rock berm	Main Route
243 - 245	Ensouillage classique 1 m	Main Route
245 - 251	Rock berm	Main Route
251 - 259	Ensouillage classique 1 m	Main Route
259 - 262	Rock berm	Main Route
262 – 272.5	Ensouillage classique 1 m	Main Route
272.5 – 277	Rock berm	Main Route
277 – 280	Ensouillage classique 1 m	OMR
280 – 283.7	Rock berm	OMR

1.3. PLANNING D'INTERVENTION, CADENCES

Il a été considéré les hypothèses suivantes pour l'étude du devenir des panaches turbides :

- Les interventions sur site ont lieu 7 jours / 7, 24h / 24 entre mai et septembre ;
- La vitesse moyenne des bateaux en transit : 10 km/jour ;
- Les interventions sur site ont lieu pour les critères de houle suivants :
 - Hauteur de vagues < 2 m pour les opérations d'ensouillage classique ;
 - Hauteur de vagues < 1,5 m pour les opérations de pre-sweeping ;
 - Hauteur de vagues < 3 m pour les travaux d'enrochement.

La chronique de houle utilisée pour l'étude du devenir des panaches turbides correspond à la période du 18 Juin 2012 au 30 Septembre 2012. L'année 2012 est une année moyenne typique des conditions océano-météorologiques représentatives du site. En fonction du mode opératoire, les hauteurs de vagues supérieures aux critères définis précédemment ont été enlevées de la série temporelle ;

- Les travaux ont lieu en parallèle sur une route de la première liaison et une route de la deuxième liaison ;
- Enchaînement des opérations pour une route donnée :
 - Sur les zones de pre-sweeping, le pre-sweeping débute au début du cycle de travaux 1 jour avant les travaux d'ensouillage, puis avance en amont des travaux d'ensouillage (au rendement donné pour le pre-sweeping, sans avoir à attendre les opérations d'ensouillage et sans que les opérations d'ensouillage soient retardées par le pre-sweeping plus rapide) ;
 - Sur les zones où il y a alternance entre pose d'enrochements et ensouillage classique, les opérations d'enrochement sont réalisées 1 jour après les opérations d'ensouillage.

Avec un tel enchaînement des opérations, il est possible de représenter l'ensemble des travaux sur le linéaire de liaisons entre le PK 12 au large de la zone d'atterrage France jusqu'à l'atterrage espagnol (hors canyon) via une simulation de 59 jours temps réels.

- Les outils de travaux les plus pénalisants du point de vue des impacts ont été considérés conduisant aux rendements suivants :
 - Pour les travaux de pre-sweeping, 2400 m³/h (drague aspiratrice) ;
 - Pour les travaux d'ensouillage classique, 210 m³/h (charrue) ;
 - Pour la pose d'enrochements, un rendement de 1000 t/h d'enrochements déversés avec une densité de la roche de 1,5 t/ m³ soit environ 666 m³/h.

Le planning d'enchaînement des différentes opérations point kilométrique par point kilométrique et jour par jour est présenté sur la **Figure 4** en fonction des conditions hydro-météorologiques.

A chaque fois qu'un point violet est présent à une date et PK donné cela signifie qu'il y a des travaux d'ensouillage en cours. De même, les points verts correspondent aux travaux de pre-sweeping et les points bleus clairs à la pose d'enrochements (rock-berm). Il est rappelé que chaque type d'opération respecte ses limites de condition de houle, et ses contraintes d'enchaînement avec les autres opérations comme expliqué précédemment.

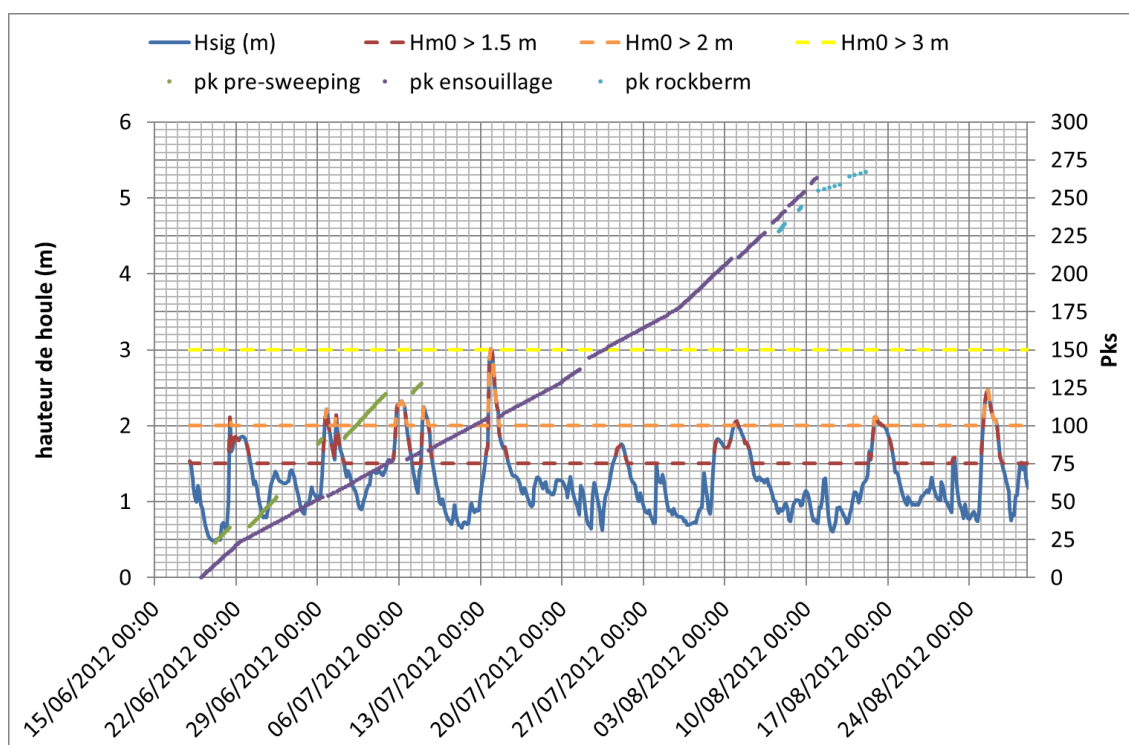


Figure 4. Planning d'intervention des opérations de travaux par PK et date

1.4. PROFILS DES FONDS ET PARAMETRES DES SEDIMENTS

Les profils type des fonds après travaux étudiés pour l'étape 4 (impact sur l'hydrodynamique) sont présentés sur les Figure 5, Figure 6 et Figure 7.

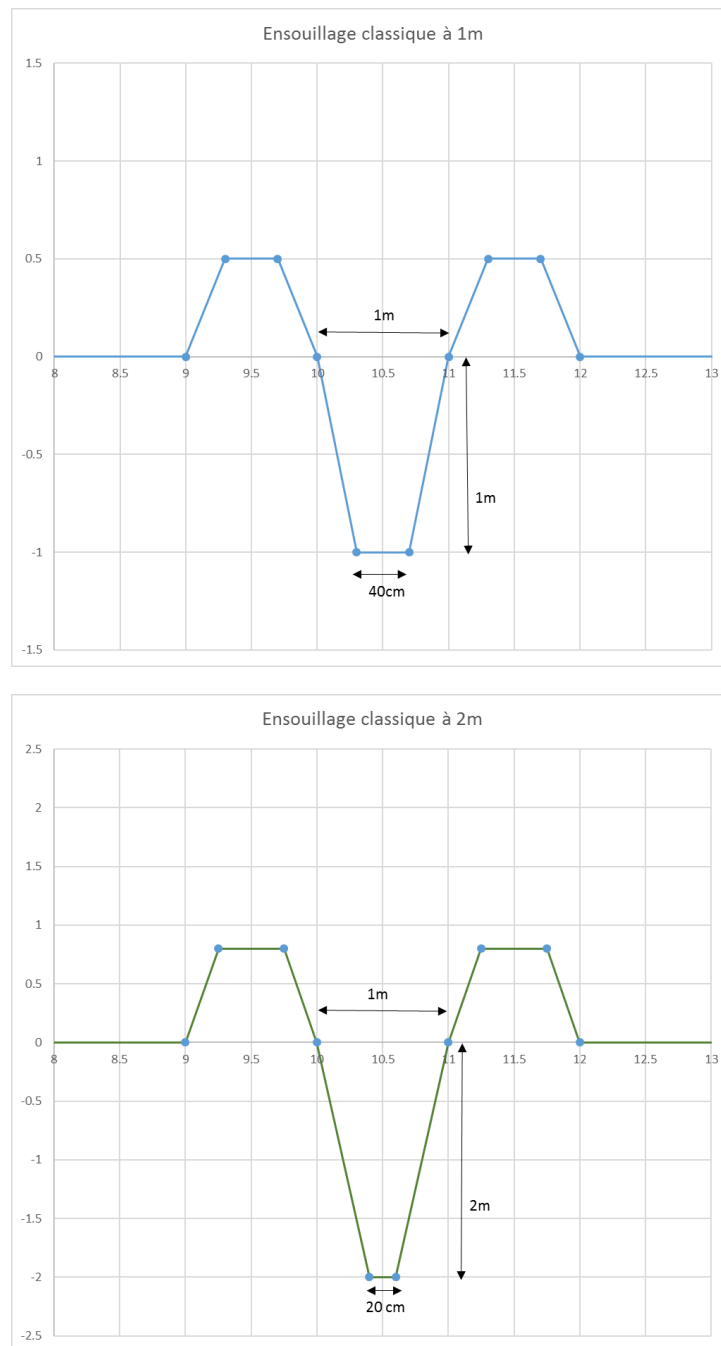


Figure 5. Profils – Ensouillage classique

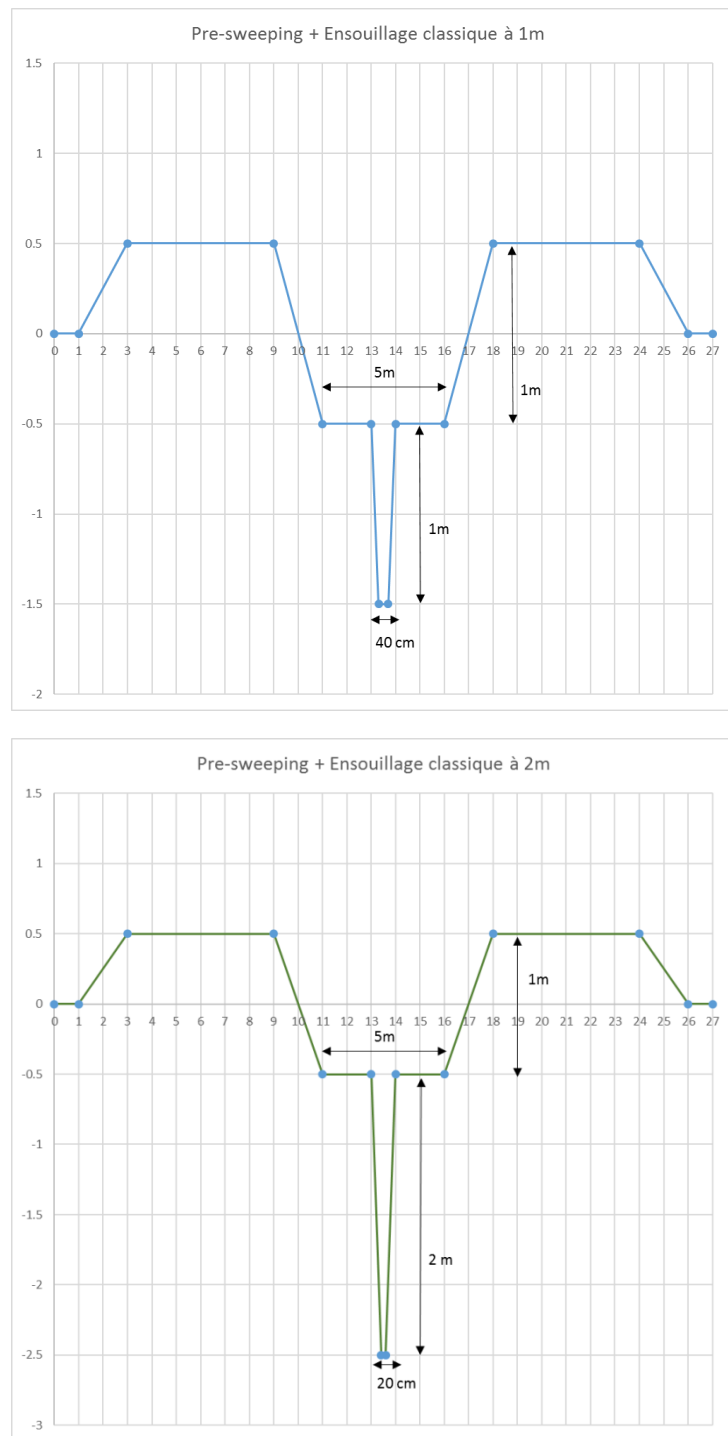


Figure 6. Profils – Pre-sweeping + Ensouillage classique

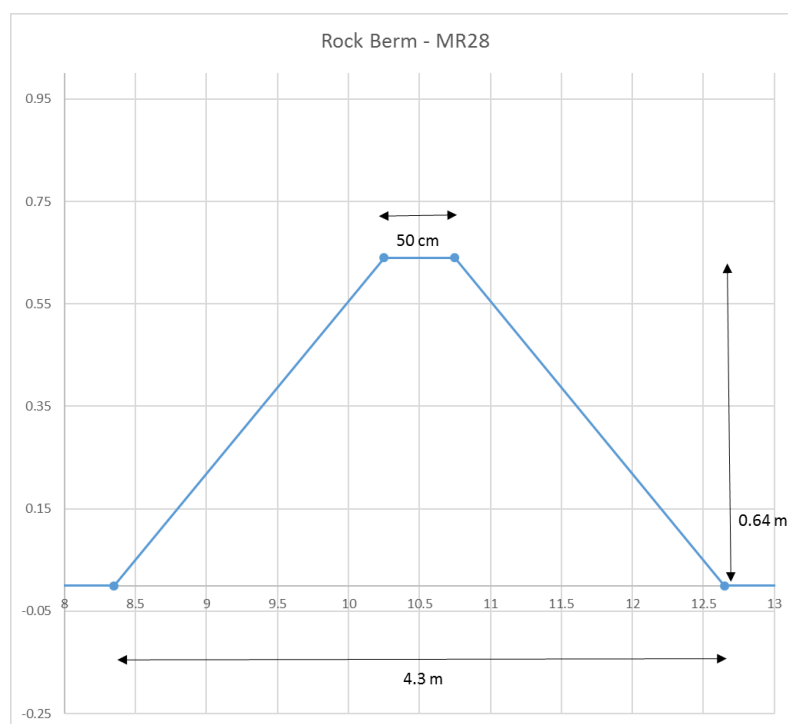


Figure 7. Profils – Rock Berm Main Route

Les paramètres sédimentaires tels que le pourcentage de fines et le diamètre des sédiments (D50) le long du tracé sont issus des reconnaissances géotechniques réalisées en octobre 2017 (Réf. [12]). Des portions de routes homogènes ont été identifiées en fonction de la localisation des reconnaissances géotechniques (Voir Annexe A pour plus de détails sur le pourcentage de fines considéré par tronçon de route pour le devenir des panaches turbides).

Pour l'étude du devenir du panache turbide, il est supposé (hypothèse conservatrice) que l'ensemble des fines contenues dans le volume de sédiment mobilisé est remis en suspension. Les fines sont remises en suspension dans la modélisation sur une hauteur de 3 mètres au-dessus du sol. Ces hypothèses sont issues de mesures *in situ*, réalisées au cours de travaux de type « jet-sed », et de modélisations numériques réalisées par Artelia pour des dossiers d'étude d'impact.

Les caractéristiques des fines contenues dans le sédiment sont issues de celles employées dans la thèse de Baptiste Mengual (Réf. [1]) :

- Contrainte critique d'érosion $0,1 \text{ N/m}^2$;
- Constante de Partheniades : 1×10^{-5} ;
- Vitesse de chute : 0.1 à 4 mm/s en fonction de la concentration.

2. ETAPE 1 : ETUDE DE LA TURBIDITE NATURELLE

L'étape 1 vise à établir l'état initial de la turbidité ambiante le long de l'interconnexion électrique et de la frange littorale au droit de ce linéaire.

La turbidité est liée aux transits sédimentaires, fins ou grossiers, sur le plateau et en zones côtières. Elle résulte de trois composantes :

- Les apports terrigènes principalement liés aux apports des fleuves côtiers mais aussi en petite partie issus du lessivage des sols lors des pluies ;
- La remise en suspension des sédiments présents le long des côtes, baies et estuaires susceptibles d'être remis en suspension par les effets de la houle principalement et des courants ;
- La production biologique, dont différents composants tels que le phytoplancton, les détritux, les larves de zooplancton par exemple, contribuent au matériel particulaire présent en suspension dans l'eau ;
- Enfin de façon mineure mais non négligeable localement, des effets anthropiques (aménagements côtiers, rejets de dragages d'entretien de chenaux d'accès portuaires, installations liées aux énergies marines renouvelables, modification des apports terrigènes).

En l'absence de mesures sur de longues périodes, l'état initial s'appuie sur l'analyse des données disponibles à proximité du site d'étude et notamment sur les mesures de turbidité et matière en suspension des bases de données existantes.

2.1. ZONE D'ETUDE ET DONNEES DISPONIBLES

2.1.1. Abréviations

Abréviations	Définition
FNU	Unité de mesure de la turbidité, FNU (ou UNF) signifie Formazine Nephelometric Unit (ou Unité Néphélométrique à la Formazine) et indique que l'instrument mesure la lumière diffusée dans l'échantillon à un angle de 90 degrés par rapport à la lumière incidente, à la longueur d'onde de 860nm. La FNU est le plus souvent utilisée lorsque l'on se réfère à la méthode de turbidité ISO 7027 (européenne), norme en vigueur actuellement. Certains fournisseurs de matériel de mesure préconisent la relation suivante : Pour les turbidités inférieures à 20 : 1 FNU = 1 NTU, au-delà 1 FNU = 0,6 NTU. D'après [3], la relation 1 FNU=1.267 NTU a pu être établi à partir de mesures in situ en milieu marin en zone marine française.
MES	Matière En Suspension
MOP	Matière Organique Particulaire
NTU	Unité de mesure de la turbidité, NTU (ou UTN en français) correspond à Nephelometric Turbidity Unit (ou Unité de Turbidité Néphélométrique) et indique que l'instrument mesure la lumière diffusée dans l'échantillon à un angle de 90 degrés par rapport à la lumière incidente, à une longueur d'onde différente de 860 nm. La NTU est le plus souvent utilisée lorsque l'on fait référence à la méthode 180.1 de l'EPA ou aux méthodes normalisées pour l'examen de l'eau et des eaux usées.

2.1.2. Définitions

Matière en suspension :

La notion de matière en suspension (ou MES) (ou particules en suspension) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide. Cette quantité de substances non dissoutes est obtenus par filtrage d'un échantillon d'eau.

Cette mesure permet de mesurer la quantité de particules en suspension. La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur une membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,5µm. Le rapport entre la pesée du filtre (masse sèche totale de matières en suspension) et le volume filtré détermine la concentration de ces particules dans l'eau (exprimée généralement en mg/l). Les mesures sont exprimées en mg/l.

Turbidité :

La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles que argiles, limon, matière organique et minérale en fines particules, plancton. Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique). La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée. Il s'agit d'un paramètre dont la signification dépend de la technique de mesure utilisée. Le turbidimètre néphélométrique mesure l'intensité de la lumière dispersée à un angle de 90 degrés par rapport au trajet de la lumière incidente.

Cette mesure détermine donc le coefficient angulaire de diffusion β_{90} . Dans le cas de petites particules, on calcule le coefficient de diffusion totale, b , à partir de ce paramètre β_{90} .

Cette diffusion est surtout liée aux matières en suspension et elle dépend de la taille, de la forme et de l'indice de réfraction des particules ainsi que de la longueur d'onde de la lumière incidente. Cette mesure consiste donc à déterminer la diffusion (réflexion + réfraction + diffraction) de la lumière, abstraction faite de l'eau pure. Il s'agit donc bien d'un paramètre lié à la présence des particules en suspension.

Les mesures sont exprimées en NTU ou FNU (voir 2.1.1). Les mesures de turbidité sont exprimées en NTU lorsqu'elles sont effectuées selon les anciennes spécifications. Un nouveau nom d'unité s'applique pour les turbidités obtenues selon la norme ISO 7027, qui s'applique désormais. Il s'agit de l'unité FNU. La relation de passage a été établie sur la base des jeux de données de l'Ifremer en conditions naturelles marines: Turbidité en FNU = 1.267 Turbidité en NTU , d'après [3].

2.1.3. Zone d'étude et données disponibles

La zone d'étude est située dans le golfe de Gascogne ([Figure 8](#)). Le linéaire de côte au droit de la future connexion électrique est de l'ordre de 370 km (parties terrestre et sous-marine incluses), dont environ 260 km le long de la côte française et 130 km le long de la côte espagnole. Les données récupérées et analysées par ARTELIA le long de ce linéaire sont constituées des différentes sources suivantes :

- Base de données QUADRIGE, alimentée par les mesures effectuées par le réseau de suivi de l'Institut français pour l'exploitation de la mer (IFREMER) ;
- Bases de données satellites du service de surveillance de l'environnement marin européen (Copernicus Marine Environment Monitoring Services ou CMEMS);
- Bibliographie existante sur le sujet.



Figure 8. Localisation de l'interconnexion électrique, des principales villes et des rivières

Les apports terrigènes fluviaux majeurs dans la zone du golfe de Gascogne sont issus des rivières de l'Adour, ainsi que de la Garonne et de la Dordogne se rejoignant dans l'estuaire de la Gironde.

L'étude de Maneux [6] propose pour l'Adour un flux moyen de 0.4 Mt/an de sédiment, pour l'estuaire de la Gironde 1.5 Mt/an (Figure 9). Cette étude établit également que le flux des petites rivières côtières de la côte basque espagnole peut atteindre 1.9 Mt/an, soit une valeur égale au flux solide expulsé par l'estuaire de la Gironde et l'Adour cumulés.

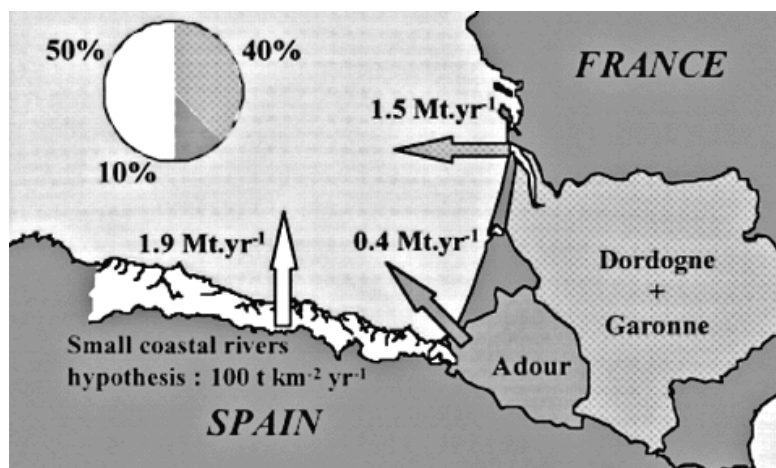


Figure 9. Apport de sédiment par la zone terrestre dans le golfe de Gascogne, d'après [6]

2.2. MESURES IN-SITU QUADRIGE

2.2.1. Description

La base de données QUADRIGE est une base de données stockant l'ensemble des résultats des campagnes de mesures de l'IFREMER. Elle consiste en des mesures basse fréquence (prélèvements tous les 15 jours ou mensuels) issues des réseaux de surveillance mis en œuvre dans le cadre des politiques publiques, notamment la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE (DCE), le suivi sanitaire des coquillages (CE n°854/2004) et la directive cadre stratégie du milieu marin 2008/56/CE (SMM). Elle contient des données depuis 1974. Les réseaux majeurs à l'échelle nationale sont les suivants :

- ROCCH : suivi des contaminants chimiques, qui fait suite au RNO ;
- REPHY : surveillance du phytoplancton et des phycotoxines ;
- REMI : surveillance microbiologique dans les coquillages ;
- REBENT pour la surveillance de la faune et de la flore benthique ;
- REPOM : Surveillance des ports maritimes. REPOMO et la partie de REPOM spécifique à l'hydrologie ;
- IGA : Impact des grands aménagements, pour le suivi spécifique des eaux de rejets des centrales nucléaires.

Ces réseaux de surveillance sont opérés par les huit Laboratoires Environnement et Ressources (LER) de l'IFREMER. Chaque réseau est caractérisé par des stations d'échantillonnage, des paramètres à mesurer, une fréquence d'échantillonnage et une période de surveillance à l'échelle de l'année. Des réseaux régionaux s'ajoutent aux réseaux nationaux. Sur le littoral du Golfe de Gascogne notamment, le Suivi Hydrologique du bassin d'Arcachon (ARCHYD) est opéré et inclut des mesures de turbidité.

Nota : la plateforme SURVAL correspond à une version « grand public » de QUADRIGE. Seules les données de QUADRIGE, plus complètes, ont été analysées.

Ces mesures sont effectuées par des moyens nautiques côtiers légers et sont donc représentatives de conditions météorologiques faibles à moyennes. La base de données n'inclut donc pas de mesures réalisées en conditions de vents forts ou de tempête. Les conditions de mesures en mer peuvent ainsi contribuer à une sous-estimation des valeurs qui pourraient être observées pour ces conditions de mer plus fortes.

La recherche dans la base de données s'est effectuée en extrayant les mesures de turbidité et de MES par sélection géographique s'étendant depuis Lacanau jusqu'à Hendaye, sur la période du 1er janvier 1990 au 1er mars 2019.

Le **Tableau 2** liste l'ensemble des données extraites de la base sur ces critères. Les mesures de MES sont prises en surface (entre 0 et -1 m sous la surface). La localisation des points de mesures est présentée **Figure 10**. Les mesures de turbidité sont en surface pour toutes les stations. Des mesures de turbidité au fond sont également disponibles pour toutes les stations, sauf pour Biarritz.

Tableau 2 – Description des données disponibles

Nom station	MES	TURB	Nombre de mesures	Période des mesures extraites	Programme	Coordonnées longitude/latitude WGS84	Milieux
Arcachon Bouée 7	x	x	1146+2686	1994-2016	ARCHYD	-1.2637,44.5423	Estuaire
Large Cap Ferret		x	2	10/12/1992	REPHY	-1.3209,44.6323	Zone marine côtière
Cap Breton		x	275	2007-2018	REPHY ROCCH	-1.4667,43.6564	Zone marine côtière
Hossegor		x	515	1997-2018	REPHY ROCCH	-1.4297,43.6658	Lac marin
Adour 2		x	286	2007-2018	REPHY ROCCH	-1.5150,43.5282	Estuaire
64-biarritz	X	x	26+55	1998-2007	REPOM	-1.5656,43.4834	Port
Saint Jean de Luz		x	286	2007-2018	REPHY ROCCH	-1.6745,43.4101	Zone marine côtière
Tsingudi		x	285	2007-2018	REPHY ROCCH	-1.7811,43.3607	Estuaire

La majorité des mesures de turbidité sont prises selon la norme européenne depuis 2007. Elles sont donc en unité NFU après 2007 et en NTU avant 2007. Une période de transition s'est établie aux différentes stations durant laquelle à la fois des mesures en NTU et en NFU ont été prises pour l'échantillonnage de surface. Il s'agit de la période d'août 2008 à avril 2010 pour Hossegor, d'août 2007 à février 2008 pour Adour 2 et d'août 2007 à décembre 2007 à Arcachon bouée 7. La corrélation entre mesures en NTU et NFU est présentée pour ces trois stations réunies (Figure 11). La régression linéaire est de :

$$1 \text{ NFU} = 1.23 \text{ NTU}$$

avec un coefficient de détermination de 0.99, obtenue sur 26 paires de mesures. Cette relation est quasi identique à celle obtenue par [3][1] ($1 \text{ FNU} = 1.27 \text{ NTU}$, $R^2 = 0.98$), obtenue à partir d'une combinaison de 69 paires de mesures issues des stations REPHY en 2007 et localisées sur l'ensemble de la France. Pour la suite de l'analyse des données issues de QUADRIGE, seules les mesures après 2008 sont prises en compte, toutes en NFU. Seules les mesures de turbidité à Biarritz ont été convertie en NFU, car antérieures à 2007. A noter que les mesures du Cap Ferret n'ont pas été analysées car seules deux mesures sont disponibles.

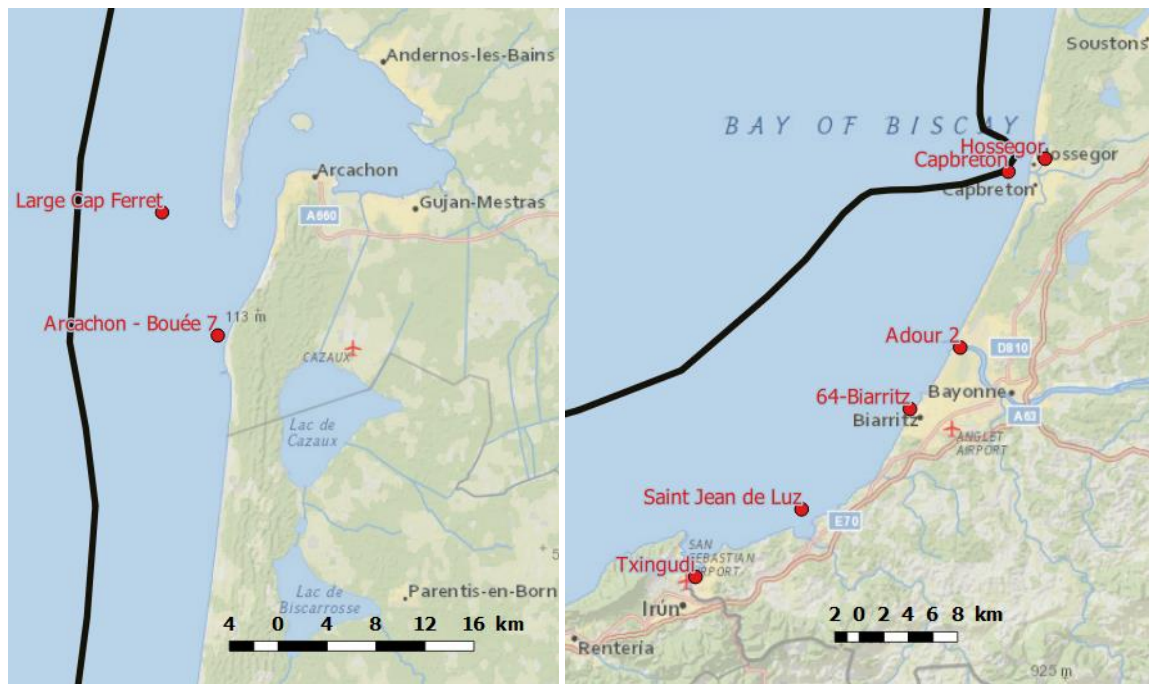


Figure 10. Localisation des points quadri

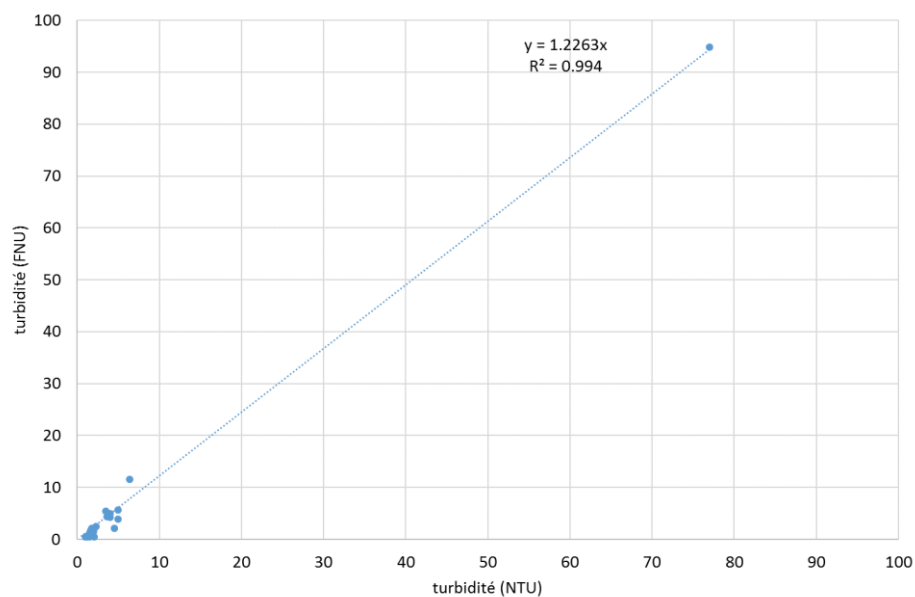


Figure 11. Relation NFU et NTU à partir des stations Adour 2, Hossegor et Arcachon

2.2.2. Analyse spatiale et temporelle de la turbidité

L'évolution temporelle des mesures de turbidité pour la surface et le fond sont tracées sur les Figure 18, Figure 17, Figure 16, Figure 15, Figure 13, Figure 14, Figure 12). La différence entre le fond et la surface est peu marquée pour toutes les stations.

A la station Arcachon bouée 7, les mesures de turbidité montrent une prédominance des pics supérieurs à 10 NFU en hiver de décembre à février. La période de turbidité la plus faible

(inférieure à 5 NFU) se situe de juin à décembre. La turbidité de fond est légèrement supérieure lors des périodes de pics.

A la station 64-Biarritz, la fréquence des mesures est faible, au maximum de 4 par an, ce qui ne permet pas de distinguer l'influence d'un cycle saisonnier. Les mesures sont effectuées dans le port. Les mesures de turbidité en surface varie de 5 à 40 NFU.

La station Adour 2 se situe en milieu estuarien, à l'embouchure de la rivière Adour. La mesure de turbidité est très fluctuante avec une tendance saisonnière. Il y a notamment la présence de pic supérieur à 20 NFU durant l'hiver, sauf l'année 2018.

A Capbreton, la turbidité est faible, avec majoritairement des valeurs inférieures à 5 NFU. Seuls 3 pics supérieurs à 10 NFU se produisent sur les 12 ans de la série de données.

La station de Hossegor se trouve à l'intérieur du lac marin. A la fois pour la surface et le fond, les turbidités varient majoritairement entre 0 et 5 NFU. Des pics supérieurs à 5 NFU sont observés, en général dans la période hivernale. Les variations de turbidité entre la surface et le fond sont identiques, et montrent un profil relativement homogène verticalement. La turbidité montre plus de variabilité à Hossegor qu'à Txingudi et Saint-Jean-de-Luz.

A Saint-Jean-de-Luz, le même phénomène qu'à Txingudi est observé, avec une turbidité toujours inférieure à 5 NFU, excepté un pic annuel supérieur à 5 NFU sur certaines années. La turbidité est très fréquemment au seuil de détection de 0.5 NFU.

A Txingudi, la turbidité est très faible en surface et au fond : elle est toujours inférieure à 5 NFU, à l'exception d'un pic annuel supérieur à 10 NFU en 2016, 2014, et de 2009 à 2013 en période hivernale. La turbidité est très fréquemment au seuil de détection à 0.5 NFU.

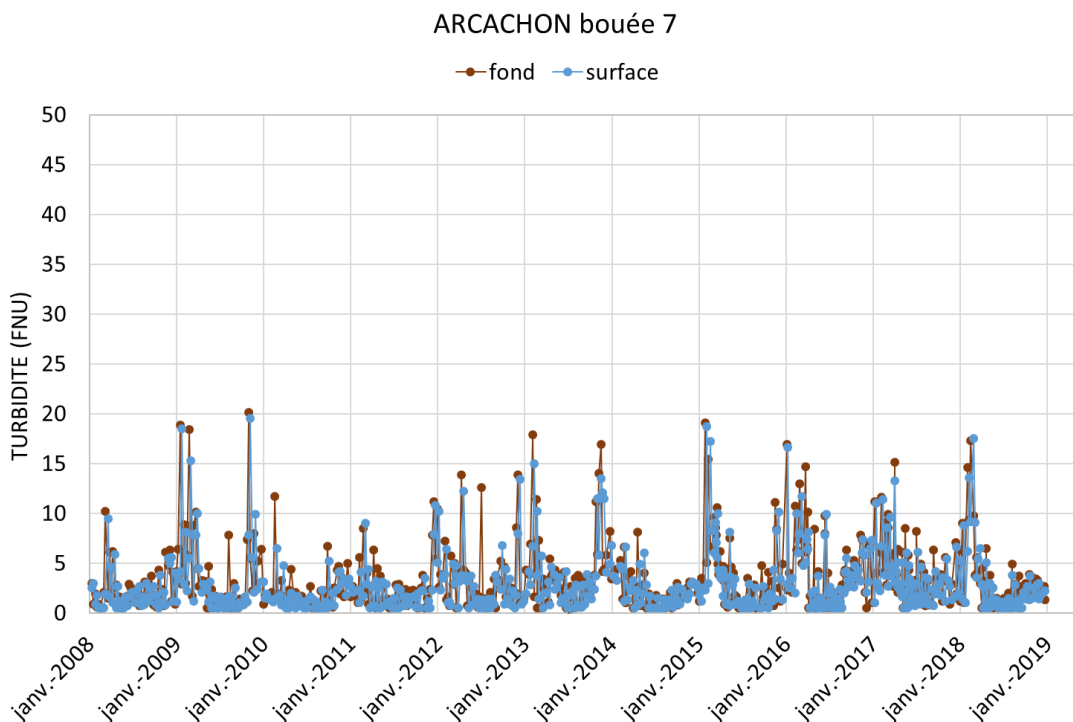


Figure 12. Evolution temporelle de la turbidité à Arcachon bouée 7

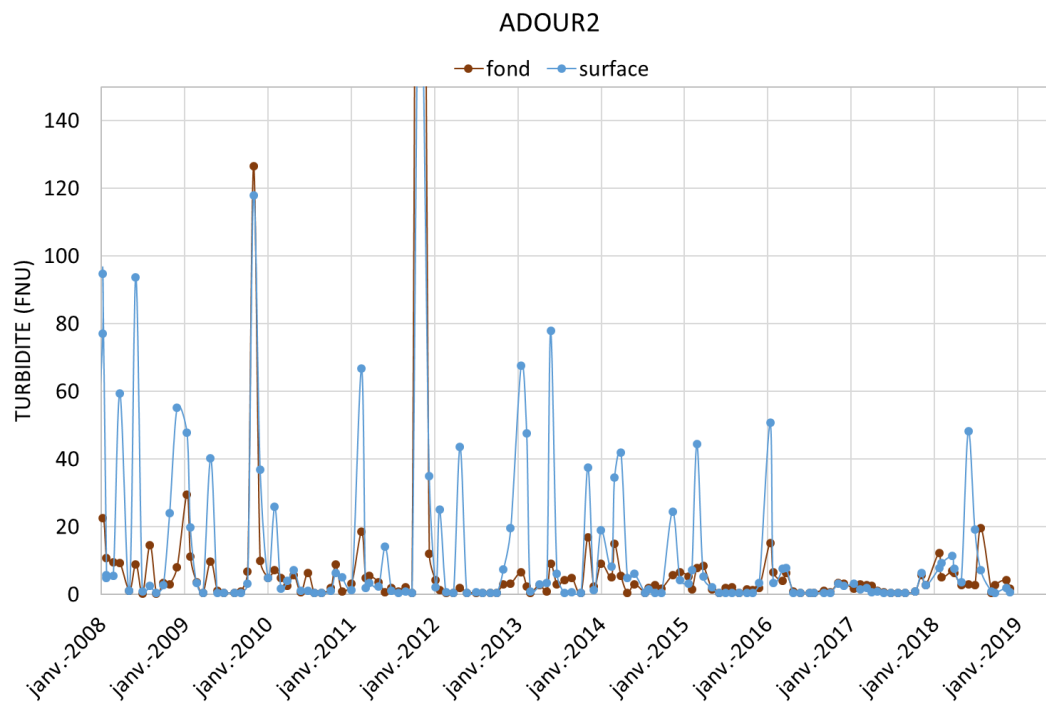


Figure 13. Evolution temporelle de la turbidité à Adour 2, extrema à 425 NFU (fond) et 200 NFU (surface) – hors échelle

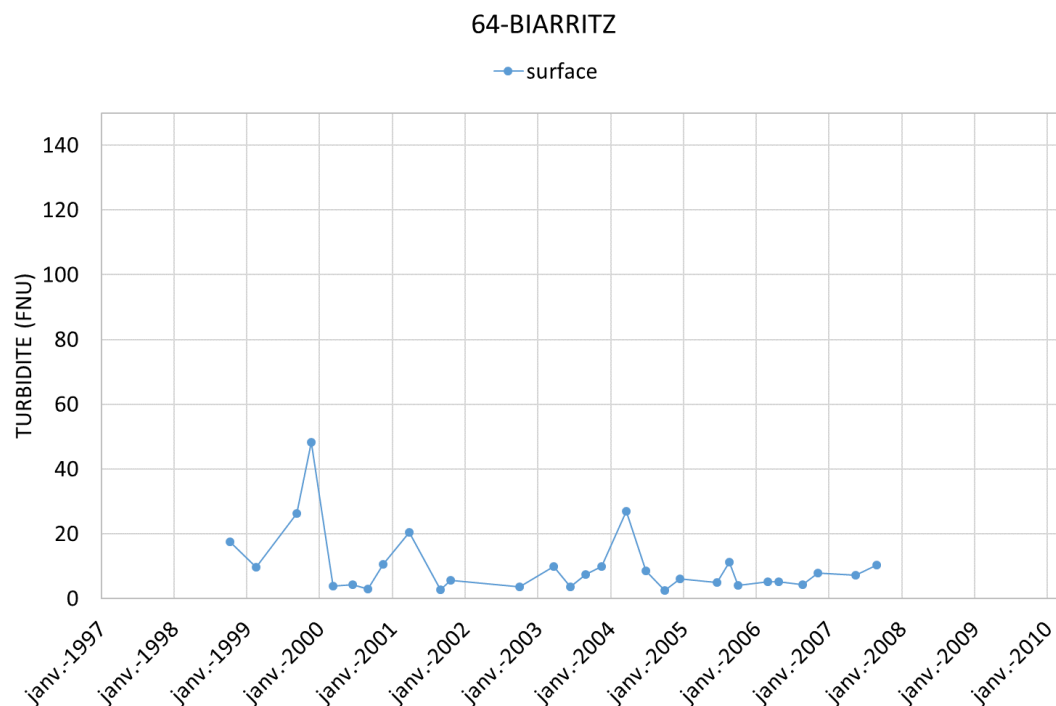


Figure 14. Evolution temporelle de la turbidité à 64-Biarritz

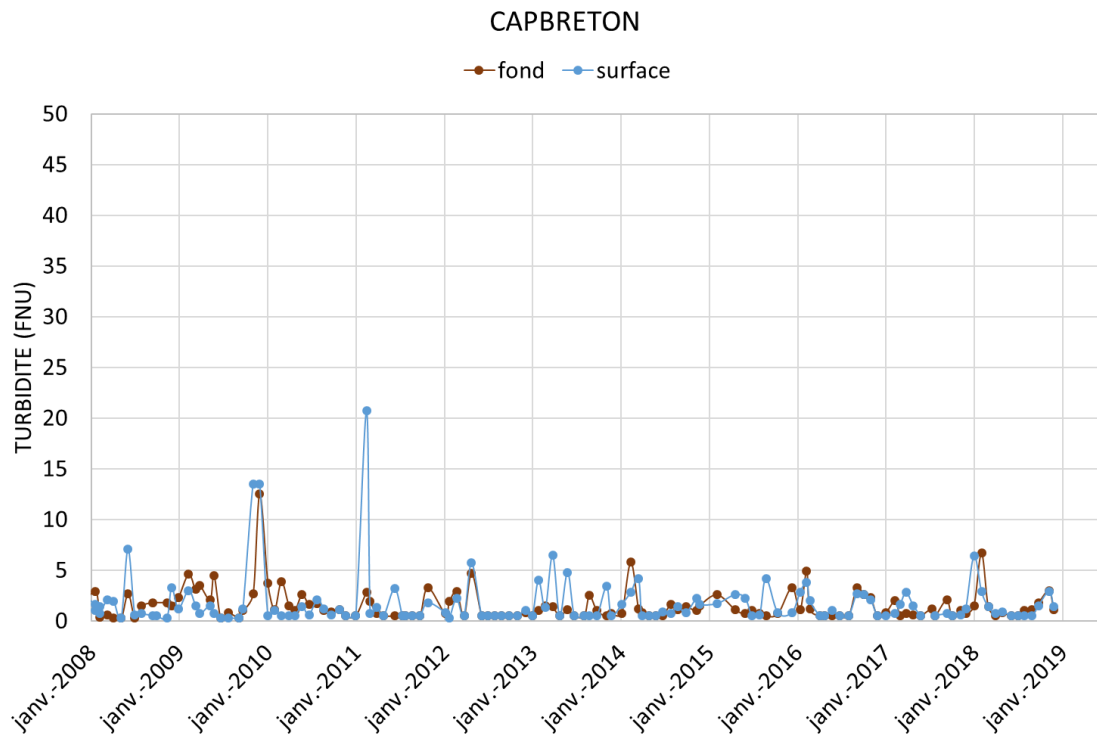


Figure 15. Evolution temporelle de la turbidité à Capbreton.

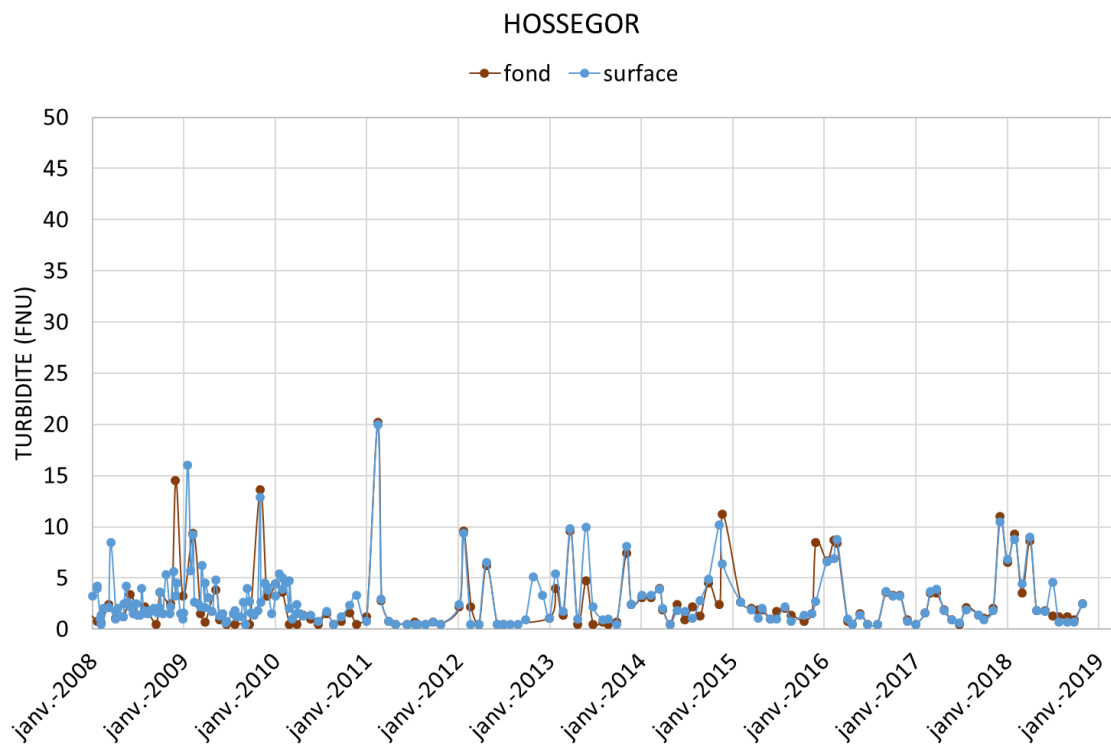


Figure 16. Evolution temporelle de la turbidité à Hossegor

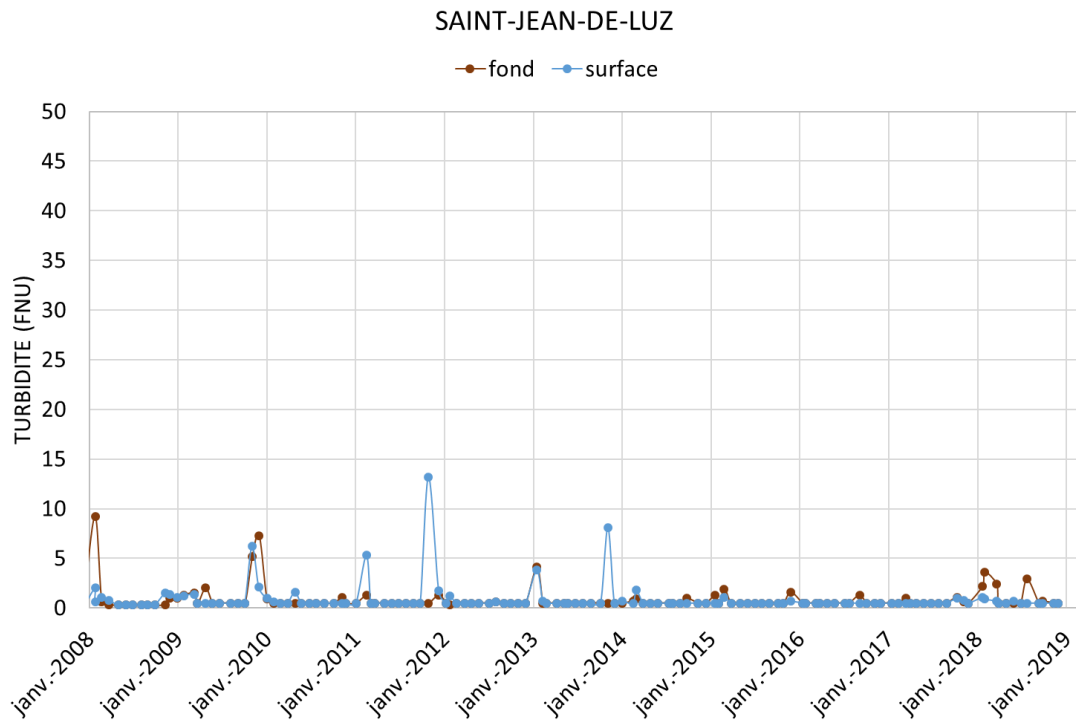


Figure 17. Evolution temporelle de la turbidité à Saint-Jean-de-Luz

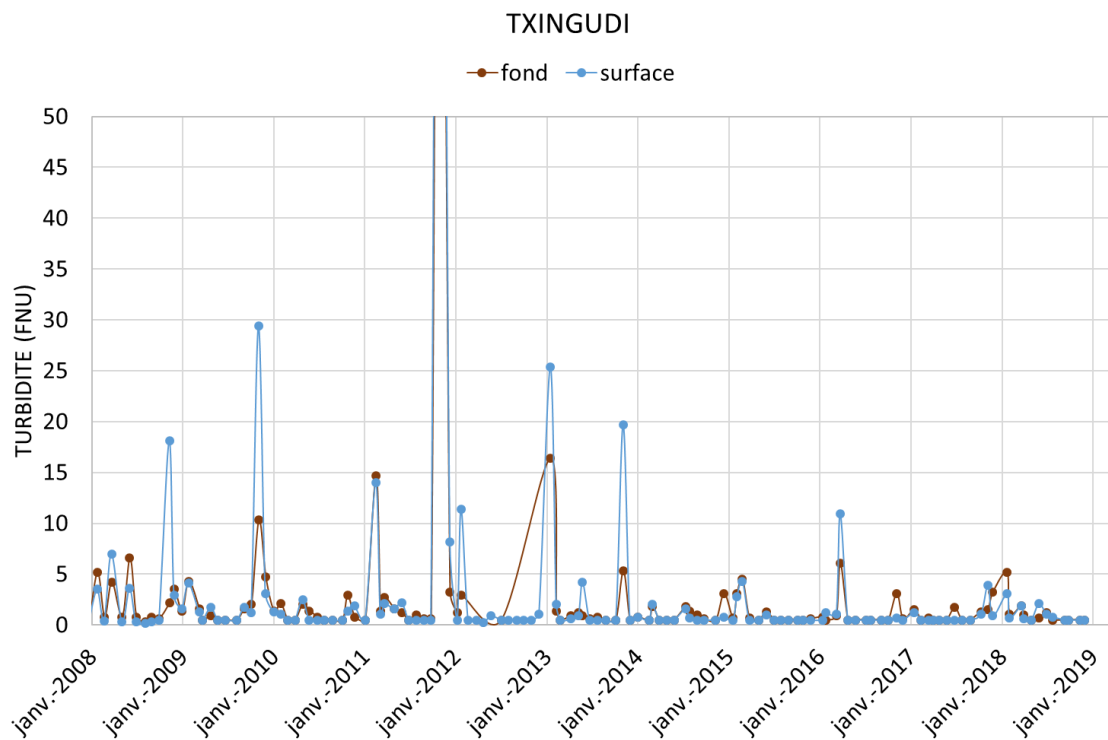


Figure 18. Evolution temporelle de la turbidité à Txingudi, extrema à 115 NFU (fond) et 159 NFU (surface) en janvier 2012 - hors échelle

2.2.3. Analyse spatiale et temporelle de la MES

A Biarritz, les mesures de MES ont une fréquence faible, au maximum de 4 par an (Figure 19). Il n'est donc pas possible de détecter la présence d'un cycle saisonnier. La concentration en MES varie entre 10 et 40 mg/l sur la période des mesures de 1999 à 2007. A Arcachon (Figure 20), un cycle saisonnier apparaît, avec les pics supérieurs à 20 mg/l se produisant majoritairement l'hiver, de décembre à février. Durant les autres saisons, la MES varie entre 5 mg/l et 10 mg/l.

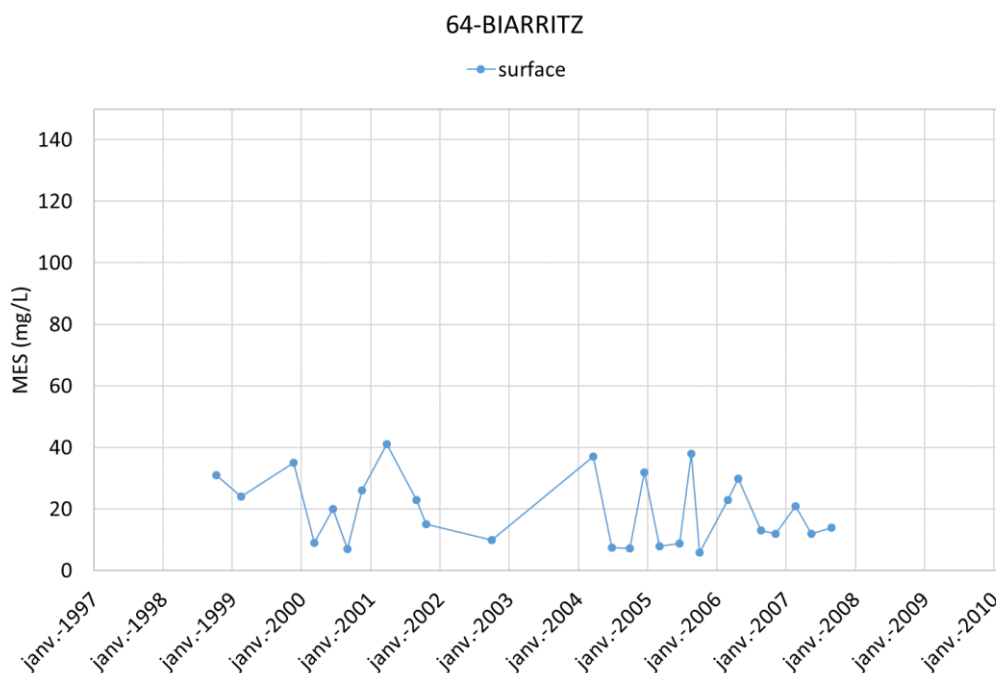


Figure 19. Evolution temporelle de la MES à 64-Biarritz

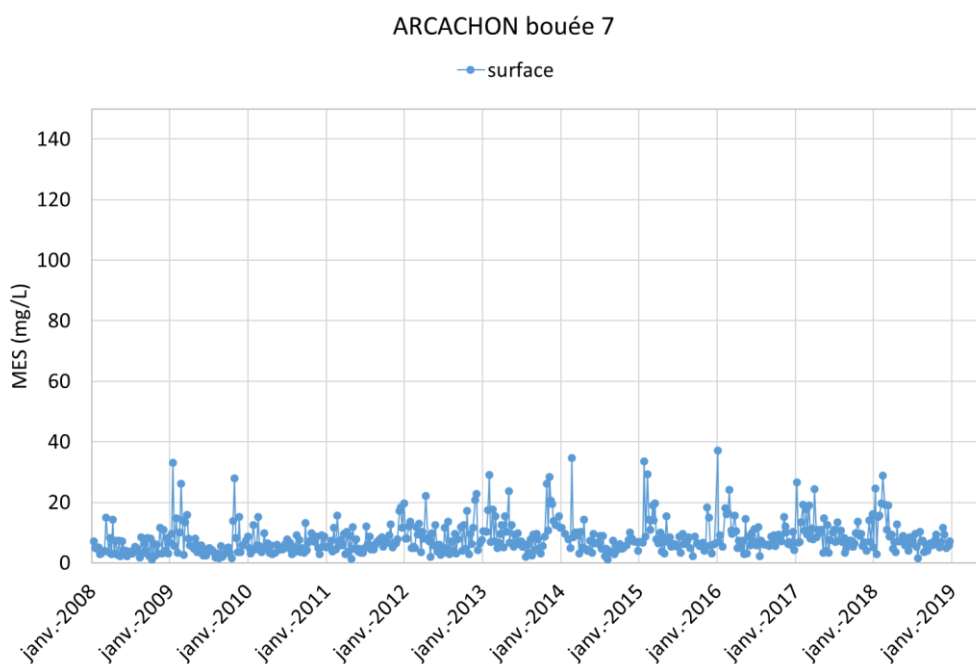


Figure 20. Evolution temporelle de la MES à Arcachon bouée 7

2.2.4. Corrélation MES/turbidité

Le jeu de donnée permet de calculer la relation MES/turbidité (FNU) au niveau des stations de 64-Biarritz (Figure 21) et d'Arcachon bouée 7 (Figure 22), pour les eaux de surface. A Arcachon, la relation est $MES=2.12 \times TURB$, avec un coefficient de détermination de 0.5. A 64-Biarritz, la relation obtenue est $MES=2.0 \times TURB$, avec un coefficient de détermination très faible, indiquant que la relation n'est pas significative statistiquement.

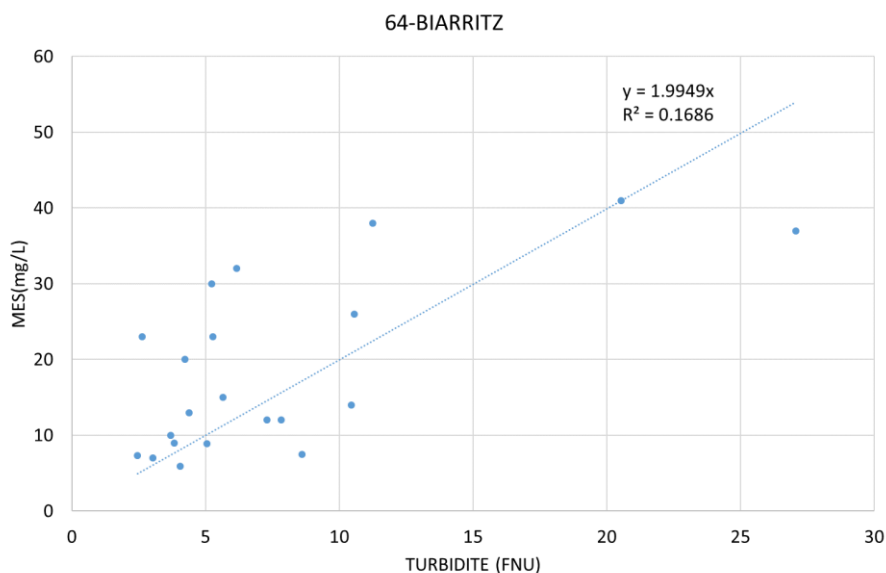


Figure 21. Corrélation MES-Turbidité à 64-Biarritz (26 valeurs)

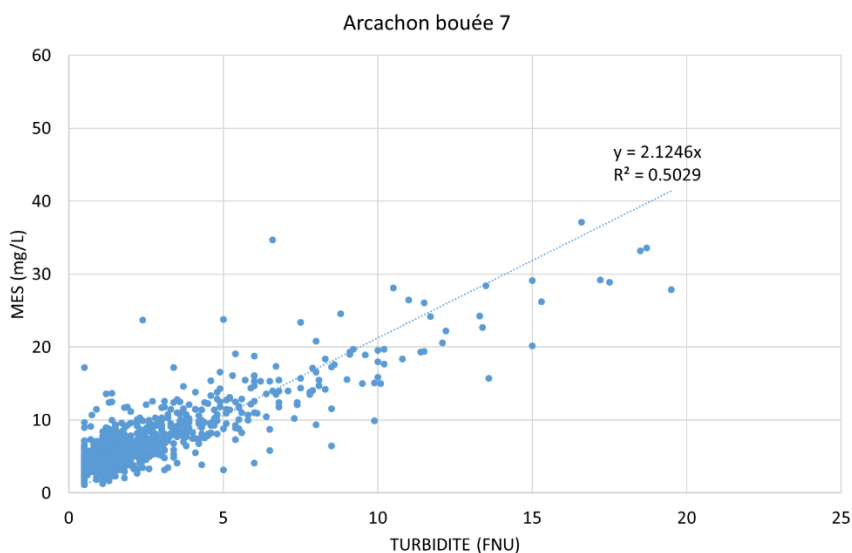


Figure 22. Corrélation MES-Turbidité à Arcachon Bouée 7 en surface

A titre de comparaison, la relation MES/Turbidité obtenue à partir de mesures sur toutes les côtes françaises et en toutes saisons de 1983 à 1994, à partir du turbidimètre HACH 2100 A, est de $MES=2 \times TURB$ (NTU), avec une incertitude d'environ 20% ([9]).

2.2.5. Analyse statistique de la turbidité par station

Le calcul du 75^{ème} centile, de la médiane et du 25^{ème} centile (valeur telle que 25% des valeurs sont inférieures à ce seuil) a été effectué sur les séries de données QUADRIGE, par station et par profondeur. La moyenne est également calculée. Les résultats sont fournis dans le [Tableau 3](#) et le [Tableau 4](#).

Les stations d'Arcachon, Capbreton, Hossegor, Saint-Jean-de-Luz et Txingudi présentent des niveaux de turbidité faibles, avec une médiane entre 0.5 et 2.5 FNU. Les résultats montrent que le niveau de turbidité est un peu plus élevé au niveau de la station Adour, avec une médiane à 2.5 FNU et le 75^{ème} centile à 8.3 FNU en surface, car la station est sous l'influence de la rivière Adour, qui est une rivière majeure du bassin aquitain, drainant 16900 km². La station Biarritz est localisée à l'intérieur du port et n'est donc pas représentative des conditions environnementales ambiantes à proximité des côtes. Elle présente le plus haut niveau de turbidité. Les stations ne présentent pas de différences dans les valeurs statistiques de turbidité entre surface et fond, à l'exception de la station Adour, où les valeurs de turbidité sont plus élevées en surface.

Tableau 3 – Synthèse des valeurs de turbidité au fond (NFU)

Nom station	Arcachon Bouée 7	Capbreton	Hossegor	Adour 2	64- Biarritz	Saint- Jean-de- Luz	Txingudi
	marin	marin	estuaire	estuaire	port	marin	estuaire
Distance à la côte	1km	3km	0km	0km	0km	2km	0km
Distance à la liaison	16km	0.2km	3km	20km	20km	20km	22km
Centile 75%	4.20	1.80	3.23	6.40	-	0.50	1.63
médiane	2.25	1.00	1.50	2.80	-	0.50	0.80
Centile 25%	1.00	0.50	0.70	0.80	-	0.50	0.50
Moyenne	3.26	1.46	2.70	8.29	-	0.87	2.56

Tableau 4 – Synthèse des valeurs de turbidité en surface (NFU)

Nom station	Arcachon Bouée 7	Capbreton	Hossegor	Adour 2	64- Biarritz	Saint- Jean-de- Luz	Txingudi
	marin	marin	estuaire	estuaire	port	marin	estuaire
Distance à la côte	1km	3km	0km	0km	0km	2km	0km
Distance à la liaison	16km	0.2km	3km	20km	20km	20km	22km
Centile 75%	3.60	2.00	3.50	8.30	10.50	0.70	1.70
médiane	1.90	0.90	2.10	2.50	7.29	0.50	0.50
Centile 25%	0.90	0.50	1.40	0.50	4.14	0.50	0.50
Moyenne	2.93	1.69	2.84	13.07	10.06	0.91	3.00

2.3. DONNEES SATELLITALES ISSUES DE LA BASE DE DONNEES COPERNICUS

2.3.1. Description

La base de données Copernicus Marine Environment Monitoring Service met à disposition les produits issus de mesures satellites. Il s'agit de données combinant les mesures optiques de plusieurs satellites (Seawifs, MODIS-aqua, VIIRS, OLCI-S3A), traitées par l'algorithme de traitement OC1 ([1]). Ces données font l'objet d'un contrôle qualité. Le produit de ré-analyse Copernicus Globcolour a été extrait. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- Résolution spatiale : 4km x 4km ;
- Période : du 04/09/1997 au 30/06/2018 ;
- Paramètres :
 - Moyenne journalière en MES inorganique et valeur d'incertitude associée (nommée L3) ;
 - Moyenne mensuelle de la MES inorganique (nommée L4) basée sur une interpolation spatiale et temporelle pour extrapoler lorsque qu'il n'y a pas eu de données à cause de la couverture nuageuse.

La mesure du capteur satellite est une mesure optique de réflectance dans différentes bandes. Chaque bande correspond à une gamme de longueurs d'onde. La concentration en MES est calculée à partir d'un modèle empirique ou semi-empirique utilisant la mesure de réflectance. Cette mesure est également traitée par des algorithmes très complexes de traitement du signal, permettant de tenir compte des effets atmosphériques sur la réflectance : proportion variable d'aérosol, inclinaison du soleil par rapport au sol, distance satellite/sol etc... Les mesures in-situ de MES sont utilisées pour la calibration des algorithmes de traitements, il s'agit de la base de données MERMAID.

La MES totale est composée d'une fraction inorganique (sable et vase) ou MES inorganique, et d'une fraction organique ou Matière Organique Particulaire MOP (essentiellement phytoplancton). Afin de pouvoir prendre en compte la fraction organique et obtenir une estimation de la MES totale (voir détails du calcul plus loin), la concentration en chlorophyll-a dérivée des observations satellitaires ESA-CCI a été utilisée sur la même période temps. La chlorophyll-a est un indicateur de la biomasse phytoplanctonique. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- Résolution spatiale : 1km x 1km ;
- Période : du 04/09/1993 au 30/06/2018 ;
- Paramètres :
 - Moyenne journalière en chlorophyll-a et valeur d'incertitude associée (nommée L3) ;
 - Moyenne mensuelle de la chlorophyll-a (nommée L4) basée sur une interpolation spatiale et temporelle pour extrapoler lorsque qu'il n'y a pas eu de données à cause de la couverture nuageuse.

L3 et L4 signifient 'level 3' et 'level 4'. Ils font référence au niveau de traitement : L2 = donnée fournies par les agences spatiales; L3 = donnée après traitement de niveau 3, c'est-à-dire combinaison des différents satellites et obtention de la grille; L4 = donnée L3 traitée pour extrapolation des pixels sans données à cause des nuages. Des informations plus détaillées sont fournies dans la référence ([8]).

Les observations de chlorophyll-a sont établies avec une grille de plus forte résolution que la MES inorganique. Par contre, la combinaison de capteurs utilisées est identique et les zones sans donnée à cause de la présence de nuage sont identiques dans les deux jeux de données pour les produits L3.

L'équation issue de ([7]) permet d'estimer la fraction organique de la matière en suspension :

$$\text{MOP} = 0.234 \text{ Chl}^{0.57}$$

La relations liant la MES totale à partir de la MES inorganique est la suivante ([4]) :

$$\text{MES} = \text{MES inorganique} + \text{MOP}$$

Le second terme de l'équation, dérivant de la chlorophyll-a, correspond à l'ensemble des éléments particulaire d'origine organique (biomasse phytoplanctonique, matière particulaire vivante et détritique organique). Il s'agit de la matière organique particulaire (MOP).

Ce type de mesure présente l'avantage de couvrir une grande zone géographique et de fournir des informations tous les jours de l'année caractérisés par un temps clair.

Les inconvénients sont :

- La forte incertitude sur la mesure, la résolution spatiale de 4 km ;
- L'absence de mesure en cas de couverture nuageuse ;
- La non disponibilité de l'erreur sur la mesure pour la chlorophyll-a

Pour la présente étude, les données ont été extraites en 4 points le long du tracé de l'interconnexion et analysés (voir paragraphe suivant).

2.3.2. Analyse de l'évolution temporelle de la MES totale le long de l'interconnexion

Pour cette analyse, l'évolution temporelle de la MES pour les points A, B, C, D et E a été extraite le long de l'interconnexion électrique (Figure 23 et Figure 24). Elle prend en compte à la fois la fraction inorganique et organique. Cinq points ont été sélectionnés :

- D (-1.4090 W, 44.5960 N) à proximité de l'embouchure du bassin d'Arcachon ;
- C (-1.4600 W, 43.6690 N) à proximité du lac marin d'Hossegor ;
- B (-1.6460 W, 43.6110 N) à proximité du panache de l'Adour ;
- E (-2.3210 W, 43.4050 N) au droit de la côte espagnole ;
- A (-2.8258 W, 43.4474 N) à proximité de la côte au niveau de l'atterrissage espagnol.

Les courbes des séries temporelles montrent que les points B et C, localisés dans le panache de l'Adour, présentent des concentrations plus élevées, jusqu'à 100 mg/l, en fin d'automne et en hiver par rapport aux autres saisons. Les stations D, E et A présentent également un signal saisonnier avec des plus fortes concentrations en automne et en hiver, mais le maximum ne dépasse pas 15 mg/l.

Les courbes d'évolution temporelle des MOP montrent qu'elle reste comprise entre 0 et 1 mg/l sur les points considérés. Leur contribution à la MES totale est donc faible durant les périodes hivernales, et non négligeable au printemps et à l'été lorsque les concentrations en MES totale sont inférieures à 5 mg/l.



Figure 23. Localisation des points A, B, C, D et E des séries temporelles.

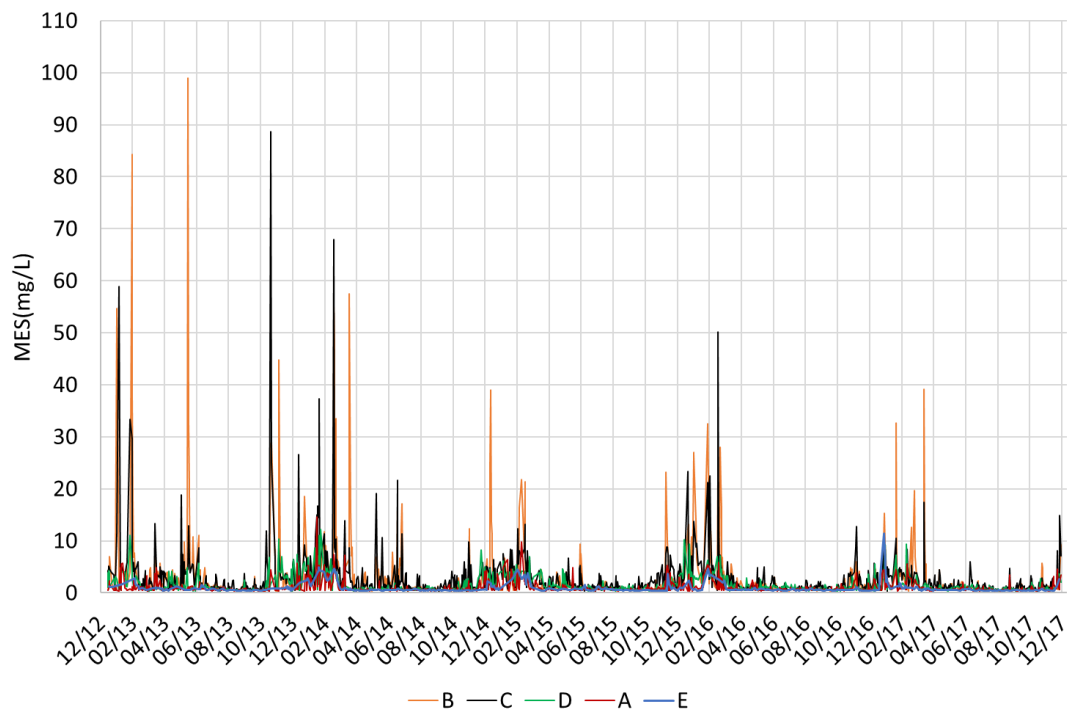


Figure 24. Moyenne journalière de la MES totale mesurée par satellite en 2016

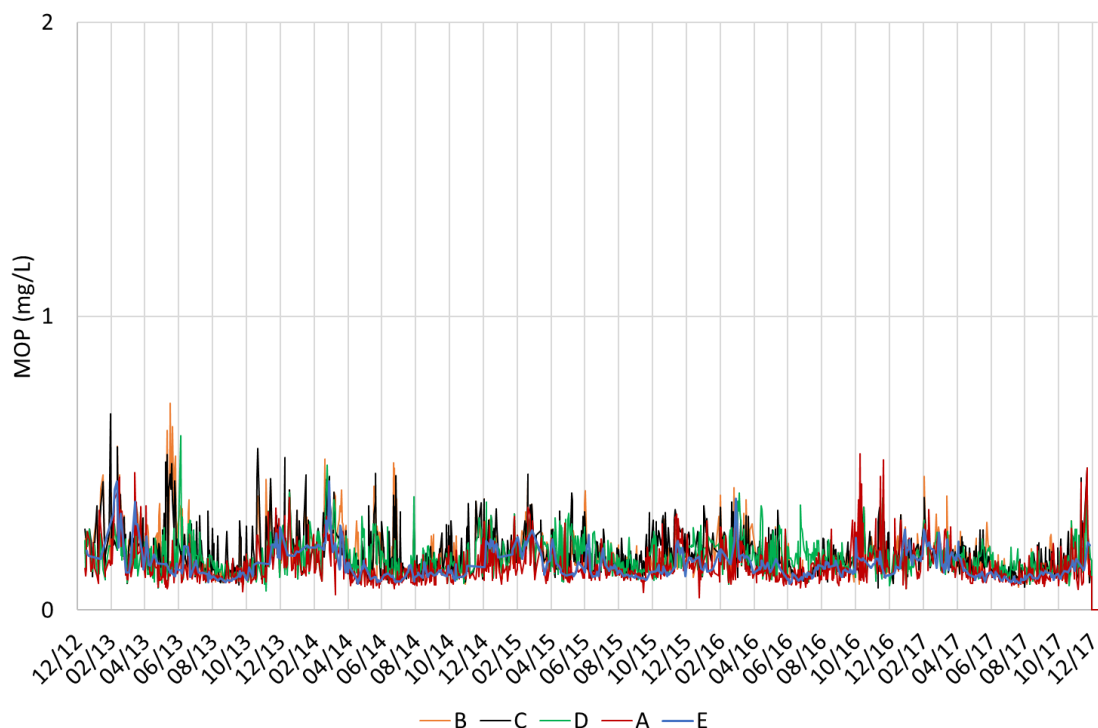
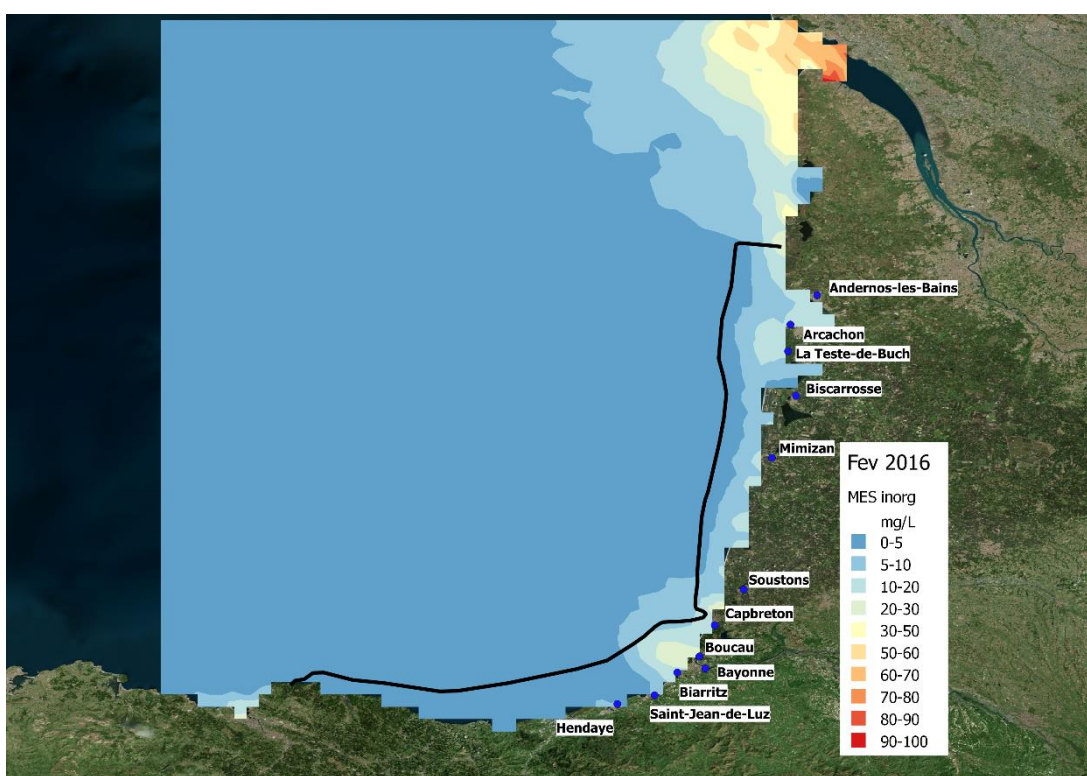
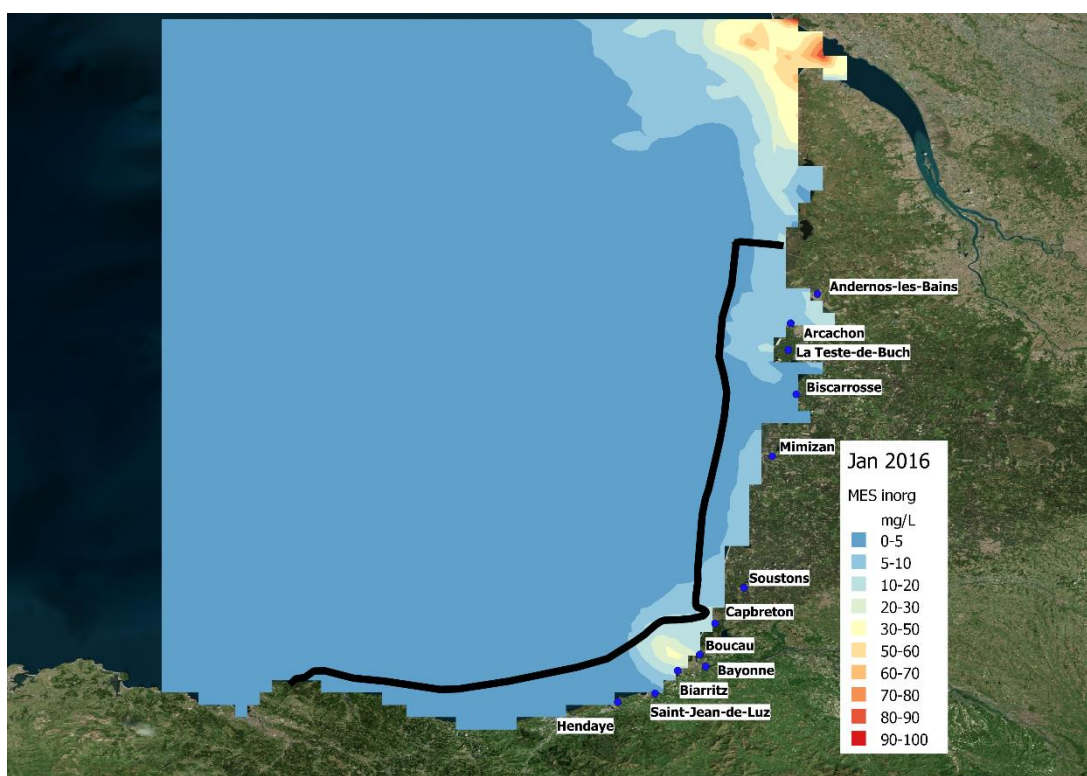


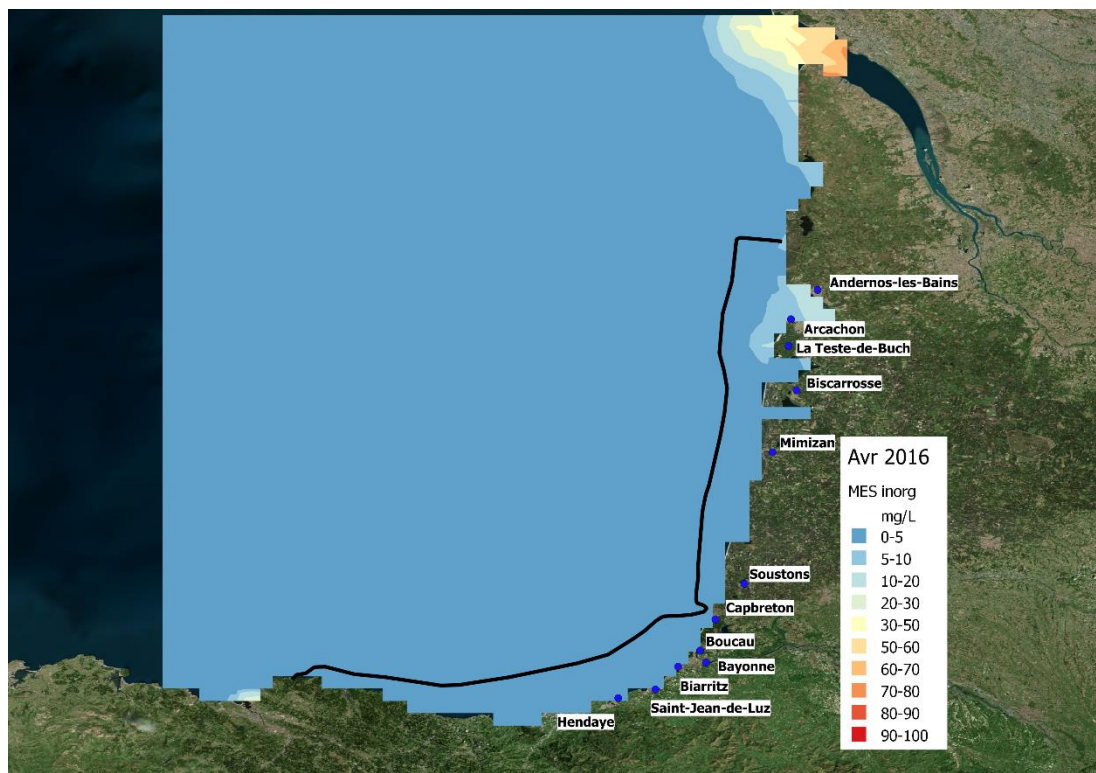
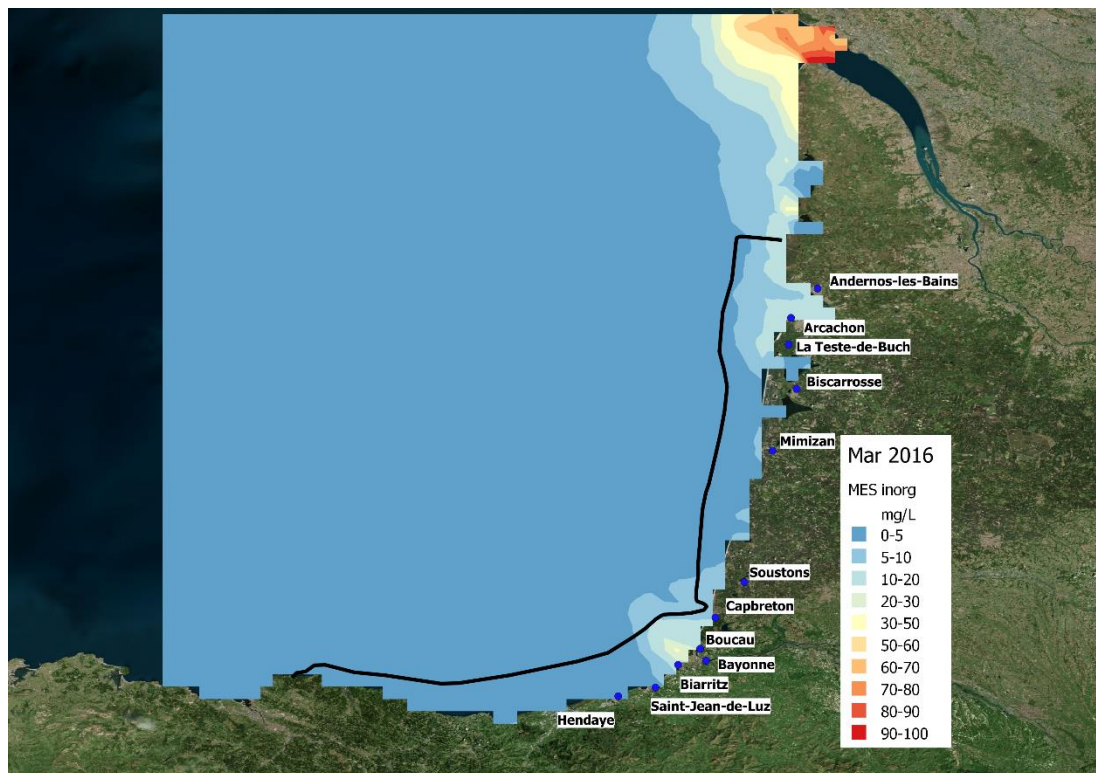
Figure 25. Matière organique particulaire (MOP) le long de l'interconnexion.

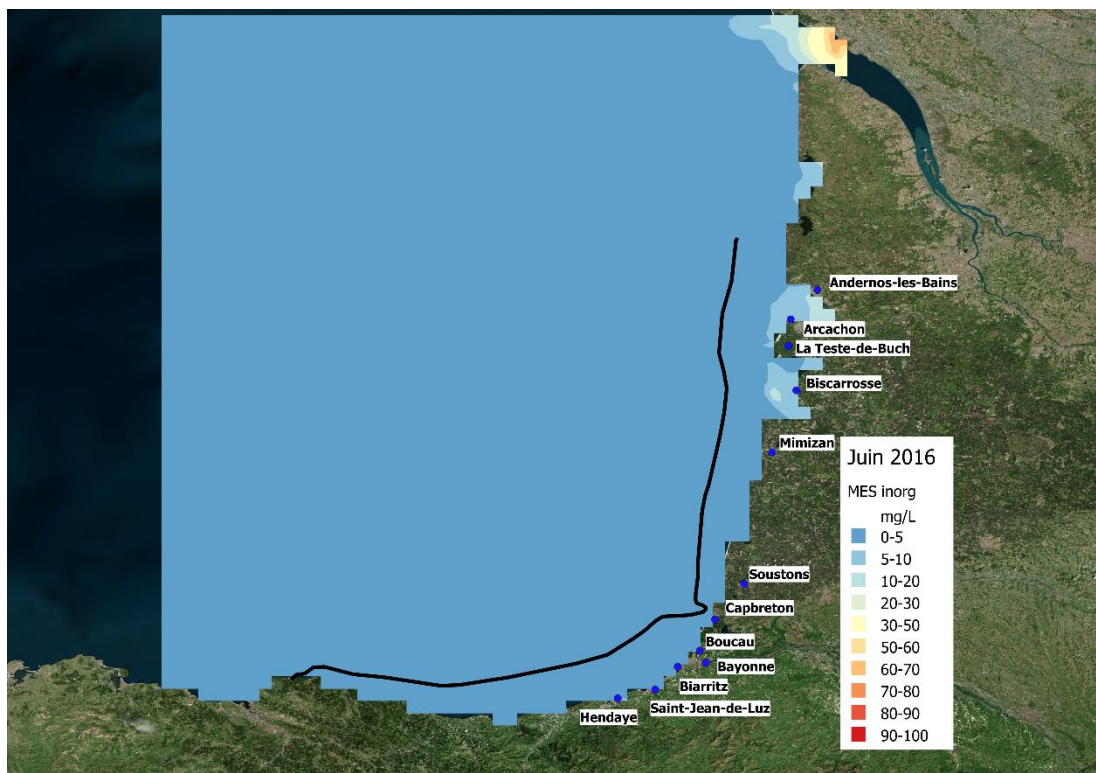
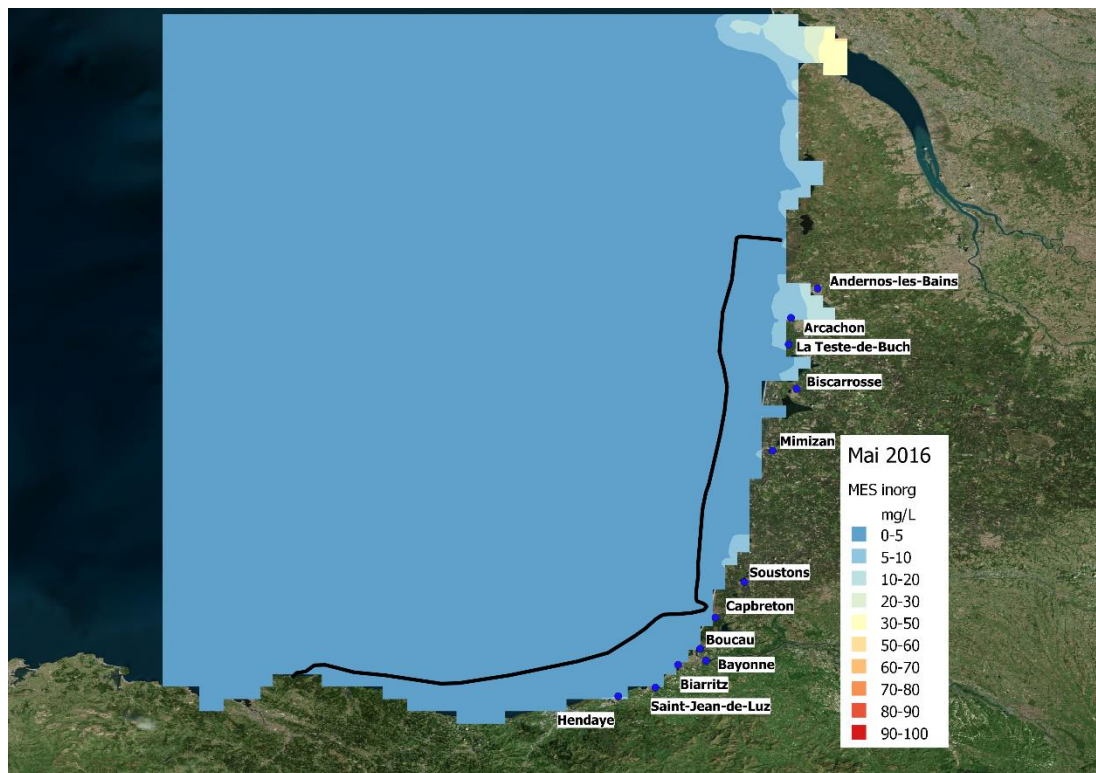
2.3.3. Analyse cartographique

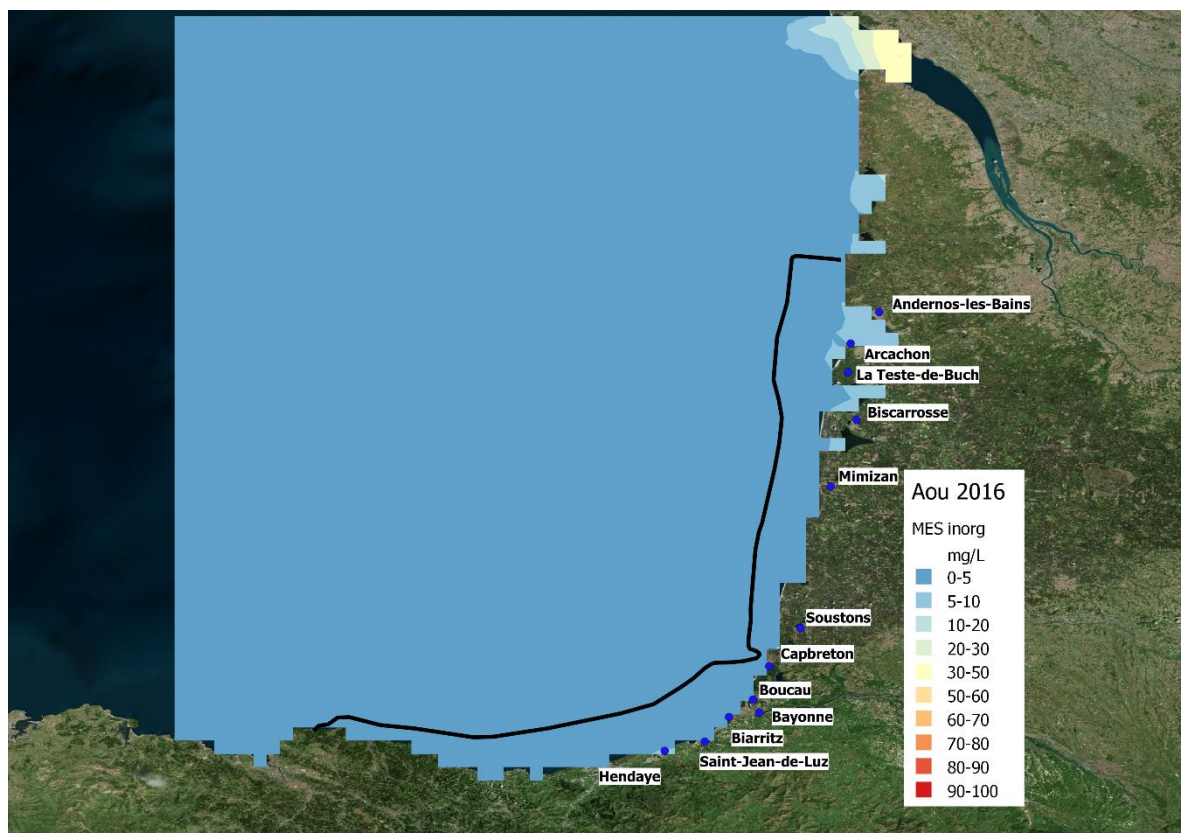
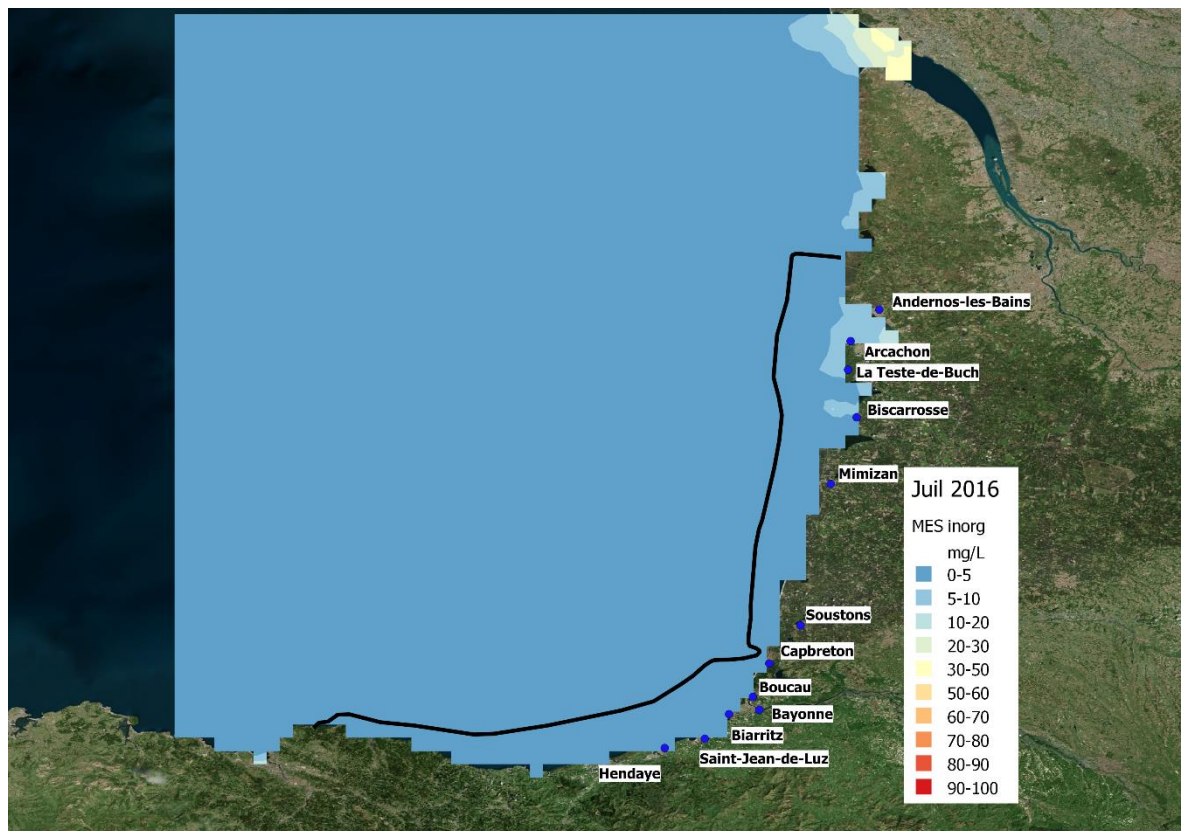
La moyenne mensuelle de la MES inorganique pour l'année 2016 est présentée Figure 26. Les cartographies montrent que l'interconnexion au droit de Boucau se situe dans l'emprise du panache turbide de l'Adour durant les mois d'hiver, de janvier à mars, avec des concentrations jusqu'à 20 mg/l. Au droit de Capbreton, la MES inorganique génère des concentrations de l'ordre de 10 à 30 mg/l en février 2016. Dans la partie nord de la route, au droit d'Arcachon et de Biscarosse, l'interconnexion est éloignée de la côte d'environ 20 km, et les concentrations en MES inorganique restent inférieures à 5 mg/l au niveau de l'interconnexion.

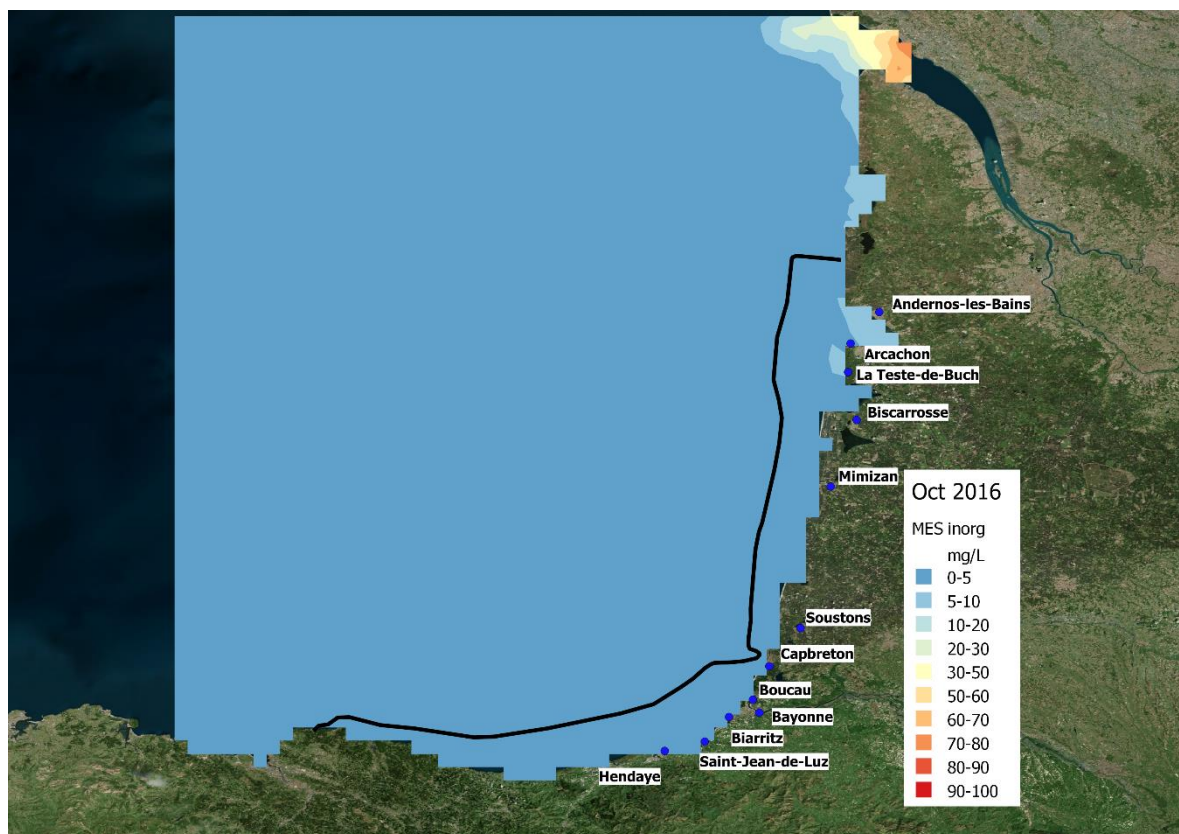
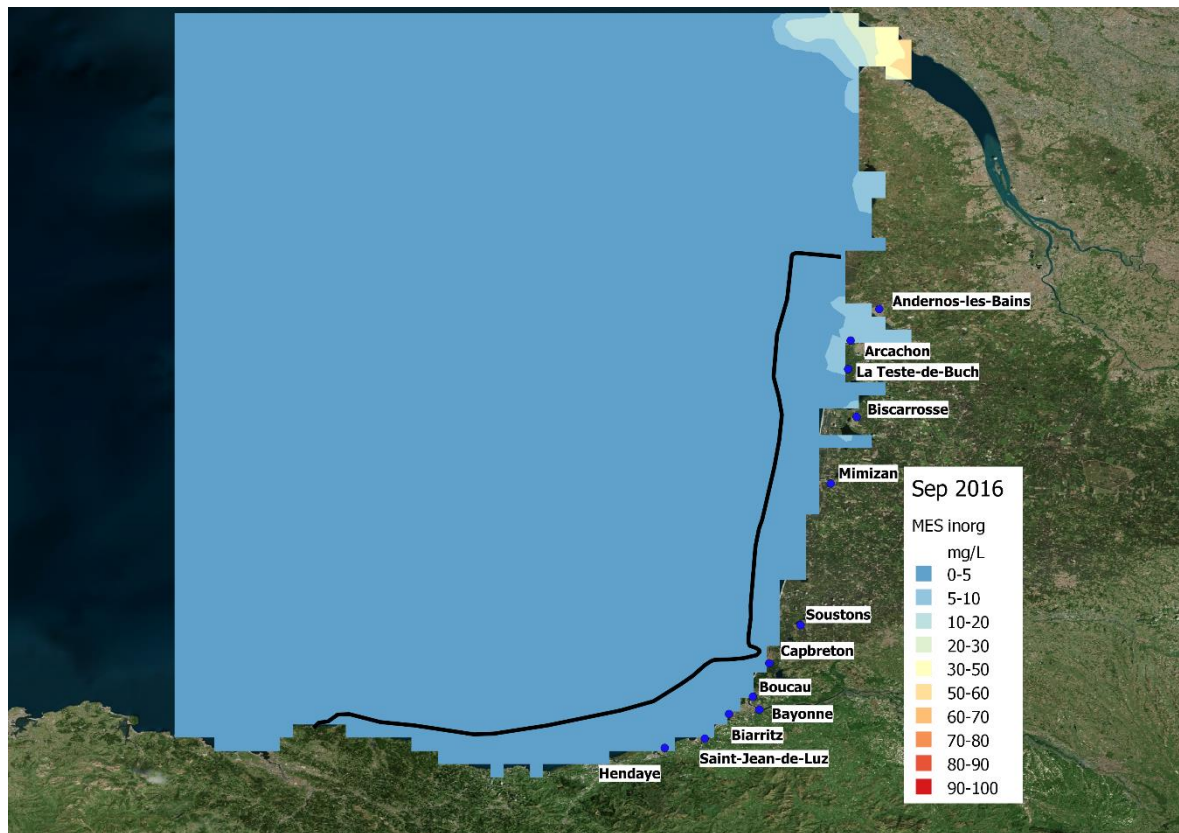
Les cartographies montrent que les fleuves côtiers et les échanges avec les lacs marins (Arcachon, Hossegor) ont une influence sur la répartition de la MES le long de la côte, détectée par les images satellites. Cependant, la résolution faible de la donnée spatiale et l'imprécision des données à proximité des côtes rend cette information sujette à une forte incertitude.











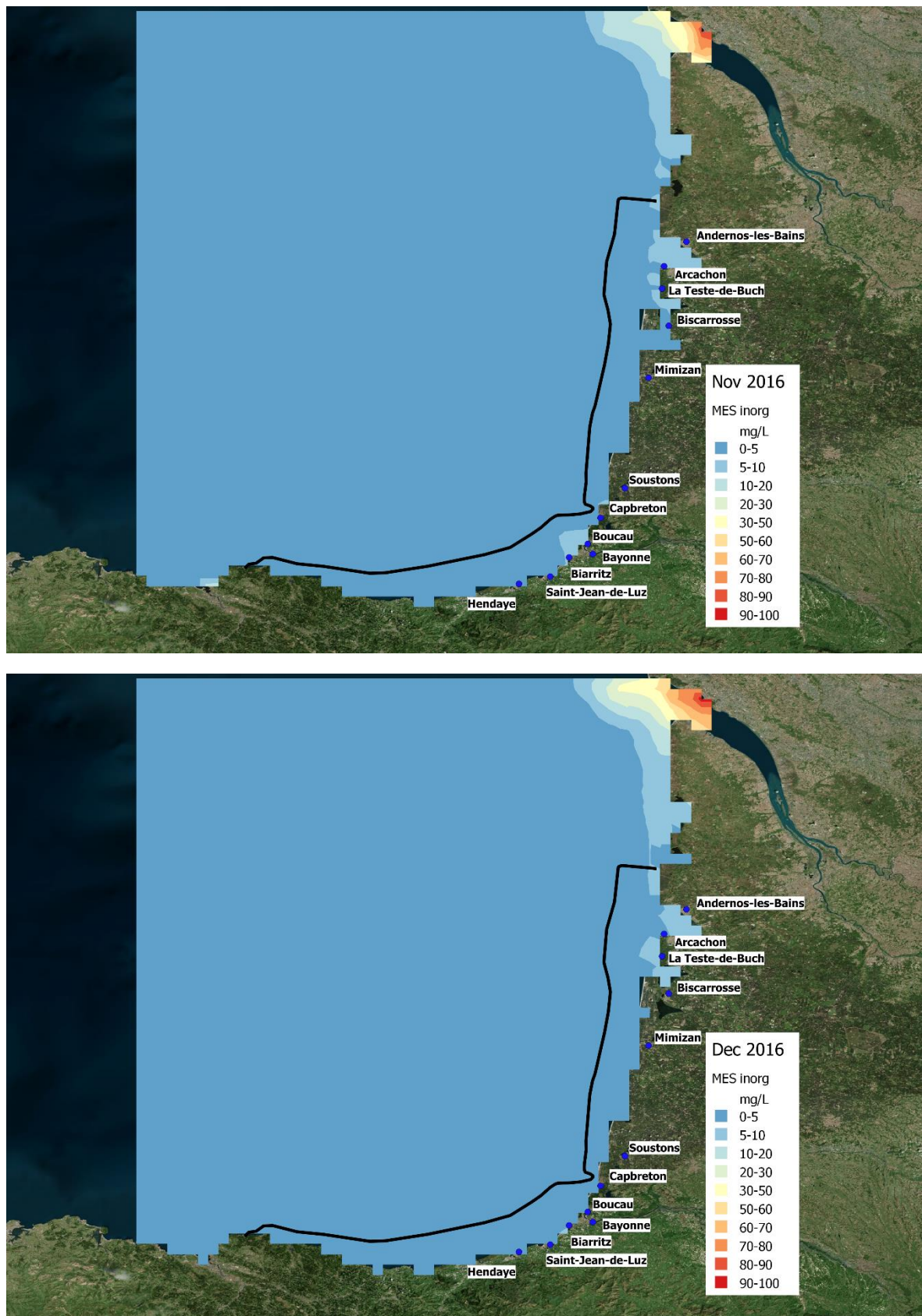


Figure 26. Moyenne mensuelle de la MES inorganique observée par satellite en 2016

2.4. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.4.1. Turbidité dans la zone côtière au large de l'embouchure de la Gironde, campagne GIVAPA 4 et 5

L'eau issue de l'estuaire de la Gironde forme un panache turbide de surface, et une couche de matière en suspension inorganique au fond (appelé couche néphéloïde). Les missions GIVAPA 4 et 5 ont permis de déterminer les structures des turbidités au large de la Gironde, entre l'embouchure et la tête du Canyon du Cap Ferret (Figure 27). Suite à une crue, la couche néphéloïde de fond dépassant 1 NFU atteint le bord du plateau continental. Lors de période de faible débit fluvial, la couche néphéloïde couvre une plus faible surface, et son étendue s'arrête à mi-distance du plateau continental.

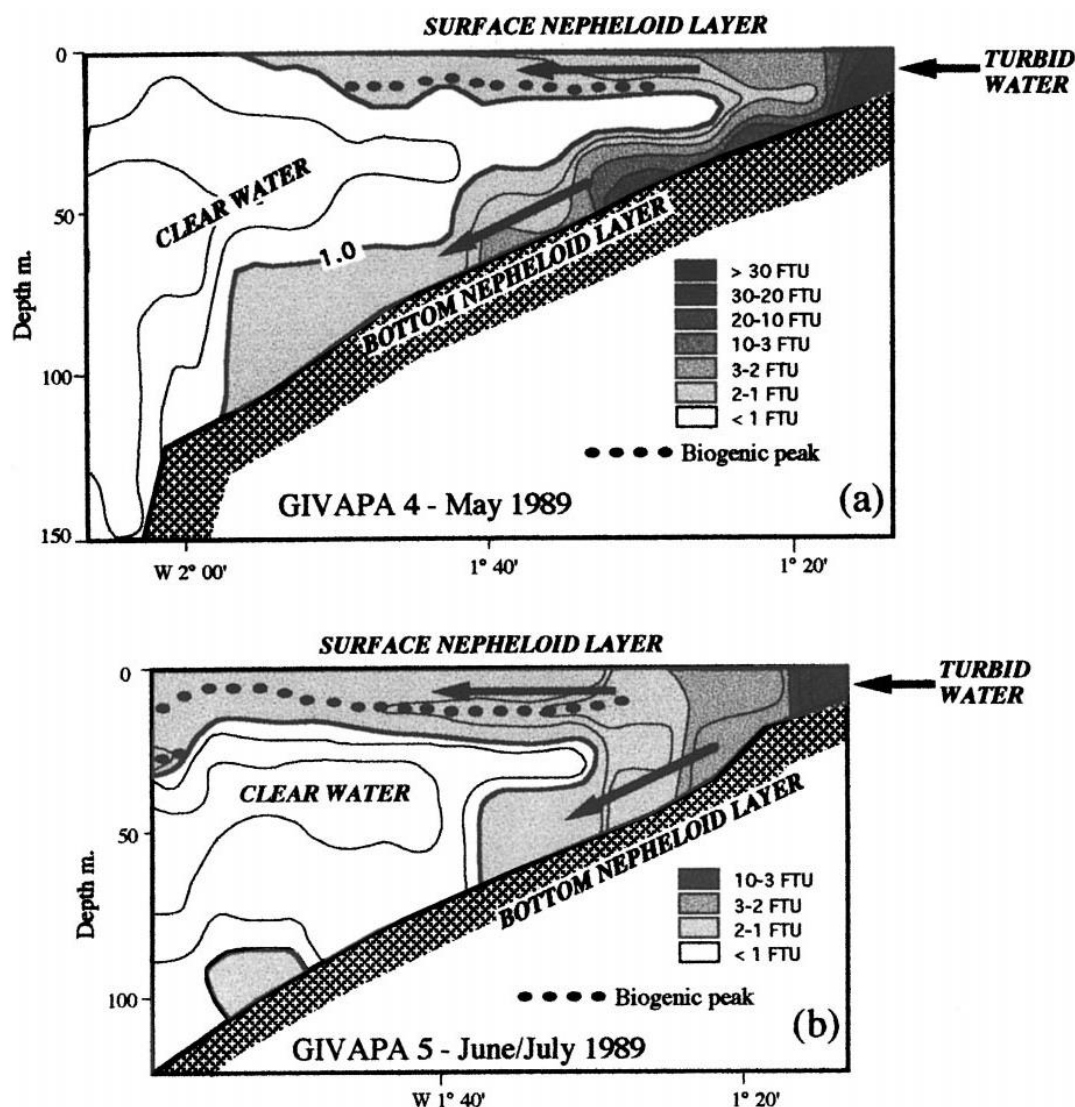
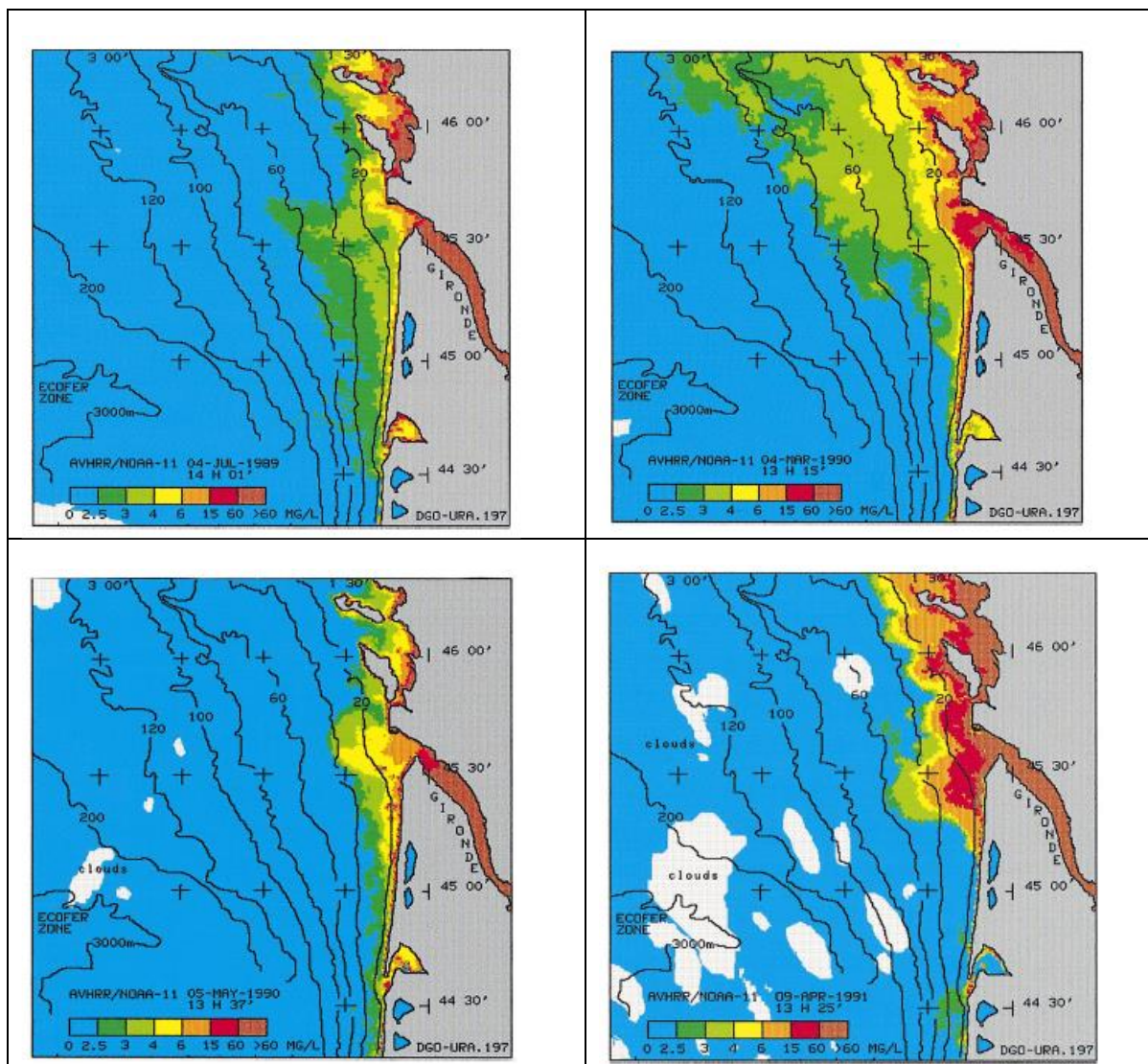


Figure 27. Profils hydrologiques simplifiés montrant la répartition verticale de la turbidité au large de la Gironde d'après [5]

2.4.2. Analyse AVHRR combinée avec la campagne ECOFER

La calibration d'images satellites AVHRR par les mesures de campagnes ECOFER fournit également quelques cartographies des concentrations de MES en surface sur le plateau nord aquitain pour différentes saisons et différentes conditions hydrologiques [11] (Figure 28). La résolution des images est de 1 km, ce qui permet de bien restituer les variations spatiales à l'échelle de la zone d'étude. Les valeurs de MES sont extraites, et mises en parallèle avec les conditions hydrodynamiques aux différentes date dans le Tableau 5. Les résultats mettent en évidence des concentrations inférieures à 3 mg/l sur cette zone.



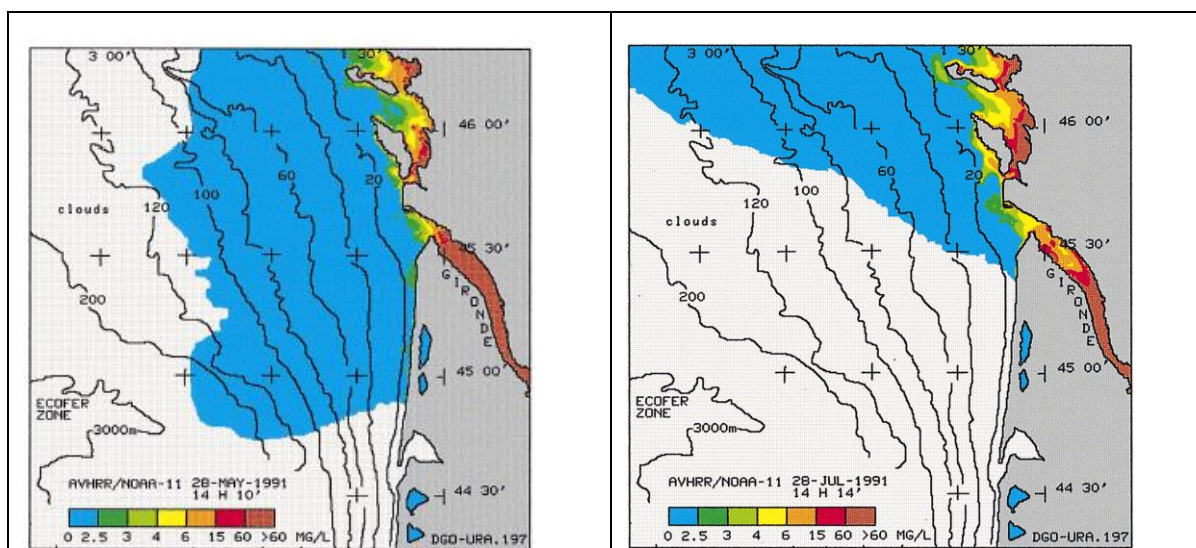


Figure 28. Concentration en MES des eaux de surface à partir des images AVHRR NOAA en 1991, d'après [11].

Tableau 5 – Synthèse des valeurs de MES à proximité de la route par AVHRR

DATE	Conditions de marée	Débit fluvial	MES au niveau de l'interconnexion, au droit d'Arcachon
4 juillet 1989	mi-flot C90	>200 m ³ /s	<3 mg/l
4 mars 1990	Marée basse, C70	15 jours après une petite crue	<2,5 mg/l
5 mai 1990	Pleine mer,	500 m ³ /s, pas de crue dans les deux mois précédents	<2,5 mg/l
9 avril 1991	Pleine mer, C55	800-900 m ³ /s	<2,5 mg/l
28 mai 1991	Fin du flot, C65	700-800 m ³ /s	-
20 juillet 1991	mi-flot, C95	<300 m ³ /s durant le mois précédent	-

2.4.3. Atlas de la turbidité dans le golfe de Gascogne, données MODIS

La répartition spatio-temporelle de la turbidité extraite des données du satellite MODIS est présentée sur les Figure 29 et Figure 30 (extrait de l'atlas établis par Gohin [1]). Il s'agit de la moyenne mensuelle interannuelle des années 2003 à 2009. Les cartographies mettent en évidence un gradient de turbidité depuis la côte vers le large. Les maximas de turbidité sont visiblement atteints à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde mais aussi au niveau des pertuis charentais (estuaire de la Charente, de la Seudre, de la Sèvre Niortaise). Dans ces zones, les gammes de valeurs des moyennes saisonnières dépassent les 10 NTU sur une large bande côtière. Les pics de turbidité sur la zone nord de l'interconnexion sont atteints en période hivernale (décembre à mars) au moment notamment des crues. La zone côtière espagnole présente

également un cycle saisonnier, avec notamment une turbidité plus élevée de novembre à mars. Cependant, la turbidité côtière est plus faible que la zone côtière française.

A noter également la présence de niveau de turbidité non négligeable toujours en période hivernale aux abords de l'Adour et du bassin d'Arcachon avec des valeurs qui atteignent 6 à 7 NTU.

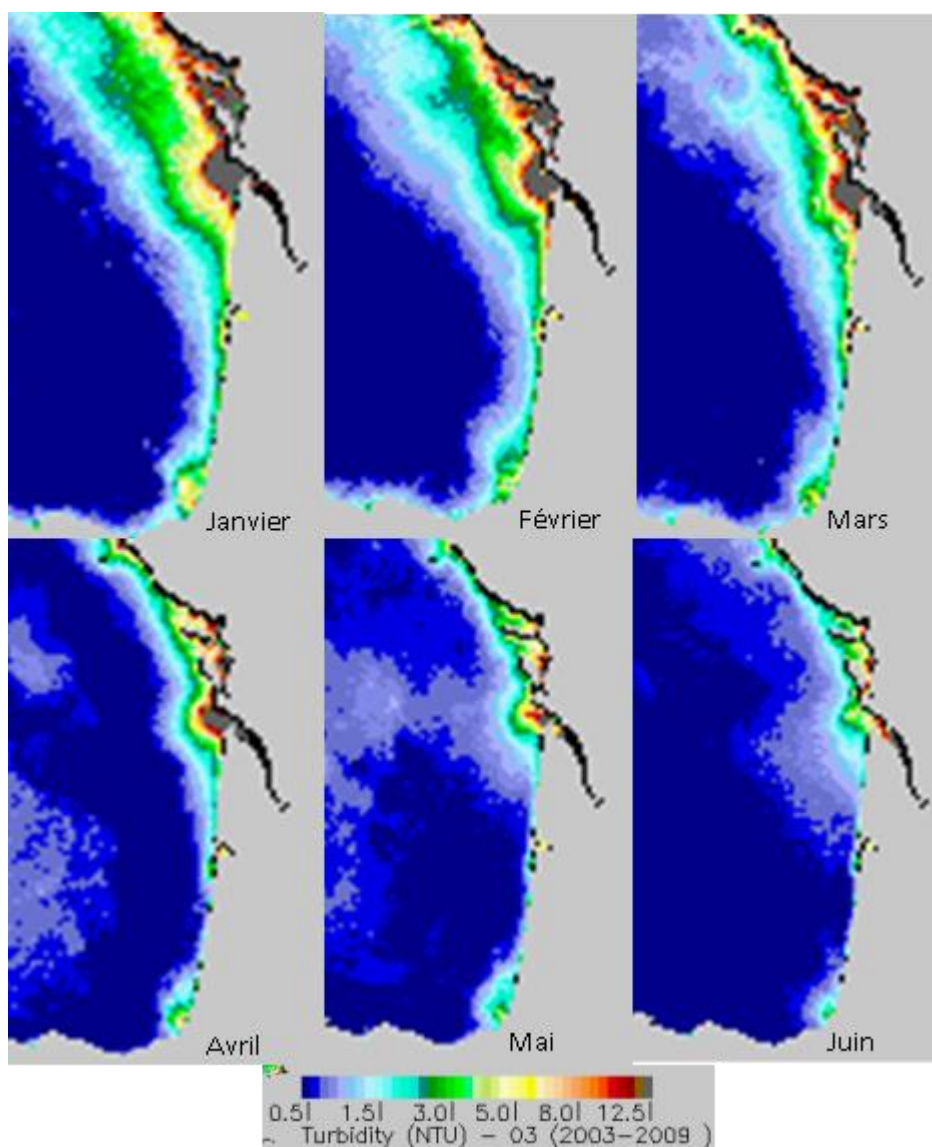


Figure 29. Extrait de (Gohin, 2011a), turbidité moyenne de surface de janvier à juin

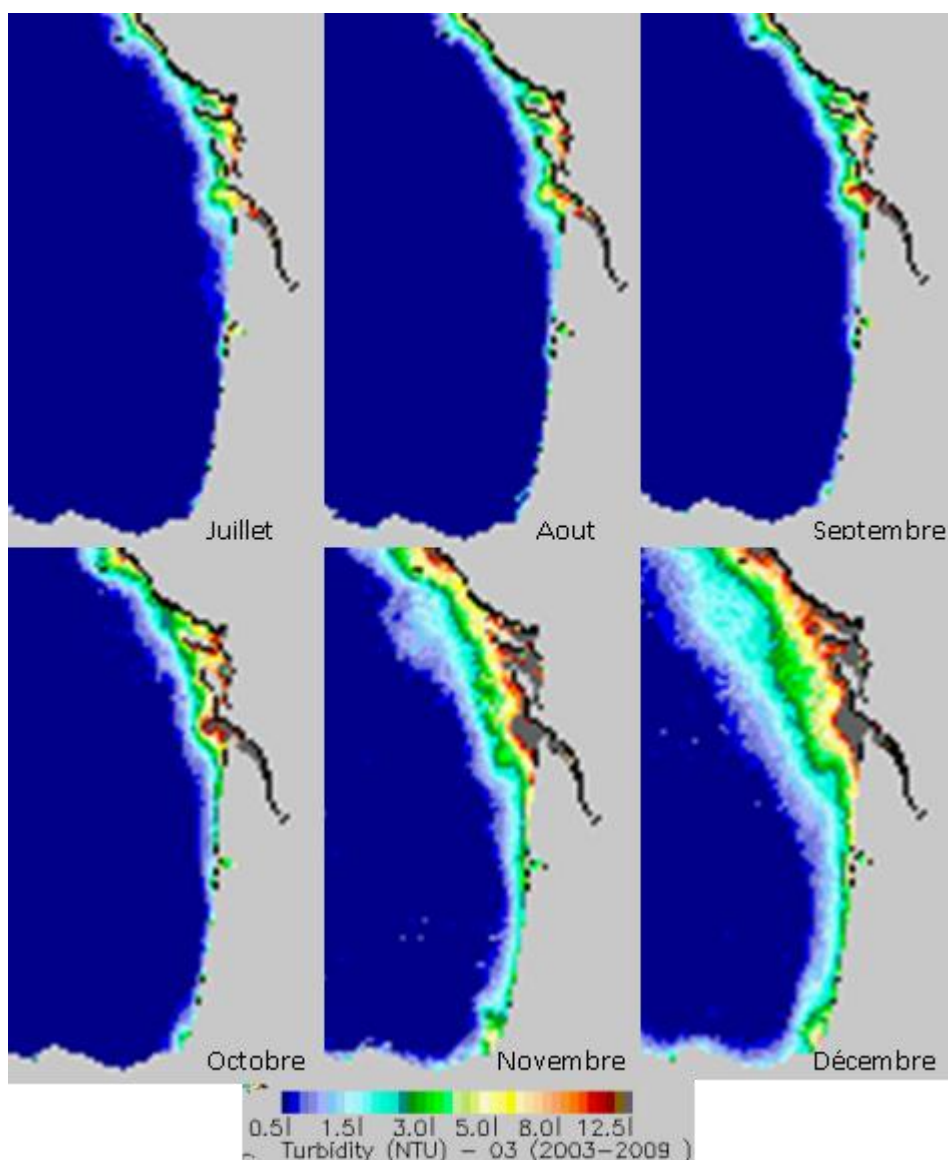


Figure 30. Extrait de (Gohin, 2011), turbidité moyenne de surface de juillet à décembre

2.4.4. CAMPAGNE PELGAS

Des mesures de turbidité en zone côtière sont disponibles via les campagnes de mesures PELGAS réalisées dans le golfe de Gascogne. Le niveau de turbidité dans les eaux de surface est décrit par [10] lors de la campagne PELGAS de 2016. Les mesures ont été comparées aux mesures satellites sur la même période (Figure 31). Les mesures in-situ montrent que la turbidité reste inférieure à 0.5 NTU, sauf à proximité immédiate des côtes, et dans l'embouchure des principales rivières, avec des mesures de NTU atteignant un maximum de 5.79 NTU dans l'embouchure de la Gironde. La comparaison entre les mesures in-situ et la turbidité satellitale montre un écart significatif. Par exemple, sur la radiale la plus au Sud, les mesures in situ sont de l'ordre de 0.2 à 0.25 NTU, alors que la turbidité satellite est de 0.35 à 0.5 NTU. Cependant la palette de couleur continue ne permet pas de distinguer clairement les valeurs.

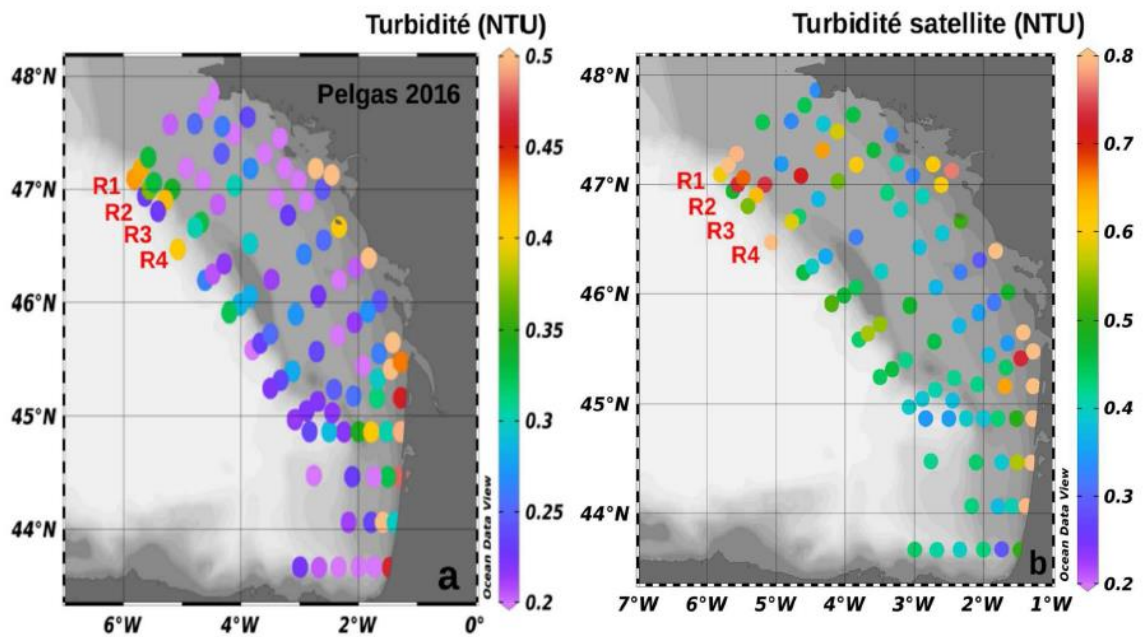


Figure 31. Turbidité de surface : Comparaison entre les résultats de la campagne PELGAS du 1^{er} au 27 mai 2016 (a) et les résultats de mesures satellites (b).

3. ETAPE 2 : DEVENIR DES PANACHES TURBIDES EN PHASE TRAVAUX

Il s'agit dans cette étape de quantifier le devenir du panache turbide, qui correspond à la partie fine des sédiments en place remis en suspension, lors des travaux en fonction du mode opératoire (ensouillage classique, pre-sweeping, pose d'enrochements). Cette analyse se base sur l'utilisation du modèle de courantologie développé lors de l'étude météo-océanique réalisée pour le compte d'INELFE sur le même site d'étude (Réf. [13]). Le modèle a été mis à jour pour prendre en compte la présence d'un sédiment cohésif (les matériaux fins remis en suspension lors de travaux) et pour intégrer le forçage de la houle à ses limites, en complément des autres forçages pris à l'identique de l'étude précédente (marée, forçage atmosphérique).

3.1. RAPPEL SUR LE MILIEU AMBIANT

Les valeurs de MES aux points A, B, D et E (Figure 23) analysées lors de l'étape 1 ont été retenues pour l'analyse des résultats. Seuls les mois de juin à septembre correspondant à la période de travaux sont ici pris en compte pour les années 2013 à 2017 (Tableau 6 et Figure 32 à Figure 35).

Tableau 6 – Valeurs des MES mesurées par satellite aux points A, B, D et E

	Façade française		Façade espagnole	
Points	B	D	A	E
moyenne été (mg/l)	1.52	0.87	0.65	0.60
centile 99 été (mg/l)	16.98	2.05	1.98	1.23
centile 90 été (mg/l)	2.15	1.26	0.86	0.81
centile 75 été (mg/l)	1.09	1.03	0.72	0.65
centile 25 été (mg/l)	0.57	0.62	0.48	0.48

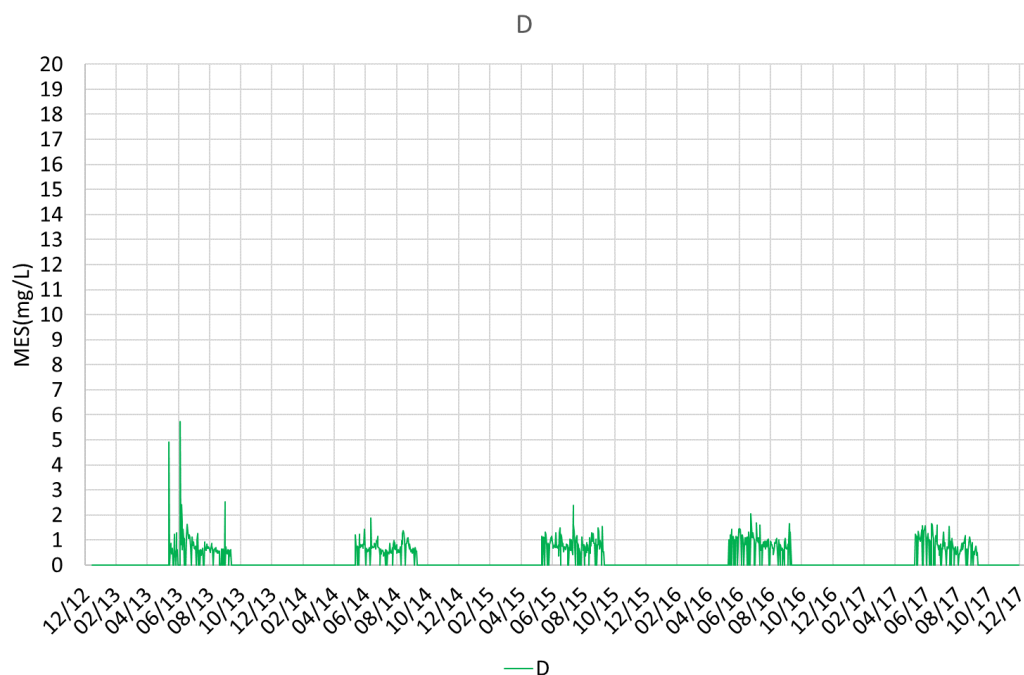


Figure 32. Série temporelle de MES au point D.

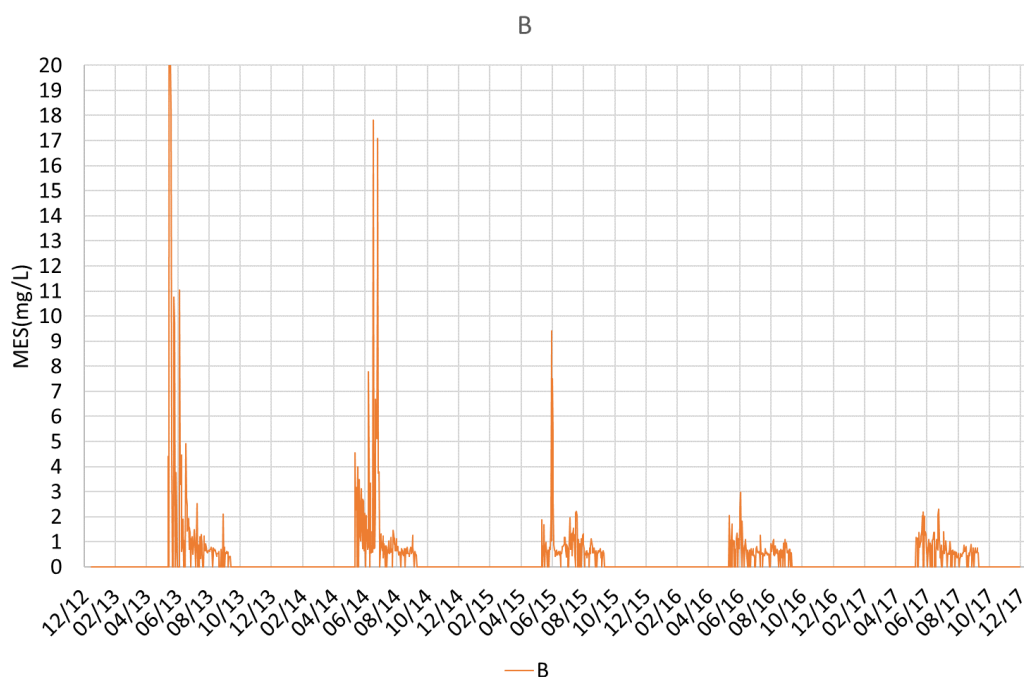
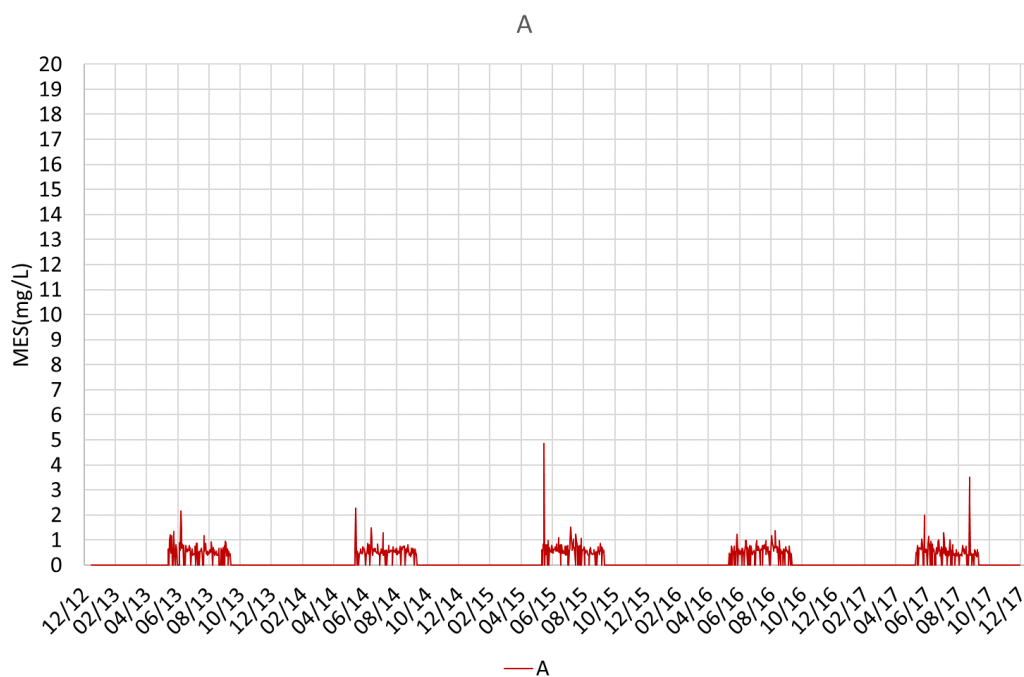
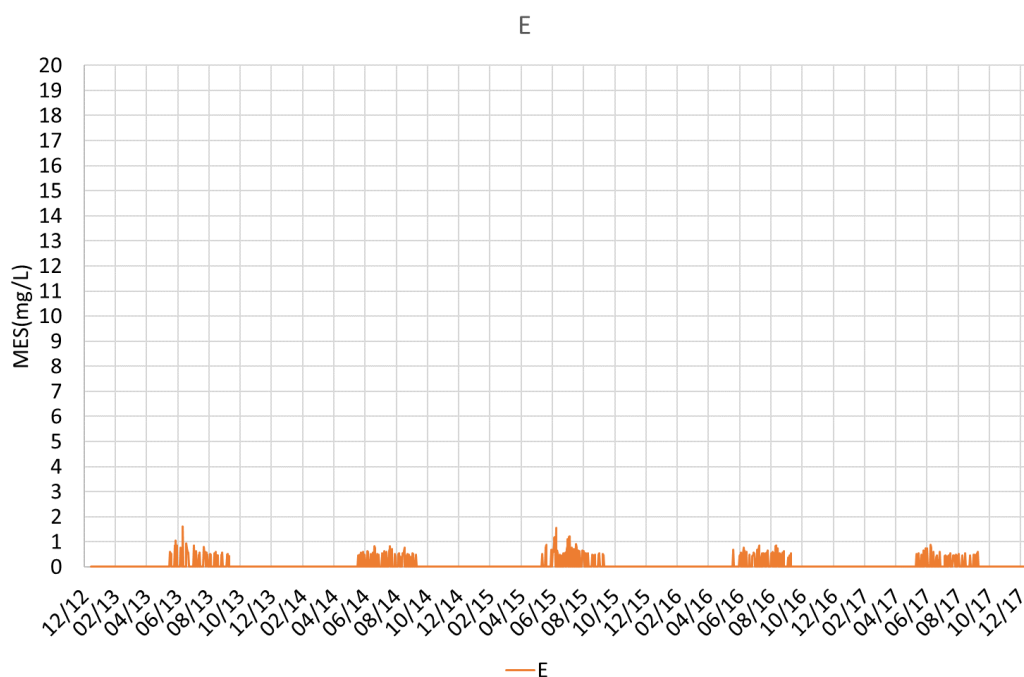


Figure 33. Série temporelle de MES au point B.

**Figure 34. Série temporelle de MES au point A.****Figure 35. Série temporelle de MES au point E.**

3.2. ANALYSE DU DEVENIR DU PANACHE TURBIDE

Les paramètres d'entrée et les hypothèses de travail ont été présentés dans les chapitres 1.3 et 1.4. Il est rappelé qu'une unique simulation a été réalisée ; elle permet de couvrir et de représenter le devenir du panache turbide pour des travaux, d'une durée de 59 jours, réalisés en parallèle sur deux câbles (un par liaison électrique), entre le PK 12 côté France et l'atterrage espagnol (hors canyon). Elle inclut également 12 jours post-travaux pour continuer à suivre l'évolution du panache turbide notamment sur la partie espagnole où les travaux se déroulent en dernier.

Les volumes de sédiments mis en jeu en fonction des travaux sont rappelés ci-après (Voir §1.3) :

- Pour les travaux de pre-sweeping, 2400 m³/h (dragage aspiratrice) ;
- Pour les travaux d'ensouillage classique, 210 m³/h (charrue) ;
- Pour la pose d'enrochements, environ 666 m³/h.

Les fines remises en suspension au cours des travaux sont directement rejetées dans le modèle qui est initialisé avec de l'eau claire. Les résultats obtenus via la modélisation représentent donc directement l'impact par rapport au milieu ambiant.

Les concentrations maximales en MES modélisées et **moyennées sur la hauteur d'eau** sont présentées sur la **Figure 53**. Les concentrations maximales restent en dessous de 5 mg/l, sauf très localement au droit des travaux avec un maximum de 35 mg/l ponctuellement le long de la route. L'impact le plus important se situe au Nord et en face du bassin d'Arcachon. Ce constat est lié à une hauteur d'eau plus faible et des houles plus fortes qu'au Sud. Dans cette zone, la largeur maximale du panache turbide pour une concentration seuil de 5 mg/l est d'environ 1 km de part et d'autre autour des liaisons au moment du passage des engins de travaux. Sur le reste du tracé, le panache turbide reste localisé le long des liaisons électriques.

Sur le secteur France, aucun impact n'apparaît à l'approche du littoral sur les tronçons de pose parallèles à la cote (distance à la côte de l'ordre de 10 km).

Sur le secteur Espagne, aucun impact n'apparaît à l'approche du littoral à l'exception d'une zone localisée à proximité de l'atterrage espagnol. Il est à noter que la fin des travaux de pose modélisés sur ce secteur se situe à 700-800 mètres de l'atterrage par des profondeurs comprises entre 10 et 15 m.

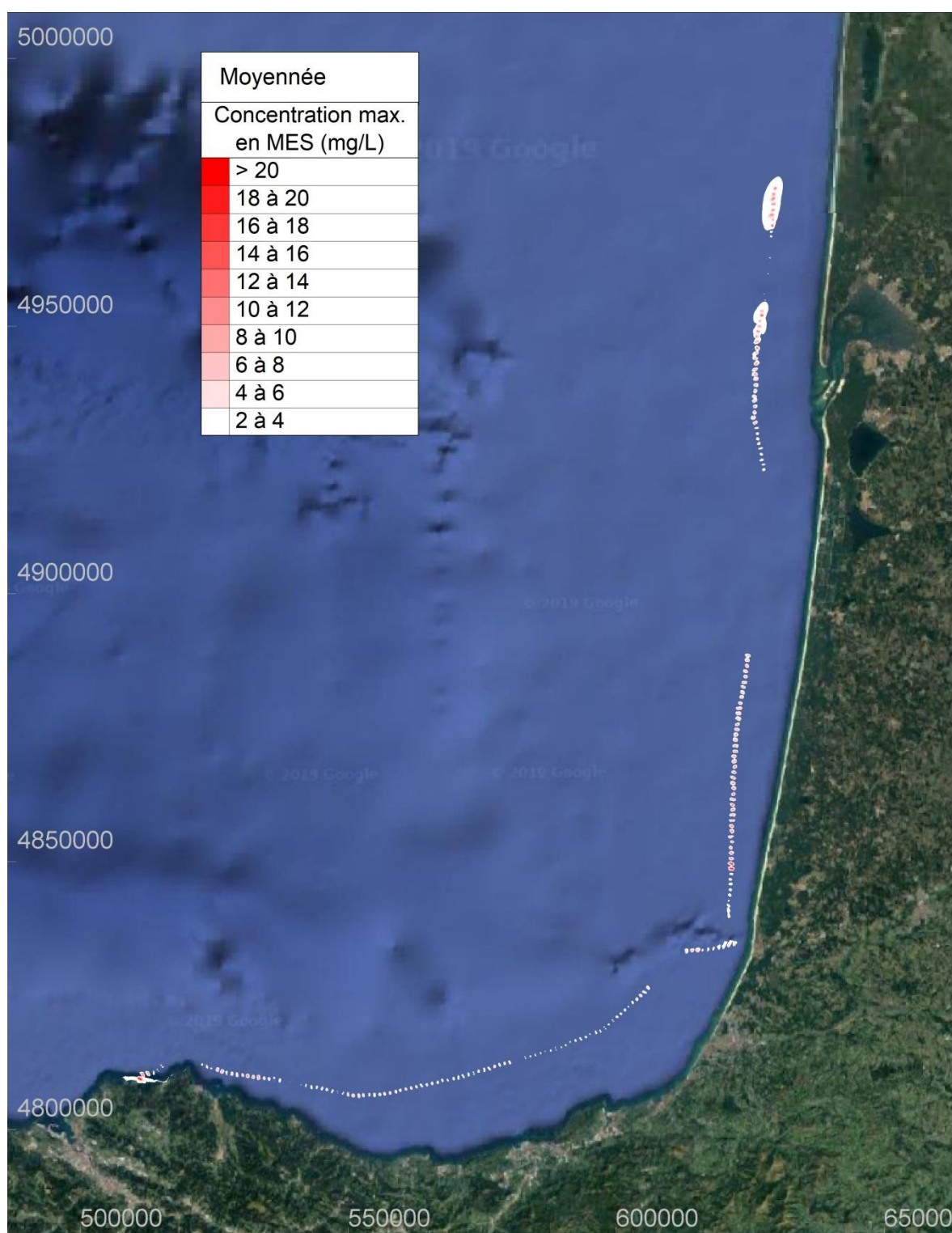


Figure 36. Concentration maximale en MES, moyennée sur la hauteur d'eau, au cours de des travaux

Des séries temporelles de MES ont été réalisées en différents points localisés le long du tracé, présentés sur la [Figure 37](#) et pour lesquels le type de travaux est rappelé dans le [Tableau 7](#). Ces séries sont présentées sur les [Figure 38](#) à [Figure 50](#) pour ce qui concerne la partie française des câbles. Les MES moyennées sur la hauteur d'eau et à la proximité des fonds (1 m au-dessus) sont présentées. Sont aussi indiqués pour information, les hauteurs de houle représentatives des conditions le long du tracé, pendant la période de simulation.

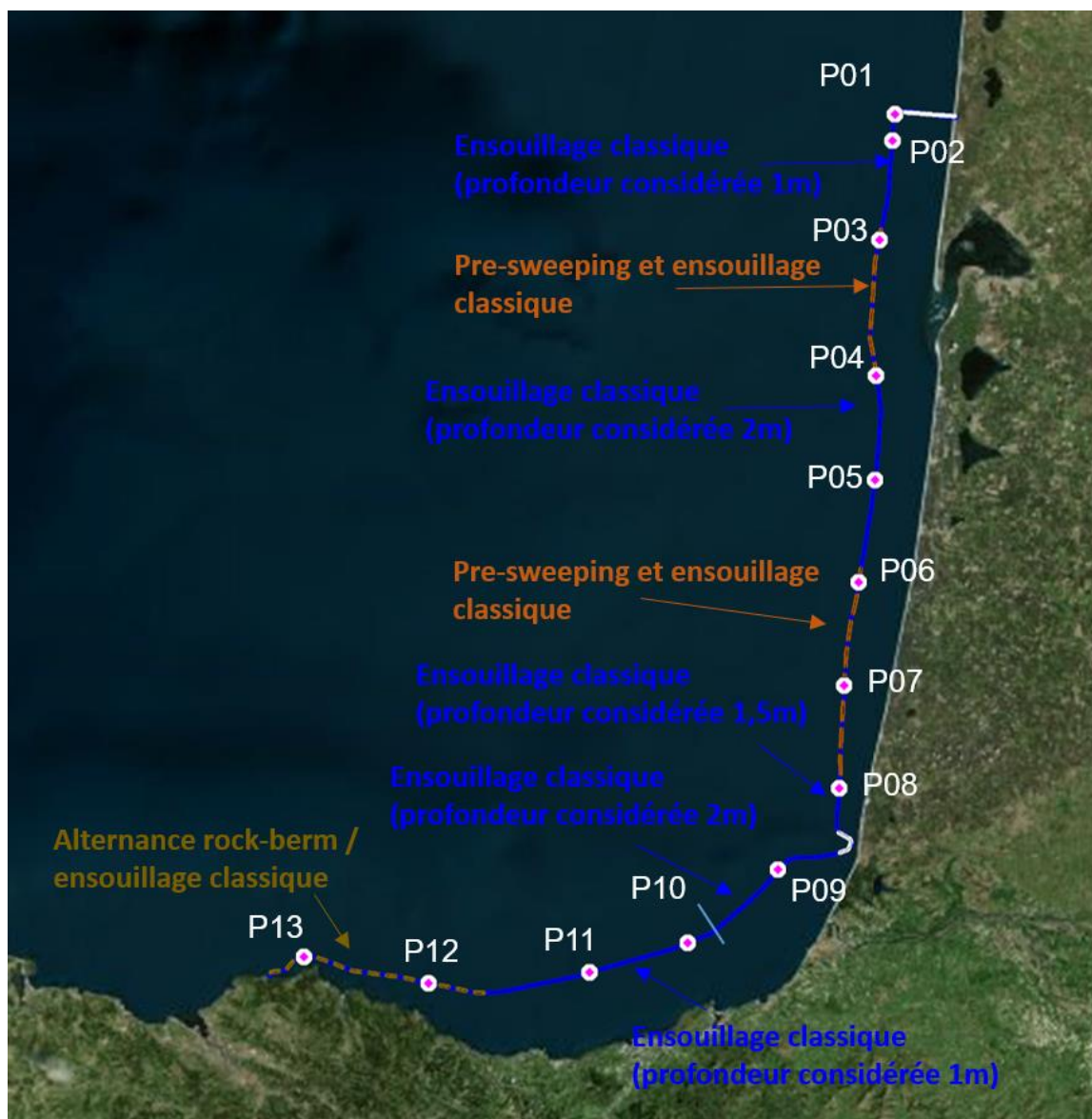


Figure 37. Localisation des points exploités pour les panaches turbides - France

Tableau 7 – Mode opératoire et profondeur moyenne pour les points exploités pour les panaches turbides

Point	Coordonnées (WGSS84 UTM30N)	Type de travaux	Profondeur moyenne (m MSL)
P01	629732.7 / 4975820.0	Ensouillage classique 1 m	32,4
P02	629363.9 / 4970801.0	Ensouillage classique 1 m	32,7
P03	627303.2 / 4951969.0	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	35,2
P04	627133.6 / 4926110.5	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	45,4
P05	627338.0 / 4906202.5	Ensouillage classique 2 m	41,3
P06	624500.9 / 4886455.5	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	44,4
P07	622123.7 / 4866632.5	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	45,1
P08	621499.1 / 4846704.0	Ensouillage classique 1,5 m	41,2
P09	609880.1 / 4830819.5	Ensouillage classique 2 m	101,6
P10	592513.3 / 4816365.6	Ensouillage classique 1 m	133,0
P11	573441.8 / 4810382.9	Ensouillage classique 1 m	136,6
P12	542099.4 / 4808010.3	Rock berm	86,1
P13	517747.8 / 4813027.3	Rock berm	71,5

Les pics de MES les plus forts correspondent à la période des travaux (passage des engins de travaux et création d'une tranchée par pre-sweeping et/ou ensouillage classique). Ensuite, les fines sont diluées plus ou moins rapidement en fonction de la localisation de la tranchée et des conditions hydrodynamiques. L'échelle maximale de concentration en MES a été fixée à 20 mg/l de façon à pouvoir mieux quantifier les remises en suspension près du fond au cours du temps et pour pouvoir appréhender la concentration moyennée sur la hauteur d'eau. Cette valeur de 20 mg/l peut être dépassée au moment de la réalisation des travaux mais sur un temps très court (6h au maximum au point P03). Durant le reste de la simulation, des pics de MES apparaissent plus ou moins régulièrement selon la localisation ; ces pics correspondent à la remise en suspension des MES induite par la houle et les courants et sont surtout présents à proximité du fond (voir aussi [Figure 36](#)) et au cours du premier mois qui suit les travaux.

Selon le mode opératoire (pre-sweeping + ensouillage, ensouillage classique ou « rock berm »), les volumes mis en jeu ne sont pas les mêmes. Il apparaît clairement que les travaux de pre-sweeping suivi d'ensouillage classique génèrent les plus fortes concentrations de MES au cours de la simulation (Point P03, P04, P06, P07). En cas d'ensouillage classique seul, les volumes mis en jeu sont moins importants, la concentration en MES est moindre au moment des travaux, le panache est rapidement dilué notamment par grande profondeur (Point P09). Pour les points les moins profonds (Point P01 et P02), il faut attendre environ 20 jours pour que la concentration à 1 m au-dessus du fond soit négligeable de façon pérenne.

Cependant, quel que soit le mode opératoire, les concentrations moyennées sur la hauteur restent relativement basses avec des valeurs bien inférieures à 5 mg/l, à l'exception des pics au moment des travaux. Les concentrations à 1 m au-dessus du fond sont globalement de l'ordre de 7,5 mg/l selon les conditions de houle. Elles peuvent excéder 10 mg/l ponctuellement, sur la partie nord du tracé au droit de l'atterrage France et du Cap Ferret (Points P01, P02 et P03) qui correspond à la zone la moins profonde (inférieure à 35 m MSL).

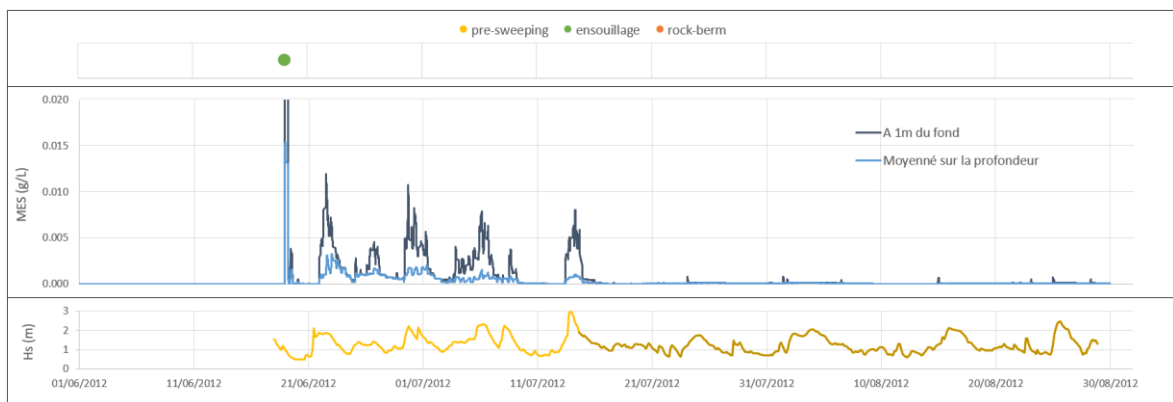


Figure 38. Séries temporelles des MES au point P01
Ensouillage classique 1 m.

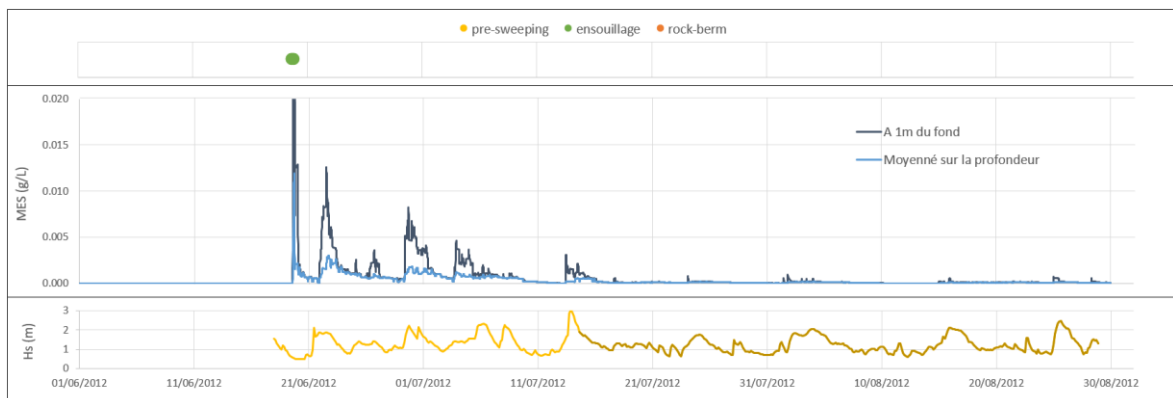


Figure 39. Séries temporelles des MES au point P02
Ensouillage classique 1 m

Pour ces deux premiers points (P01 et P02), il est observé que les travaux d'ensouillage classique mobilisent peu les sédiments, par rapport aux autres travaux, et que les sites sont dispersifs. En effet, après moins d'un mois, les concentrations sont très faibles et les sédiments mis en suspension lors des travaux ne sont quasiment plus sur les sites mais dispersés plus au loin.

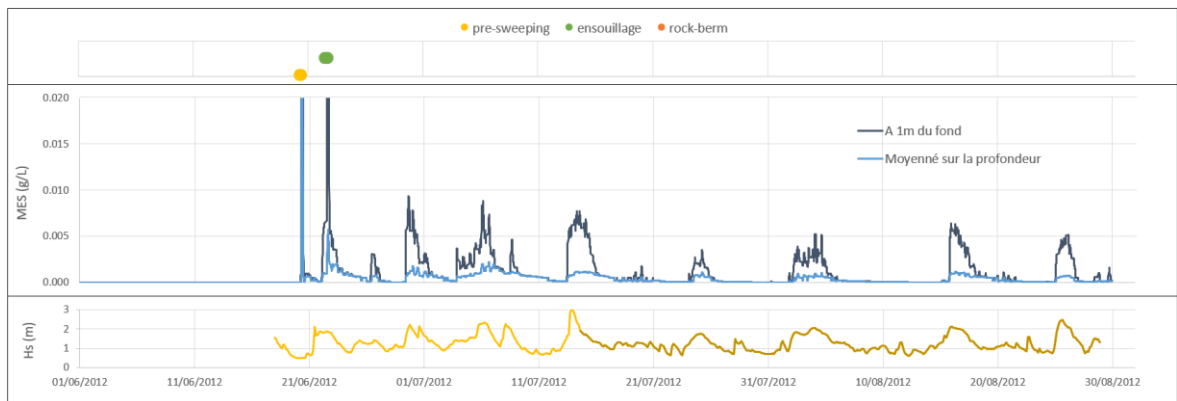


Figure 40. Séries temporelles des MES au point P03
Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m

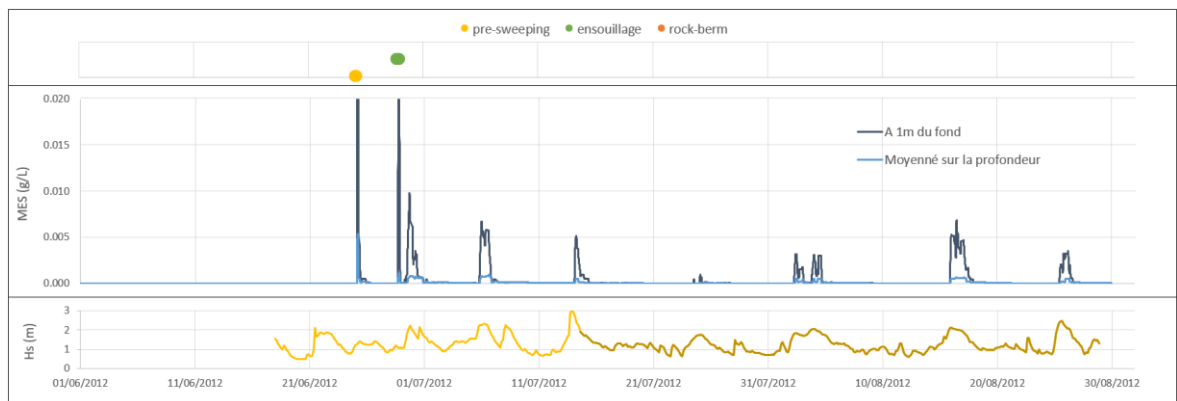


Figure 41. Séries temporelles des MES au point P04
Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m

On observe au niveau des points P03 et P04 que les sédiments mis en suspension lors des travaux peuvent être remobilisés près du fond après plus de 2 mois même si la concentration moyenne en MES reste très faible.

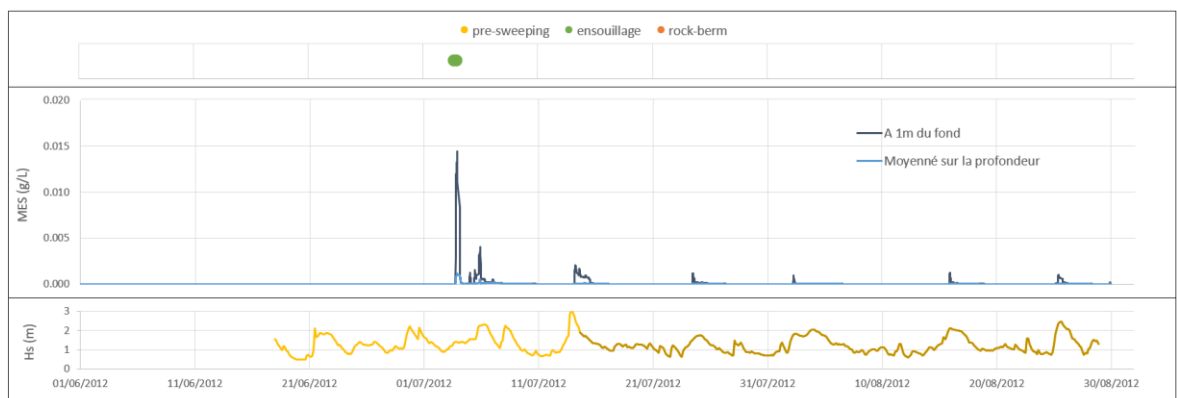


Figure 42. Séries temporelles des MES au point P05
Ensouillage classique 2 m

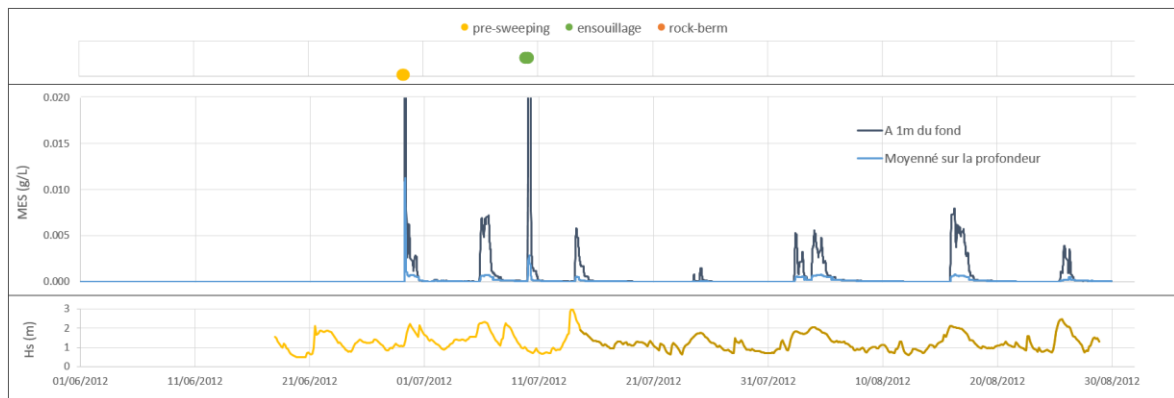


Figure 43. Séries temporelles des MES au point P06
Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m

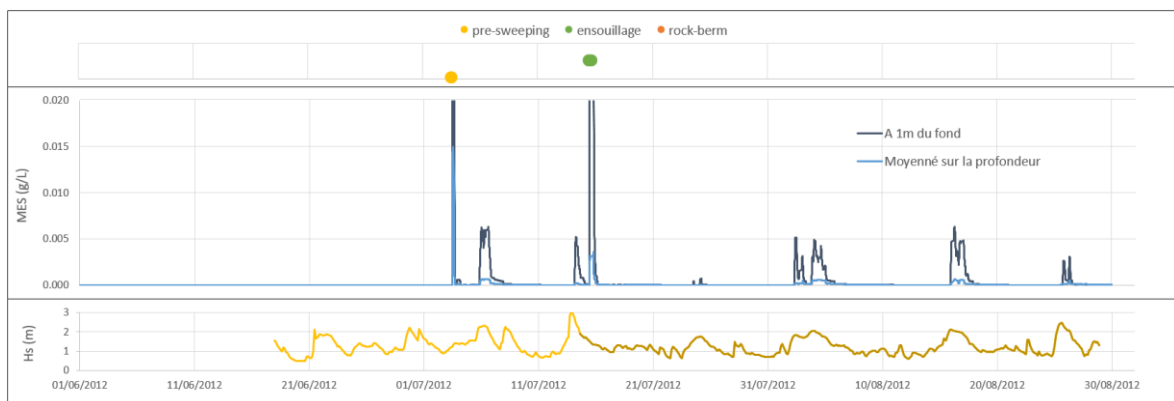


Figure 44. Séries temporelles des MES au point P07
Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m

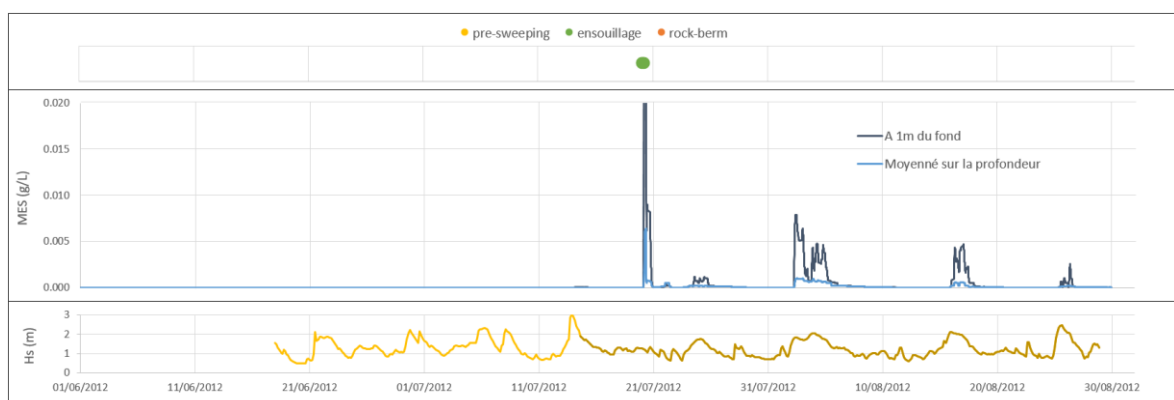


Figure 45. Séries temporelles des MES au point P08
Ensouillage classique 1,5 m

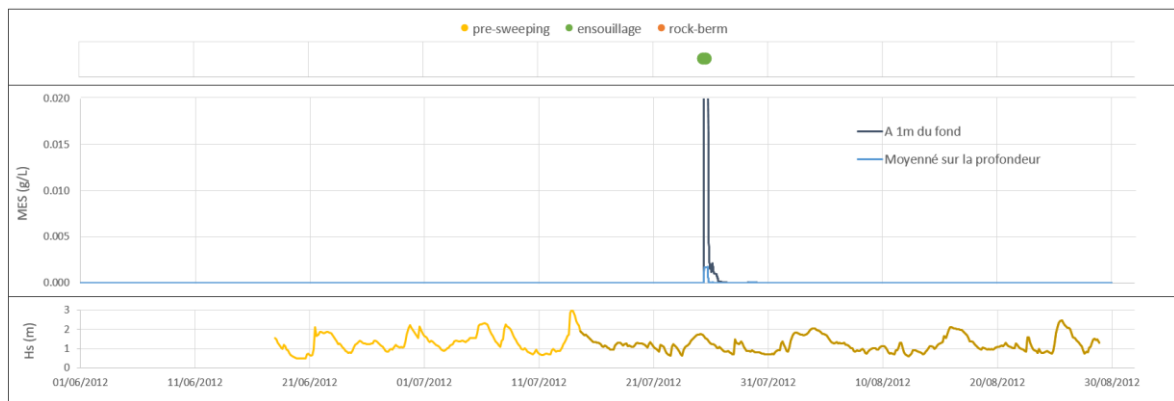


Figure 46. Séries temporelles des MES au point P09
Ensouillage classique 2 m

Le point P09 est par une profondeur moyenne supérieure à 100 m et les MES mobilisées lors des travaux se redéposent rapidement et ne sont plus remobilisées par la suite.

Les points suivants de P10 à P13 se trouvent sur la route dans la partie des eaux territoriales espagnoles.

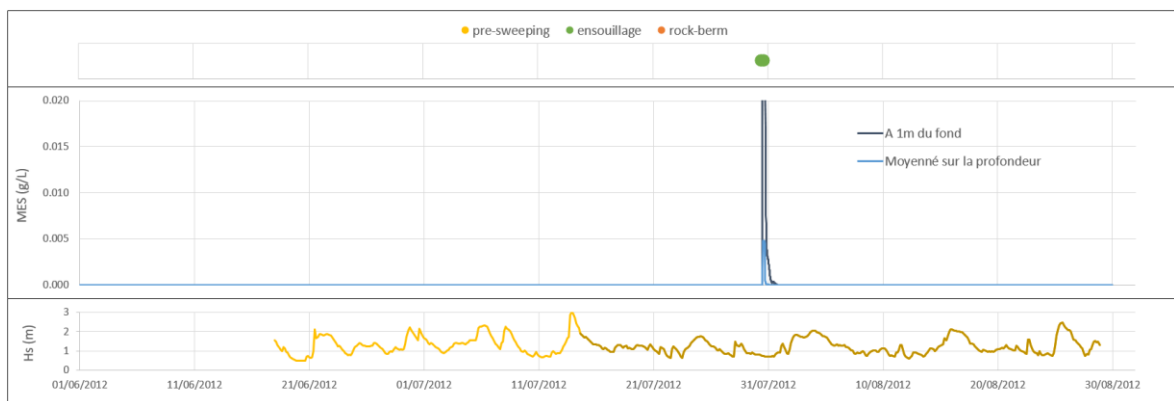


Figure 47. Séries temporelles des MES au point P10
Ensouillage classique 1 m

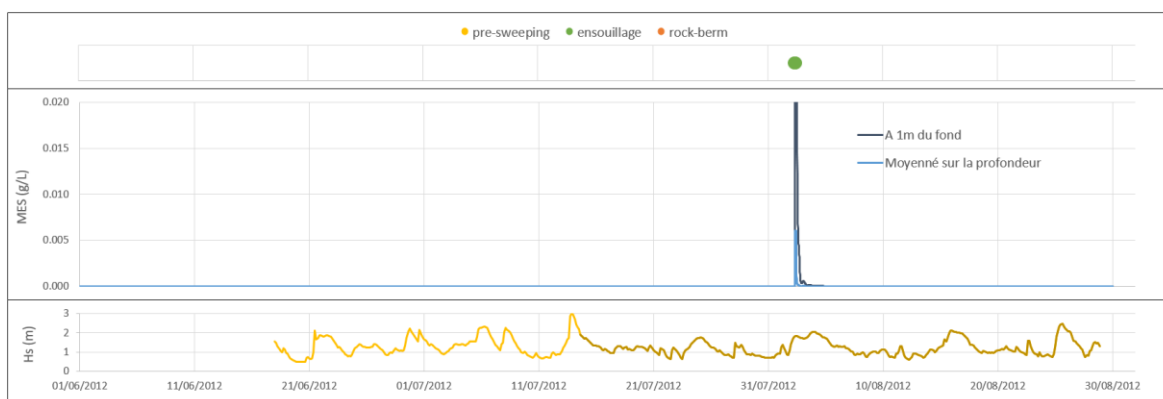


Figure 48. Séries temporelles des MES au point P11
Ensouillage classique 1 m

Sur cette première partie de la route espagnole (points P10 et P11), l'impact sur la concentration en MES est visible uniquement au moment des travaux. Les matériaux ne sont pas repris par la suite, essentiellement du fait des profondeurs d'eau importantes sur cette portion de tracé.

La pose des bermes induit une remise en suspension des matériaux du sol en place. La concentration en MES la plus importante correspond à l'instant des travaux. Les concentrations très faibles visibles avant les travaux correspondent à la mobilisation des sédiments lors des travaux d'ensouillage aux PK voisins quelques jours avant. En effet, il est rappelé que cette 2ème portion de route subit une alternance d'ensouillage et de pose de berme dont le planning d'intervention est légèrement décalé dans le temps (voir Figure 4). Les résultats obtenus au point P12 sont similaires à ceux au point P13.

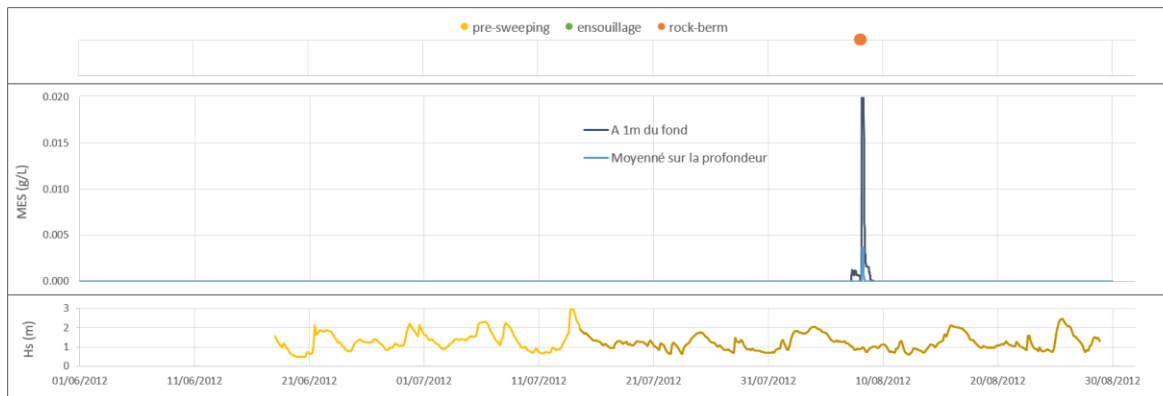


Figure 49. Séries temporelles des MES au point P12
Rock berm

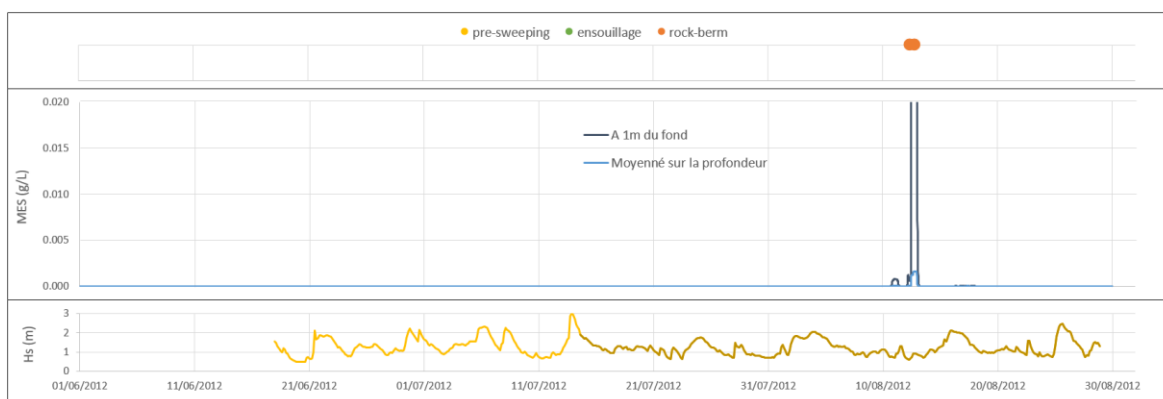


Figure 50. Séries temporelles des MES au point P13
Rock berm

Les séries temporelles présentées sur les Figure 38 à Figure 50 ont aussi été exploitées pour déterminer le temps pendant lequel les concentrations moyennes en MES dépassent les seuils de concentrations de 5 mg/l et 10 mg/l aux points P01 à P09. Cette analyse est résumée dans le Tableau 8.

Des concentrations supérieures à 10 mg/l ne sont en général atteintes qu'au moment des travaux, ce qui correspond à moins d'une demi-journée sur toute la durée des travaux. Des concentrations supérieures à 5 mg/l sont atteintes de façon cyclique avec la remise en suspension des sédiments sous les effets de la houle aux points P01 à P08. Au point P03, cela se traduit par un temps de dépassement de 4,90 jours sur la durée de la simulation (59 jours de travaux + 12 jours post-travaux). La pose des berms (points P12 et P13) mobilise les sédiments du sol pendant les travaux et sur une grosse demi-journée au maximum.

Tableau 8 – Temps de dépassement à 1m du fond pour différents seuils (en heure et en jour)

Point	MES \geq 5 mg/l	MES \geq 10 mg/l
P01	68,25 heures 2,84 jours	7,75 heures 0,32 jours
P02	49,75 heures 2,07 jours	10,00 heures 0,42 jours
P03	117,50 heures 4,90 jours	10,50 heures 0,44 jours
P04	38,00 heures 1,58 jours	9,50 heures 0,40 jours
P05	6,25 heures 0,26 jours	5,00 heures 0,21 jours
P06	63,25 heures 2,64 jours	12,25 heures 0,51 jours
P07	35,00 heures 1,46 jours	12,25 heures 0,51 jours
P08	29,75 heures 1,24 jours	5,75 heures 0,24 jours
P09	8,25 heures 0,34 jours	7,00 heures 0,29 jours
P10	7,25 heures 0,30 jours	6,00 heures 0,25 jours
P11	7,75 heures 0,32 jours	5,75 heures 0,24 jours
P12	6,50 heures 0,27 jours	5,00 heures 0,21 jours
P13	13,00 heures 0,54 jours	12,25 heures 0,51 jours

Les concentrations maximales en MES modélisées **en surface** sont présentées sur la [Figure 51](#). En dehors de la zone située au nord où ces concentrations sont négligeables, les concentrations de surface maximales sont nulles sur l'ensemble des routes des eaux territoriales françaises ou espagnoles.

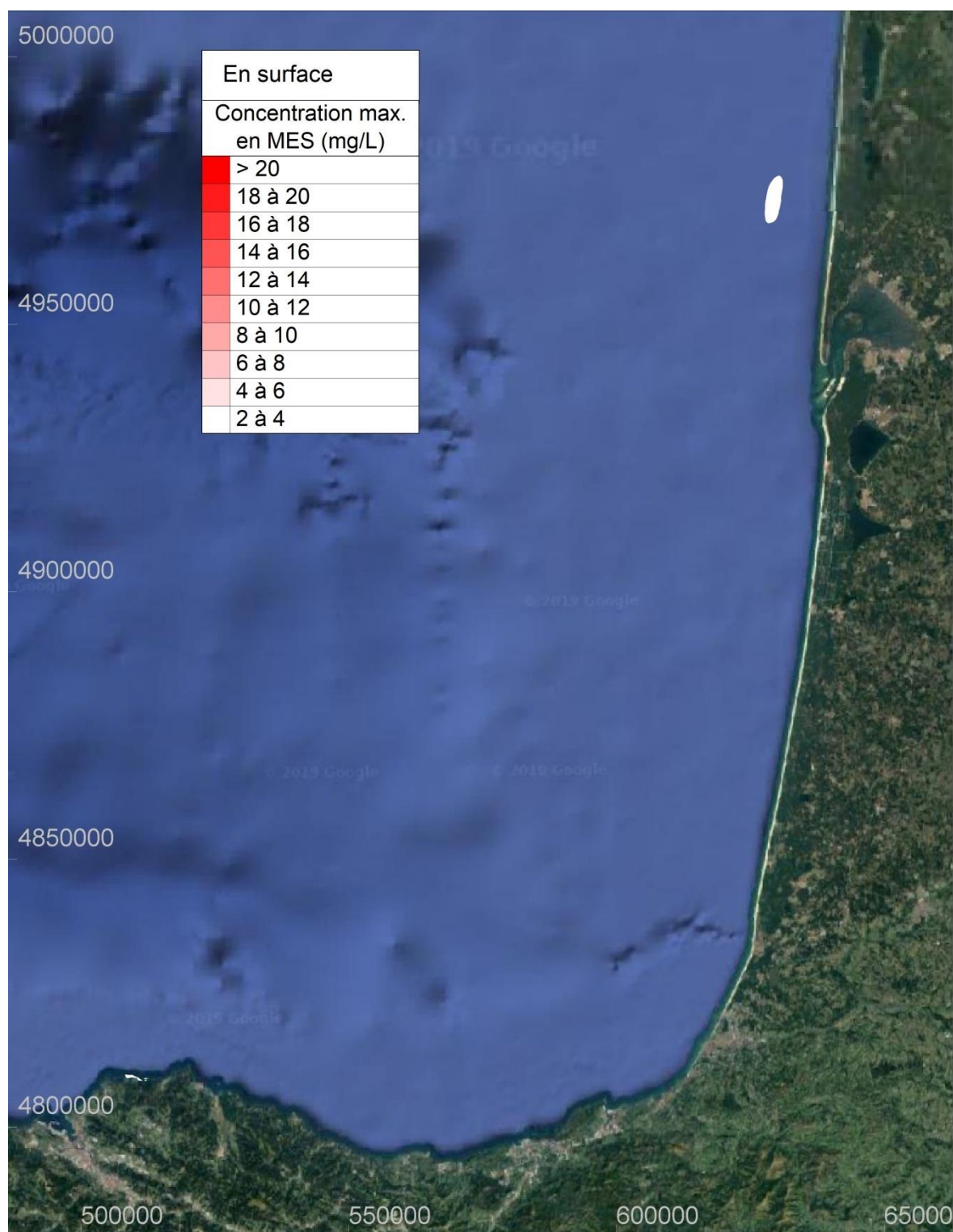


Figure 51. Concentration maximale en MES, en surface, au cours des travaux

A Arcachon, il est rappelé qu'un cycle saisonnier de turbidité « naturelle » apparaît, avec des pics supérieurs à 20 mg/l en hiver, de décembre à février. Durant les autres saisons, dont l'été, les MES varient entre 5 mg/l et 10 mg/l (§2.2). Les points P03 et P04 les plus proches d'Arcachon montrent des concentrations de MES à proximité du fond du même ordre de grandeur ponctuellement après les travaux.

En revanche au niveau du point D situé le long du tracé au large d'Arcachon, la concentration moyenne journalière en MES en été est inférieure à 1 mg/l en surface avec des pics pouvant atteindre les 2 mg/l voir les 5 mg/l certaines années (Figure 32). La Figure 52 présente une comparaison entre la concentration en MES modélisée en surface (couleur marron) et moyennée (couleur orange) et la concentration MES issue de l'analyse de l'état naturel du §2.3 (couleur grisée). Il en ressort qu'en dehors du pic de concentration généré au moment des travaux, la MES est en deçà de la MES ambiante. En surface, la MES générée par les travaux n'a pas d'impact sur le milieu ambiant.

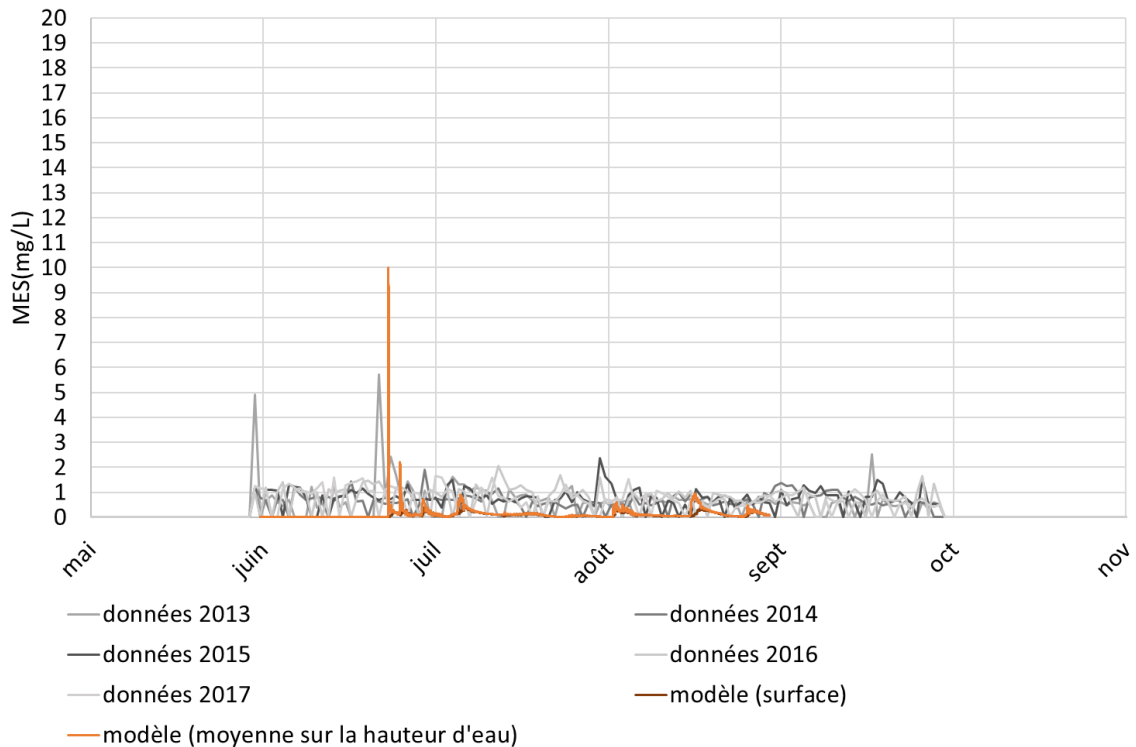


Figure 52. Séries temporelles des MES au point D. Observations et modélisation.

La concentration en MES au point P09 au sud du canyon montre un impact négligeable des travaux. Le pic de MES généré par les travaux d'ensouillage dans la zone est rapidement dilué du fait de la profondeur comme le montre l'évolution temporelle (Figure 46). Pour rappel, la concentration moyenne journalière en MES en été au point B le plus proche est de 1,52 mg/l en surface avec des pics fréquents au-delà des 10 mg/l (Figure 33). De même à Biarritz la concentration à la cote varie entre 10 et 40 mg/l sur la période de 1999 à 2007 sans apparition claire d'un cycle saisonnier (§2.2).

La concentration moyenne journalière en MES en été aux points A et E côté espagnol reste inférieure à 1 mg/l en surface avec quelques pics supérieurs à 2 mg/l ponctuellement au point A le plus proche de la cote (Figure 34). Les valeurs aux points d'analyse les plus proches P13 et P11 sont restés en deçà.

L'analyse bibliographique et cartographique de l'état naturel (§2.3.3 et 2.4) montre que la concentration en MES dans le milieu ambiant reste globalement en deçà de 5 mg/l à la fois dans les eaux française et espagnole. La concentration maximale en surface modélisée n'excède pas 2 mg/l au cours des travaux le long du tracé et restent en deçà de 4 mg/l localement au droit de l'atterrage France (Figure 51).

Il ressort de l'analyse de la remise en suspension des sédiments lors des phases des travaux dans les eaux françaises comme espagnoles, que les impacts sont rapidement très faibles en dehors du moment d'intervention des différents engins. Ce constat est valable à la fois pour la concentration moyenne dans la colonne d'eau, pour la concentration proche du fond (la plus élevée) et pour la concentration de surface (celle qui peut également avoir un impact visuel).

4. ETAPE 4 : IMPACT SUR L'HYDRODYNAMIQUE REGIONALE

Dans cette étape, il s'agit de valider que l'impact des souilles avant comblement et des bermes en enrochements est négligeable à l'échelle régionale sur la houle et les courants et donc sur la bande côtière.

La localisation des profils étudiés est répertoriée sur la **Figure 53** et le **Tableau 9** ci-après en fonction du mode opératoire. Ces localisations permettent d'étudier les impacts pour les différents modes opératoires (ensouillage classique avec ou sans pre-sweeping, « rock berm ») et pour les conditions les plus critiques d'un point de vue de l'hydrodynamisme (zones les moins profondes) sur la partie « large du tracé » (fonds supérieurs à 20 m et souille ou berme parallèle à la côte). L'étude de l'impact sur ces 4 zones permet de conclure sur l'ensemble du tracé, hors canyon de Cap Breton.

Les outils/modèles utilisés sont schématiques et considèrent un état de référence (fond plat) et un état projet (souille ou berme après travaux et avant évolution des fonds).

Les profils associés aux différents modes opératoires ont été présentés dans le chapitre 1.4.

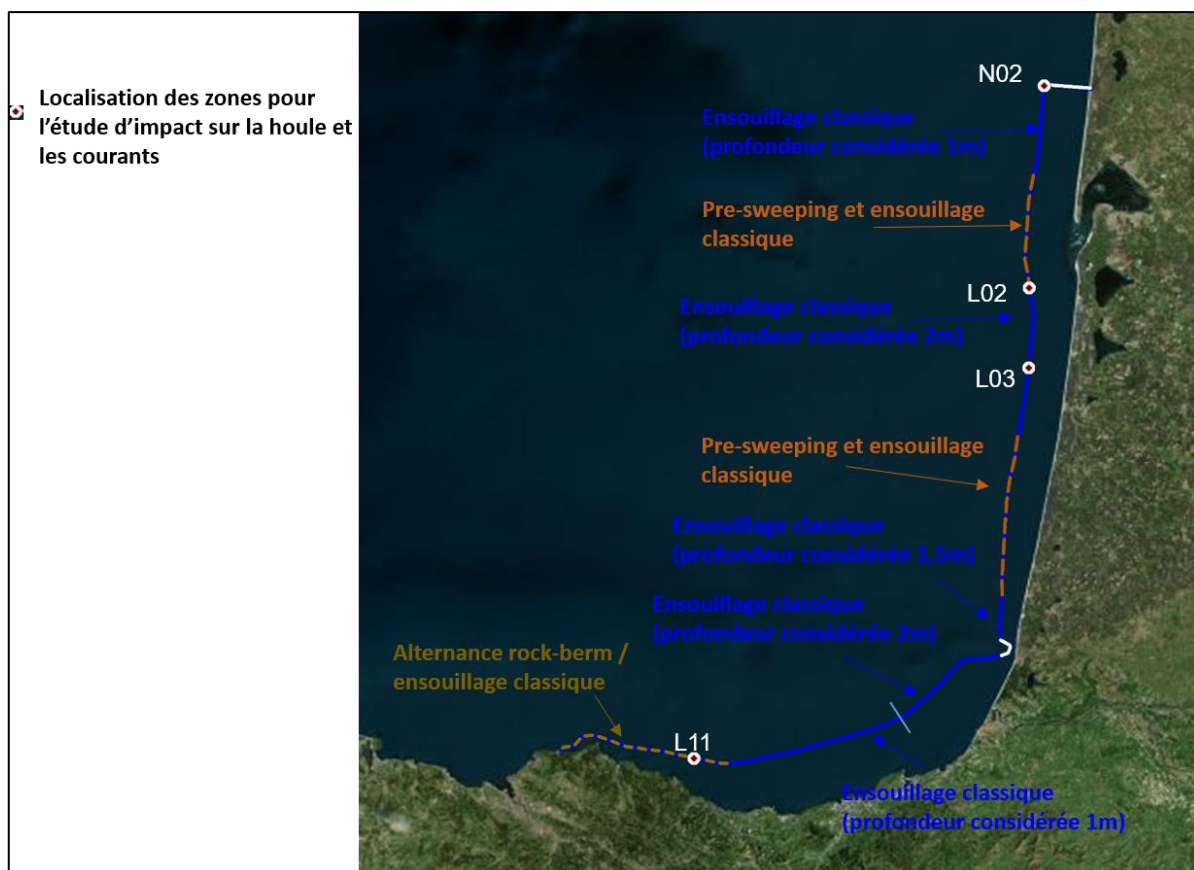


Figure 53. Localisation des profils d'études pour l'étude d'impact sur la houle et les courants

Tableau 9 – Profils, mode opératoire et profondeur moyennes

Profil	Type de travaux	Profondeur moyenne (m MSL)	Direction de la souille /t Nord (sens horaire)
N02	Ensouillage classique 1 m	32,5	3,25
L02	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	47,5	-15,5
L03	Ensouillage classique 2 m	43,3	7,65
L11	Rock berm	91,1	100,48

4.1. IMPACT SUR LA HOULE

4.1.1. Méthodologie

L'impact sur la houle est étudié via l'utilisation d'un outil simplifié 1D de propagation d'état de mer, HOCOULI.

La propagation de l'état de mer incident est calculée par l'approche spectrale paramétrique de Battjes et Stive (Réf. [14]). L'outil calcule le long d'une ligne perpendiculaire au rivage :

- La hauteur moyenne énergétique de la houle ;
- L'énergie dissipée par le processus de déferlement.

L'analyse est réalisée via la comparaison entre un profil 1D de l'état actuel et de l'état projet avec présence d'une souille ou d'une berme en enrochements selon la localisation. Les profils état projet étudiés dans cette phase représentent les 2 liaisons électriques soit 4 routes de câble.

4.1.2. Conditions de houle

Les 4 conditions de houle étudiées sont les suivantes :

- H1 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 310°N;
- H2 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 270°N;
- H3 : $H_{m0} = 5$ m, $T_p = 16$ s, Dir = 280°N;
- H4: $H_{m0} = 3$ m, $T_p = 12$ s, Dir = 280°N;

Ces conditions correspondent à des houles représentatives usuelles (H1, H2 et H4) et à une houle annuelle (H3). Les houles H1 et H2 sont dépassées 50% du temps et la houle H4 est dépassée 10% du temps à la localisation N02.

4.1.3. Impact

Les figures de l'Annexe B présentent les profils bathymétriques de l'état projet ainsi que les houles associées pour l'état projet (courbe bleue) et l'état actuel (courbe orange).

Les calculs confirment que la présence des souilles et des berms en enrochements a un impact négligeable sur la houle localement au niveau des zones travaux et donc sur le littoral. Les légers différentiels qui apparaissent au droit des souilles ou berms sont de l'ordre du mm pour la plupart des conditions de houles et restent inférieurs à 1 cm pour la houle annuelle ; ils sont liés davantage à du bruit numérique qu'à un réel différentiel sur la hauteur de houle.

4.2. IMPACT SUR LES COURANTS

4.2.1. Théorie

L'influence d'une souille ou d'une berme sur le courant local (généré par la marée et/ou le vent) est déterminée par (Basics of channel deposition/siltation by Leo C. Van Rijn) :

- Les dimensions géométriques des modifications des fonds (longueur, largeur, profondeur) ;
- L'angle entre l'axe principal de la liaison et la direction du courant d'approche ;
- L'intensité du courant local ;
- La bathymétrie de la zone (haut-fond près du chenal).

En général, les dimensions géométriques des fonds sont petites et il n'y a pas d'influence significative sur le courant à l'échelle macroscopique. Dans la plupart des cas, les courants dans la situation de référence ne sont modifiés que dans les environs immédiats de la zone concernée.

Il est possible de distinguer théoriquement trois situations :

- Axe de la liaison parallèle au courant (**Figure 54**) :

Lorsque l'axe de la souille de la liaison est parallèle au courant local, les vitesses dans la zone plus profonde peuvent augmenter en raison de la diminution du frottement de fond et en fonction de la longueur et de la largeur de la zone plus profonde. Juste en amont, une contraction de l'écoulement est observée sur une courte distance, entraînant une augmentation puis une diminution locale de la vitesse d'écoulement. La contraction du débit sera minimale pour une largeur de liaison très supérieure à sa profondeur.

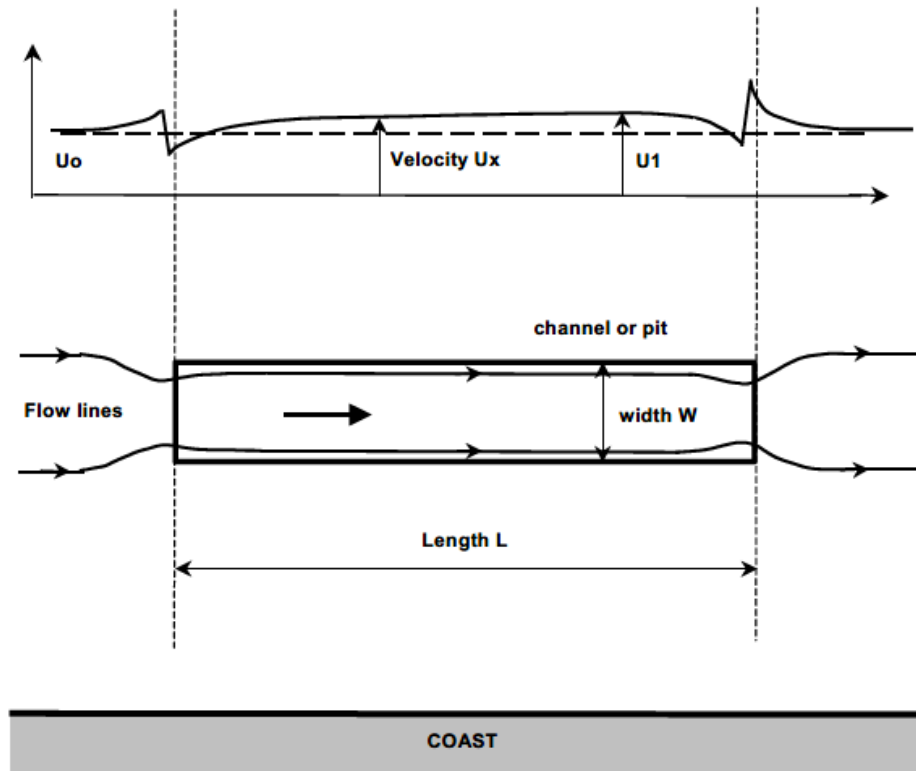


Figure 54. Axe de la liaison parallèle au courant

- Axe de la liaison perpendiculaire au courant (Figure 55) :

Lorsque l'axe de la souille est situé perpendiculairement au courant local, les vitesses au centre de la souille sont réduites en raison de l'approfondissement. Cette influence est particulièrement significative dans la couche proche du fond dans la zone de décélération, où des gradients de pression contraire agissent, entraînant une forte réduction du débit. En cas de fortes pentes latérales (1/5 et plus prononcées), une séparation et une inversion de l'écoulement se produit en introduisant un schéma d'écoulement plus compliqué. Les vitesses dans la zone de recirculation sont alors faibles comparées à celles de l'écoulement principal. Les vitesses d'écoulement dans les couches superficielles proches de la surface sont peu voire pas influencées par la présence de la souille.

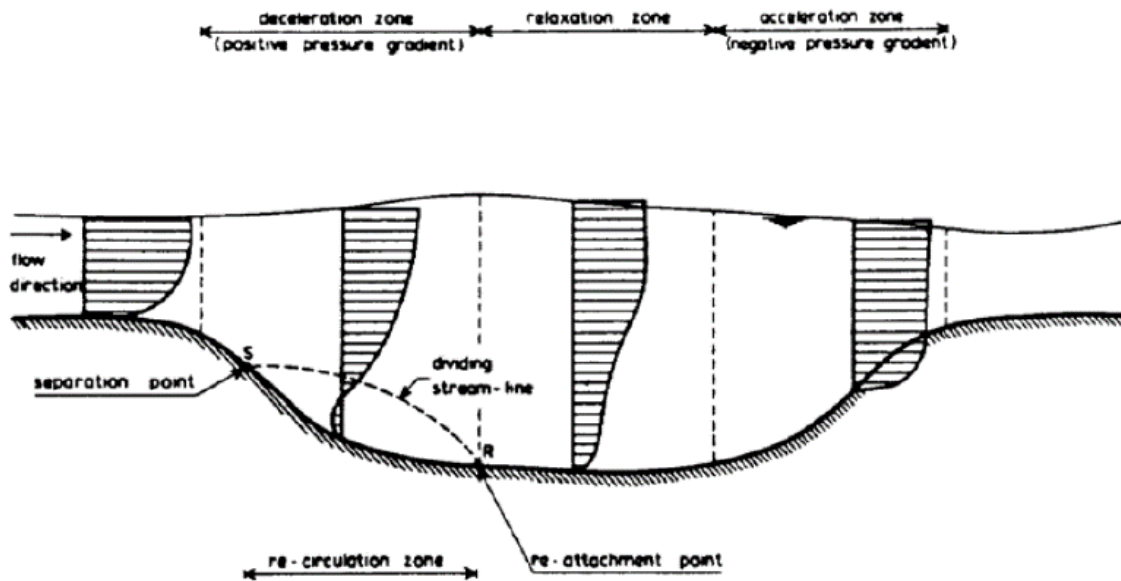


Figure 55. Axe de la liaison perpendiculaire au courant ; profils de vitesse d'écoulement

- Axe de la liaison oblique au courant :

Lorsque la souille est située de façon oblique par rapport au courant local, les effets des écoulements parallèles et perpendiculaires se produisent simultanément. La composante de vitesse perpendiculaire à la souille est inversement proportionnelle à la profondeur de l'eau localement, tandis que la composante de vitesse parallèle peut augmenter en raison d'une réduction du frottement au fond. En conséquence, les lignes de profil montrent un motif de type réfraction dans la souille (voir Figure 56).

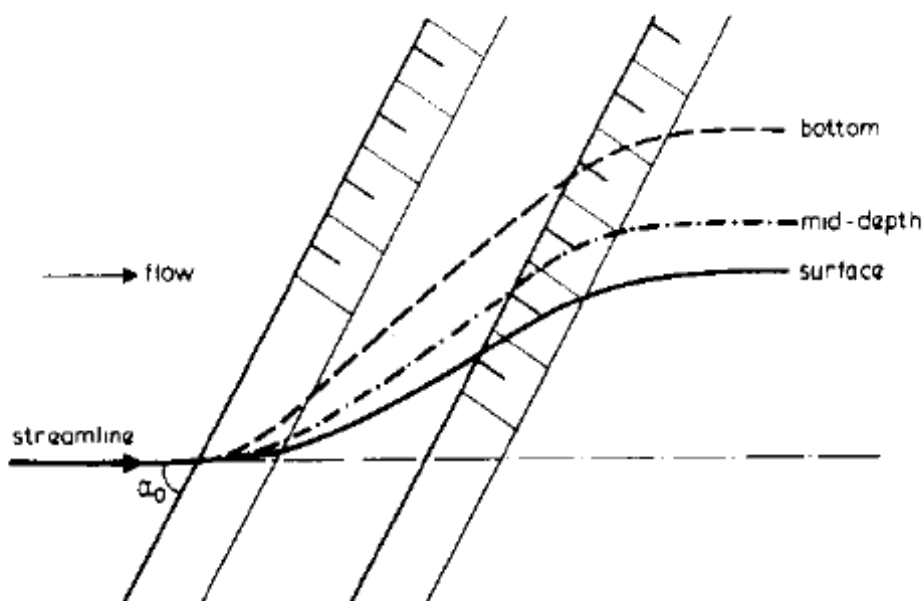


Figure 56. *Axe de la liaison oblique par rapport au courant ; déviation des lignes de courant*

4.2.2. Application à la liaison

Les courants étant relativement constants sur la zone, il s'agit d'étudier préférentiellement les points pour lesquels les fonds sont les moins importants pour un même type de travaux. Il ressort alors que les points N02, L02, L03 et L11 sont ceux où les impacts sur la courantologie seront les plus importants. Ces quatre points sont ici étudiés.

4.2.2.1. Courantologie

Les conditions de courantologie des quatre localisations prédéfinies sont analysées. A partir de la série temporelle des courants modélisés à une échelle de vingt ans (Réf. [13]), une courbe de marée dimensionnante (marée de vive-eau de coefficient de marée autour de 120) est extraite. Cette analyse d'une marée de vive-eau permet ainsi de couvrir la gamme des intensités du courant et des variations de niveau d'eau. A partir des courants maximums de flot et de jusant et des directions associées, il est alors possible d'évaluer les impacts principaux qui auront lieu aux mêmes instants.

La marée que nous avons considérée est celle du 21 mars 2011 de coefficient 117. L'évolution de ces conditions de courantologie pour les différents points à étudier est présentée sur les figures ci-après.

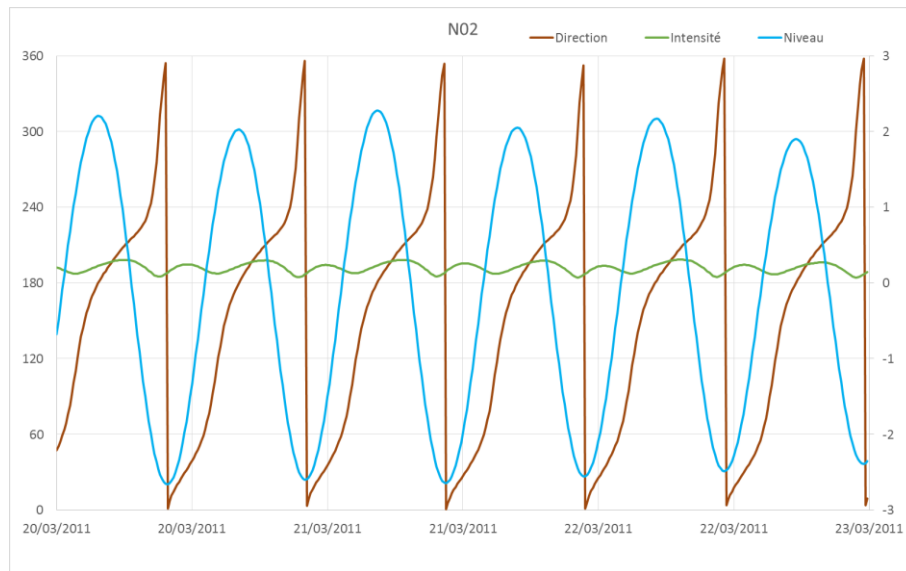


Figure 57. Niveaux et courants au point N02 (coefficient 117 le 21 mars)

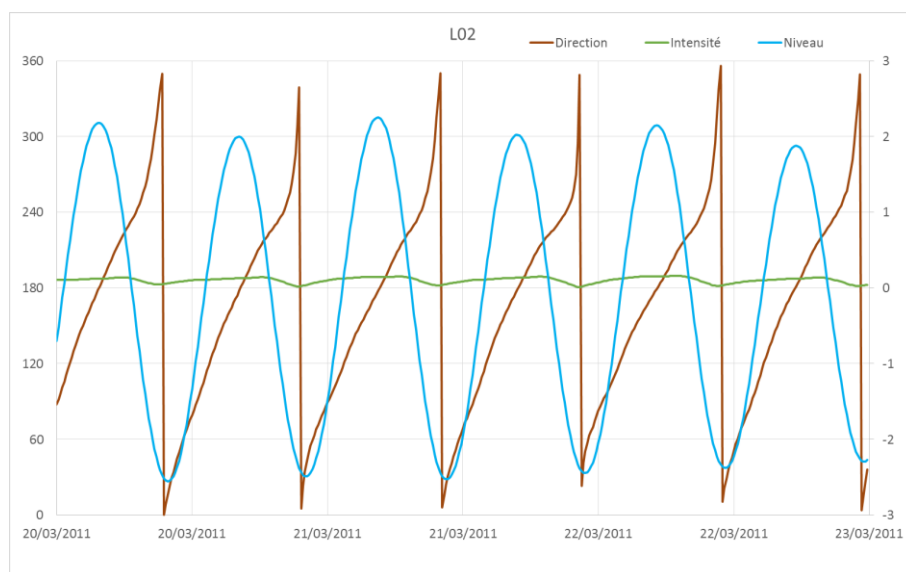


Figure 58. Niveaux et courants au point L02 (coefficient 117 le 21 mars)

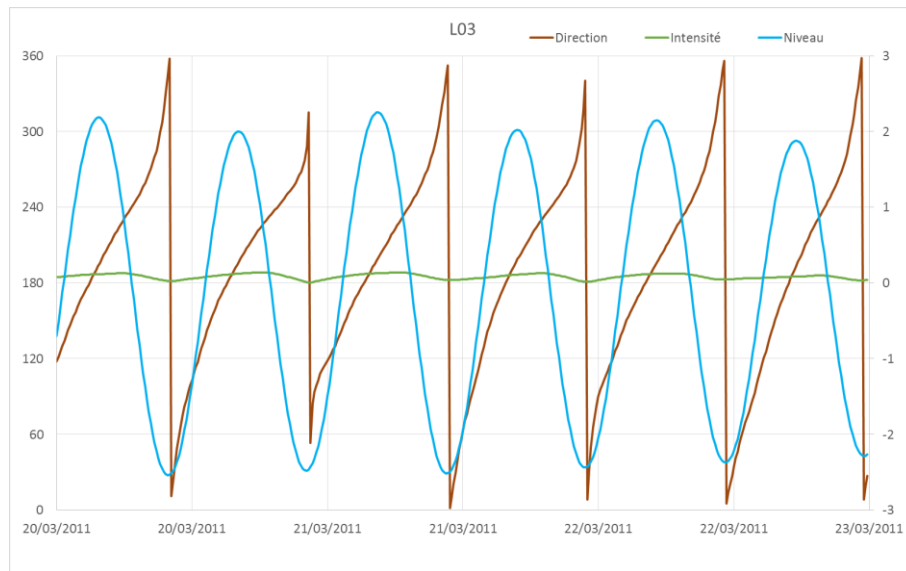


Figure 59. Niveaux et courants au point L03 (coefficient 117 le 21 mars)

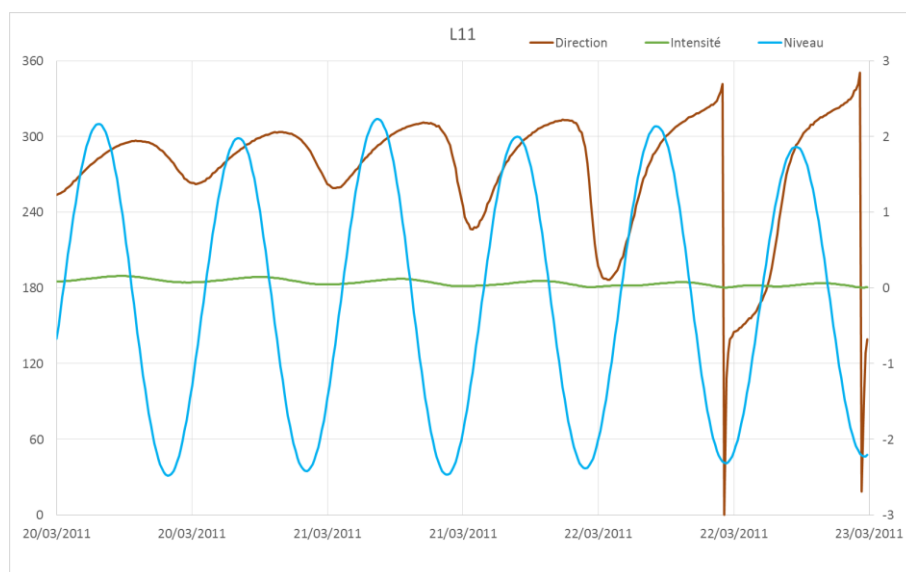


Figure 60. Niveaux et courants au point L11 (coefficient 117 le 21 mars)

La synthèse des courants et niveaux maximums est reportée dans le tableau ci-après.

Tableau 10 – Courants maximums aux points sélectionnés

POINT	FOND MARIN MOYEN (m MSL)	Direction souille (° nord / sens horaire)	Niveaux MAX	Vitesse MAX
N02	-32.5	3.25	2.75	0.31
L02	-47.5	-15.5	2.25	0.16
L03	-43.3	7.65	2.25	0.14
L11	-91.1	100.48	2.23	0.16

Les intensités maximales sont dans l'ordre décroissant pour les points N02, L02 et L11 puis L03.

4.2.2.2. Analyse des impacts

L'analyse des impacts est étudiée sur la géométrie schématique présentée sur la [Figure 61](#).

Seule une liaison avec ses deux routes de câble est considérée avec un linéaire de souille (respectivement de berme) de 100 m centré à l'intérieur du domaine. Les courants maximums obtenus pour chaque localisation sont alors imposés aux limites du domaine et un modèle de courantologie (résolution des équations de Saint-Venant) est résolu dans l'état de référence (fond plat avant travaux) et dans l'état projet (creusement des souilles ou pose des bermes). Ces courants sont imposés soit dans l'axe de la souille soit perpendiculairement à l'axe de la souille de façon à étudier les deux cas extrêmes d'orientation des courants avec l'axe de la liaison. L'analyse des impacts « significatifs » est réalisée sur les différents linéaires/profils orientés Nord-Sud (V475, V500, ...) ou Ouest-Est (H250, H400, ...).

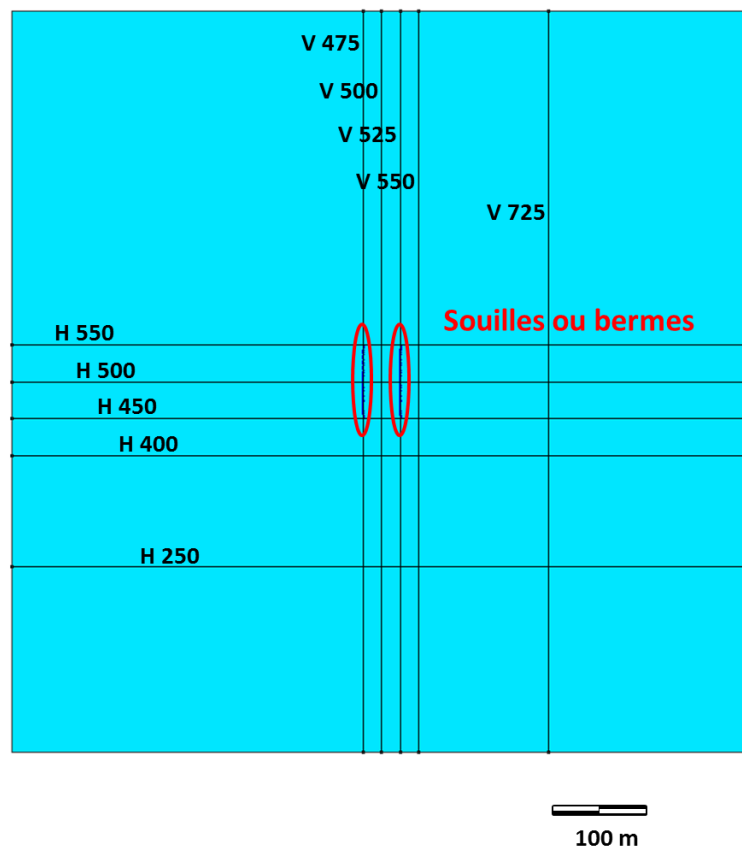


Figure 61. Géométrie schématique des fonds étudiés avec la localisation des travaux considérés et des profils analysés

4.2.2.2.1. Point N02

Les deux tableaux ci-après reportent les intensités des courants avec présence de la souille et les impacts maximum (augmentation du courant) et minimum (diminution du courant) en pourcentage sur chacun des linéaires pour un courant orienté dans l'axe de la souille ou perpendiculaire à l'axe de la souille au point N02 considéré. Pour rappel, l'intensité du courant imposée aux limites du domaine est de 0,31 m/s.

Tableau 11 – Point N02 – courant dans l'axe – intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.31	Minimum		Maximum	
V475	0.307	-1.08%	0.313	1.10%
V500	0.310	-0.03%	0.310	0.00%
V525	0.307	-1.08%	0.314	1.23%
V550	0.310	-0.02%	0.310	0.00%
V725	0.310	0.00%	0.310	0.00%
H250	0.310	-0.03%	0.310	0.00%
H400	0.310	-0.03%	0.310	0.00%
H450	0.307	-0.91%	0.311	0.29%
H500	0.310	-0.04%	0.310	0.00%
H550	0.307	-0.89%	0.311	0.29%

Dans le cas d'un courant dans l'axe de la souille les impacts les plus importants sont observés sur le linéaire V525 (profil orienté dans l'axe des souilles le long d'une route de câble) et les intensités du courant le long de ce profil sont reportées sur la figure ci-après.

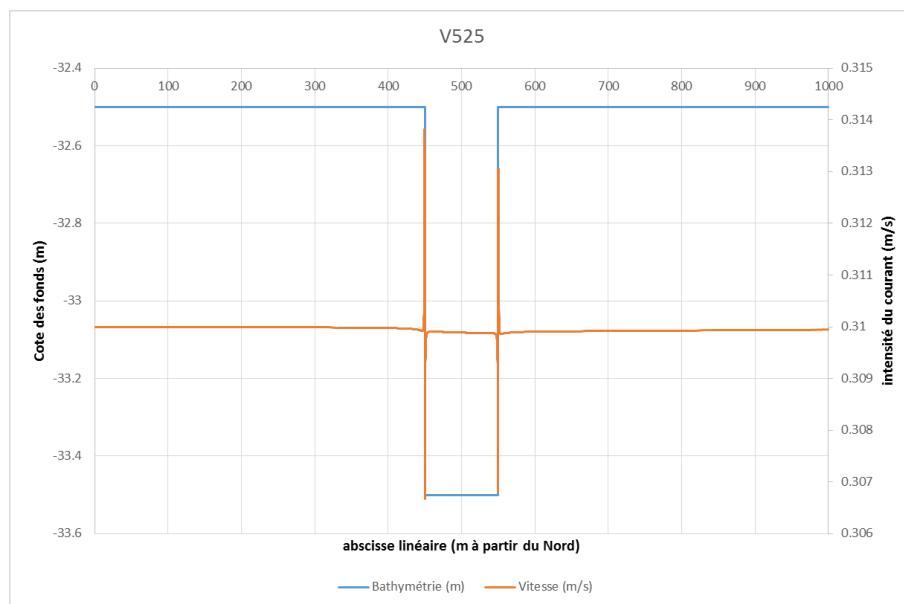


Figure 62. Courant le long du profil V525 - point N02 – courant dans l'axe

L'impact sur les deux linéaires les plus éloignés des souilles (V725 et H250 situés à 200 m) est soit nul soit négligeable et inférieur à 0.03 %.

Tableau 12 – Point N02 – courant perpendiculaire – intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.31	Minimum		Maximum	
V475	0.299	-3.53%	0.310	0.09%
V500	0.307	-0.99%	0.310	0.13%
V525	0.298	-4.02%	0.311	0.20%
V550	0.306	-1.41%	0.311	0.25%
V725	0.306	-1.29%	0.311	0.22%
H250	0.310	0.00%	0.311	0.19%
H400	0.309	-0.22%	0.311	0.25%
H450	0.303	-2.24%	0.312	0.66%
H500	0.297	-4.07%	0.312	0.75%
H550	0.303	-2.27%	0.312	0.62%

Dans le cas d'un courant perpendiculaire à l'axe de la souille, les impacts les plus importants sont observés sur le linéaire H500 (profil orienté perpendiculairement aux souilles et centré sur le domaine étudié) et les intensités du courant le long de ce profil sont reportées sur la figure ci-après.

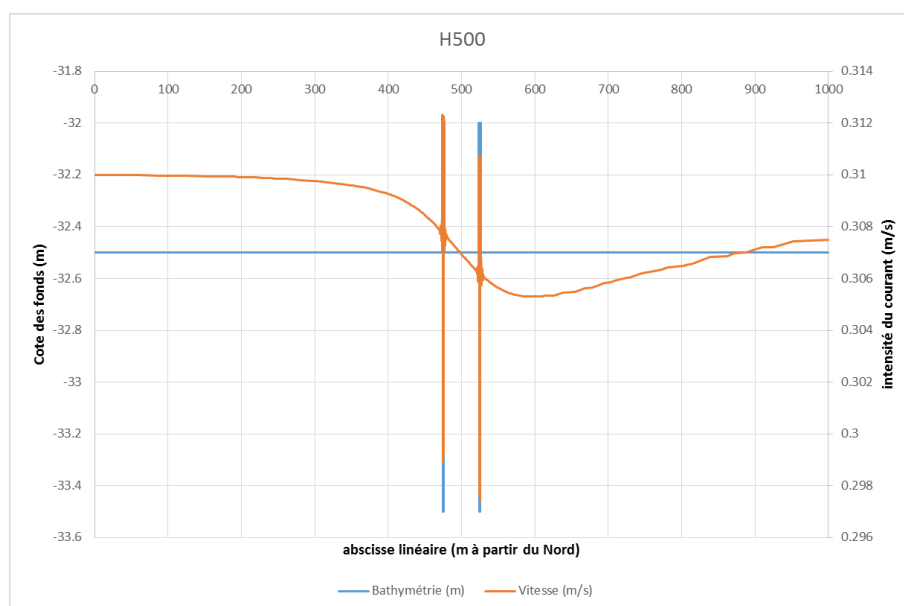


Figure 63. Courant le long du profil H500 - point N02 – courant perpendiculaire

L'impact sur les deux linéaires les plus éloignés des souilles est négligeable pour H250 et inférieur à 1,3 % pour V725.

Il ressort de cette analyse que les impacts principaux restent localisés au droit des travaux et sont très rapidement négligeable à 200 m de distance.

4.2.2.2.2. Point L02

Les deux tableaux ci-après reportent les intensités du courant avec présence de la souille et les impacts maximum et minimum (en pourcentage) sur chacun des linéaires pour un courant orienté dans l'axe de la souille ou perpendiculaire à l'axe de la souille au point considéré. Pour rappel, l'intensité du courant imposée aux limites du domaine est de 0,16 m/s.

Les impacts aux points L02 sont plus importants en pourcentage que pour le point N02 mais sont très faibles en valeur absolue avec des écarts en intensité inférieurs à 0,01 m/s (1 cm/s). Le pourcentage d'impact le plus important s'explique par des travaux plus profonds (ensouillage à 2 m) et des dépôts latéraux issus du pre-sweeping.

Tableau 13 – Point L02 – courant dans l'axe - - intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.16	Minimum		Maximum	
V475	0.157	-2.03%	0.163	1.97%
V500	0.160	-0.03%	0.160	0.08%
V525	0.157	-1.98%	0.164	2.20%
V550	0.160	-0.01%	0.160	0.05%
V725	0.160	0.00%	0.160	0.01%
H250	0.160	0.00%	0.160	0.01%
H400	0.160	-0.02%	0.160	0.01%
H450	0.157	-1.65%	0.161	0.44%
H500	0.160	0.01%	0.160	0.08%
H550	0.157	-1.59%	0.161	0.46%

Tableau 14 – Point L02 – courant perpendiculaire - - intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.16	Minimum		Maximum	
V475	0.151	-5.89%	0.160	0.14%
V500	0.158	-1.42%	0.160	0.19%
V525	0.150	-6.47%	0.160	0.27%
V550	0.157	-1.85%	0.160	0.31%
V725	0.158	-1.45%	0.160	0.29%
H250	0.160	0.00%	0.160	0.28%
H400	0.159	-0.37%	0.160	0.27%
H450	0.154	-3.65%	0.160	0.13%
H500	0.150	-6.45%	0.160	0.12%
H550	0.154	-3.58%	0.160	0.14%

4.2.2.2.3. Point L03

Les deux tableaux ci-dessous reportent les intensités du courant avec souille et les impacts maximum et minimum (en pourcentage) sur chacun des linéaires pour un courant dans l'axe ou perpendiculaire à la liaison au point considéré. Pour rappel, l'intensité du courant imposée aux limites du domaine est de 0,14 m/s.

Tableau 15 – Point L03 – courant dans l'axe – intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.14	Minimum		Maximum	
V475	0.138	-1.51%	0.142	1.56%
V500	0.140	-0.03%	0.140	0.00%
V525	0.138	-1.50%	0.142	1.77%
V550	0.140	-0.02%	0.140	0.00%
V725	0.140	0.00%	0.140	0.01%
H250	0.140	-0.02%	0.140	0.01%
H400	0.140	-0.03%	0.140	0.01%
H450	0.138	-1.33%	0.141	0.37%
H500	0.140	-0.04%	0.140	0.00%
H550	0.138	-1.32%	0.141	0.37%

Tableau 16 – Point L03 – courant perpendiculaire - - intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.14	Minimum		Maximum	
V475	0.133	-5.23%	0.140	0.12%
V500	0.138	-1.14%	0.140	0.16%
V525	0.132	-5.72%	0.140	0.21%
V550	0.138	-1.50%	0.140	0.25%
V725	0.138	-1.15%	0.140	0.25%
H250	0.140	0.00%	0.140	0.24%
H400	0.140	-0.30%	0.140	0.21%
H450	0.135	-3.36%	0.141	0.81%
H500	0.132	-5.67%	0.141	0.97%
H550	0.135	-3.27%	0.141	0.80%

Les travaux à la localisation L03 sont comparables à ceux de la localisation N02 à la différence de l'approfondissement de la souille qui est de 2 m pour seulement 1 m précédemment. Les fonds sont eux plus importants. La forme des impacts est alors très similaire et les pourcentages d'impact sont un peu plus importants.

4.2.2.2.4. Point L11

Les deux tableaux ci-après reportent les intensités des courants avec présence de la berme et les impacts maximum et minimum (en pourcentage) sur chacun des linéaires pour un courant orienté dans l'axe de la berme ou perpendiculaire à l'axe de la berme à la localisation considérée. Pour rappel, l'intensité du courant imposée aux limites du domaine est de 0,16 m/s. A la différence des localisations précédentes, il s'agit ici de la pose d'une berme et par conséquent d'une réduction de la section de passage des écoulements.

Tableau 17 – Point L11 – courant dans l'axe – intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.16	Minimum		Maximum	
V475	0.159	-0.37%	0.161	0.39%
V500	0.160	-0.02%	0.160	0.01%
V525	0.159	-0.37%	0.161	0.38%
V550	0.160	-0.01%	0.160	0.01%
V725	0.160	0.00%	0.160	0.00%
H250	0.160	-0.01%	0.160	0.00%
H400	0.160	-0.02%	0.160	0.00%
H450	0.160	-0.01%	0.160	0.28%
H500	0.160	0.00%	0.160	0.01%
H550	0.160	-0.01%	0.160	0.27%

Dans le cas d'un courant dans l'axe de la berme les impacts les plus importants sont observés sur le linéaire V525 (profil orienté dans l'axe des berms le long d'une route de câble) et les intensités du courant le long de ce profil sont reportées sur la figure ci-dessous.

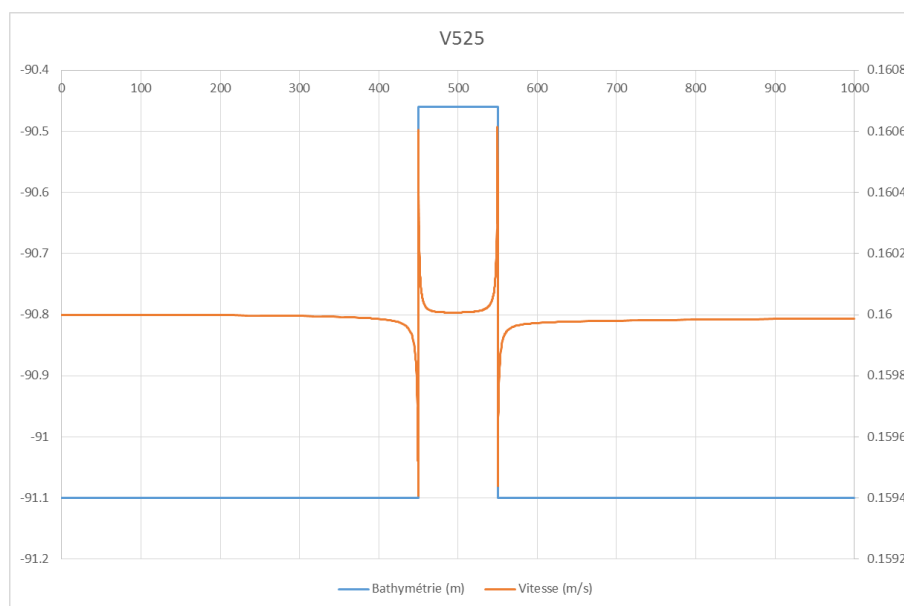


Figure 64. Courant le long du profil V525 - point L11 – courant dans l'axe

L'impact sur les deux linéaires les plus éloignés des souilles (V725 et H250 situés à 200 m) est négligeable voire nul.

Tableau 18 – Point L11 – courant perpendiculaire - – intensité du courant (m/s) et impact (%)

Intensité (m/s) : 0.16	Minimum		Maximum	
V475	0.160	-0.01%	0.161	0.76%
V500	0.160	-0.01%	0.160	0.10%
V525	0.160	-0.02%	0.161	0.82%
V550	0.160	-0.02%	0.160	0.15%
V725	0.160	-0.03%	0.160	0.13%
H250	0.160	-0.03%	0.160	0.00%
H400	0.160	-0.02%	0.160	0.03%
H450	0.160	0.00%	0.161	0.45%
H500	0.160	0.00%	0.161	0.82%
H550	0.160	0.00%	0.161	0.43%

Dans le cas d'un courant perpendiculaire à l'axe de la berme, les impacts les plus importants sont observés sur les linéaires H500 (profil orienté perpendiculairement aux berms et centré sur le domaine étudié) et V525 (profil orienté dans l'axe des berms et passant par celle la plus à l'Est). Les intensités du courant le long de ces deux profils sont reportées sur les figures ci-après.

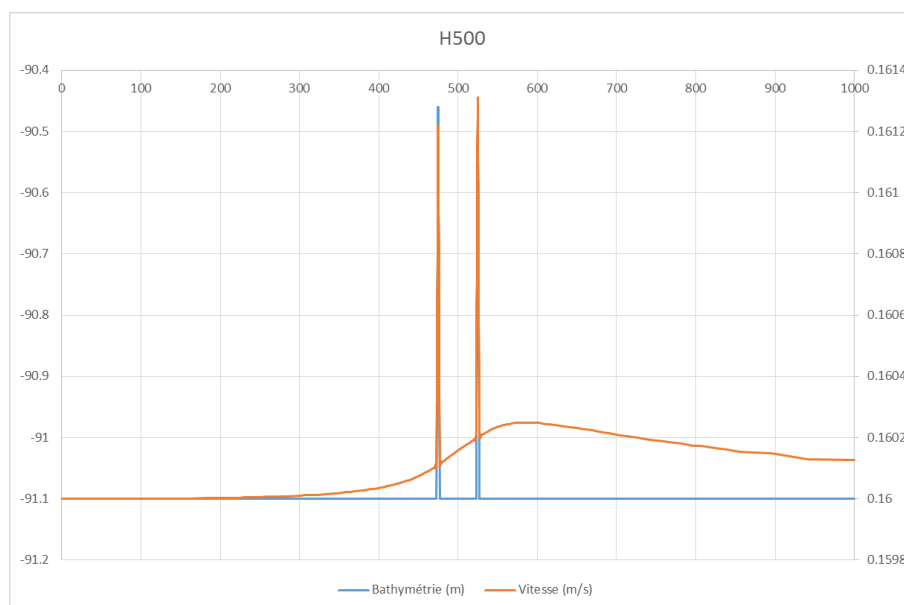


Figure 65. Courant le long du profil H500 - point L11 – courant perpendiculaire

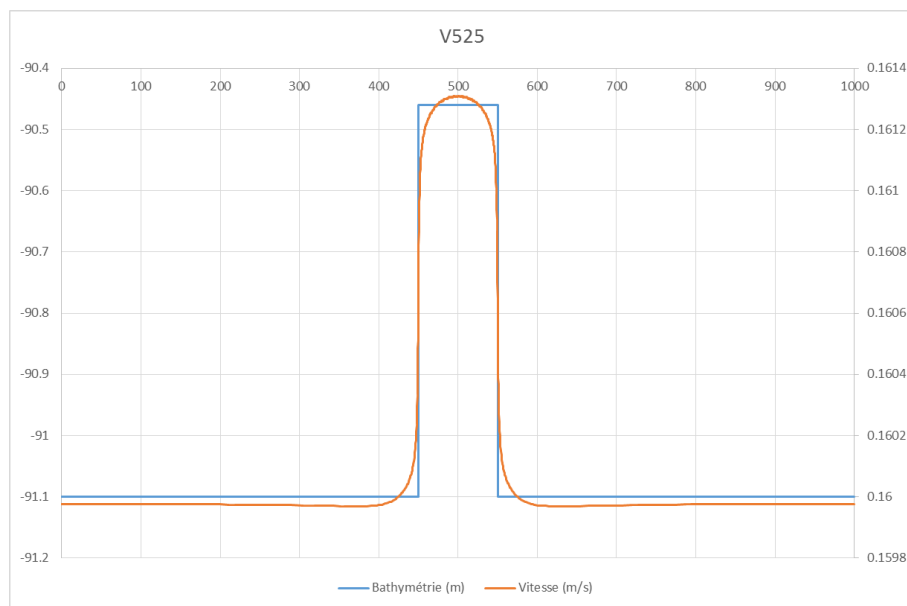


Figure 66. Impact en courant le long du profil V525 - point L11 – courant perpendiculaire

Comme sur l'ensemble des localisations étudiées les impacts sont négligeables en dehors de la proximité immédiate des travaux.

4.2.3. Conclusion sur les impacts des travaux sur la courantologie locale

L'impact des travaux sur la courantologie a été étudié en s'appuyant sur des résultats obtenus pour un état schématisé des fonds marins. Les impacts des souilles sont essentiellement liés à deux effets contraires :

- Soit une augmentation des intensités par une diminution du frottement du fond ;
- Soit une diminution des intensités par une réduction du débit de l'écoulement à la proximité des fonds.

Ces deux effets contraires sont premièrement difficiles à évaluer a priori et il est deuxièmement difficile de se prononcer, sans l'appui d'outil d'analyse, sur celui qui sera majoritaire.

Le modèle mis en place permet d'étudier les différents cas majorants pour l'impact des travaux sur la courantologie locale.

Les impacts obtenus peuvent dépasser quelques pourcents au niveau des ruptures des pentes et donc au droit direct des travaux. Plus au loin, à 200 m, les impacts deviennent négligeables (inférieur au mm/s). Les impacts entre les deux liaisons peuvent donc rentrer en interaction mais sans une modification significative de l'analyse faite ici.

REFERENCES

- [1] Mengual B., Variabilité spatio temporelle des flux sédimentaires dans le Golfe de Gascogne: contributions relatives des forçages climatiques et des activités de chalutage, Thèse de doctorat, Ifremer, 2016.
- [2] Gohin, 2011a. Atlas de la température, de la concentration en chlorophylle et de la turbidité de surface du plateau continental français et de ses abords de l'ouest européen. Rapport d'étude DCSMM Ifremer. 2011
- [3] Gohin, 2011b. Annual cycles of Chlorophyll-a, non-algal suspended particulate and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters, *Ocean Science*, 7,705-732
- [4] Gohin, 2005. Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters : Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay, *Remote sensing of the environment*, 95,29-46
- [5] Jouanneau, J.,M., Weber O., Cremer M., Castaing P. 1999. Fine-grained sediment budget on the continental margin of the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research*, II, 46, 2205-2220.
- [6] Maneux E., Dumas, J.,Clément, O., Etcheber, H., Charritton, X., Etchart, J., Veyssy, E., Rimmelin, P., 1999, *Assessment of suspended matter input into the oceans by small mountainous coastal rivers: the case of the Bay of Biscay*, *Compte-Rendus de l'Académie des sciences*, Paris, Sciences de la terre et des planète,329,413-420.
- [7] Morel A., 1988. Optical modelling of the upper ocean in relation to its biogeous matter content (Case 1 water). *Journal of Geophysical Research*, 93. 10749-1768.
- [8] Product user manual for all ocean colour products, Copernicus Marine Environment Monitoring Service, Volpe G., Santoleri R., Colella S., Forneris V., Brando V. E., Garneson P., Taylor B., Grant M., technical report 2018, ref CMEMS-OC-PUM-009-ALL
- [9] Aminot A., Kerouel R., 2004, *Hydrologie des écosystèmes marins*, Paramètres et Analyse, Edition Ifremer, 336p
- [10] Perrot L., 2017, *Observer les coccolithophores de l'espace*, Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale
- [11] Froidefond J.M, Castaing P., Babin, M., 1999. Monitoring suspended particulate matter fluxes and patterns with the AVHRR/NOAA-11 satellite: Application to the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research* II 46, 2029-2055.
- [12] Geotechnical report, MMT for INELFE, for client review October 2017, Biscay HVDC WI Route Survey (102534-INE-MMT-SUR-REP-GEOTECH).
- [13] Biscay Gulf Western Interconnector – Metocean study – Final report, for INELFE - March 2018 – ARTELIA 8713734 3.
- [14] Battjes J.A. and M.J.F. Stive (1985) Calibration and verification of a dissipation model for random breaking waves. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, n° C5, pp. 9159-9167.

ANNEXE A

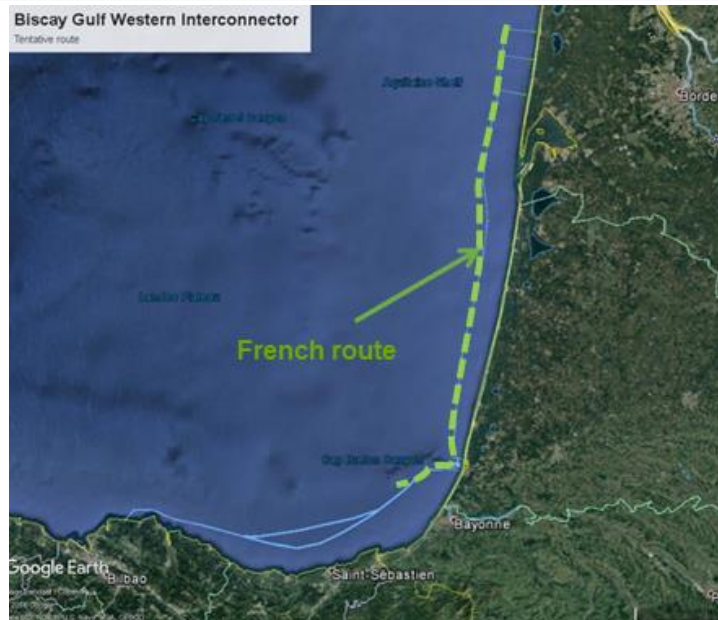
POURCENTAGES DE FINES LE LONG DU LINEAIRE DE ROUTE

X (m)	Y (m)	% fines	X (m)	Y (m)	% fines	X (m)	Y (m)	% fines
629749.1	4975746.6	33.0	625258.6	4891404.2	1.0	597151.6	4818238.9	32
629572.3	4974771.8	33.0	625113.9	4890414.7	1.0	596223.8	4817865.8	48
629515.4	4973773.4	33.0	624969.3	4889425.2	1.0	595296.1	4817492.6	48
629458.5	4972775.0	33.0	624824.6	4888435.7	3.0	594368.3	4817119.5	48
629401.5	4971776.6	33.0	624680.0	4887446.2	3.0	593440.5	4816746.4	48
629344.6	4970778.3	33.0	624535.3	4886456.8	3.0	592512.7	4816373.2	48
629287.7	4969779.9	33.0	624390.7	4885467.3	3.0	591585.0	4816000.1	48
629230.8	4968781.5	33.0	624246.0	4884477.8	3.0	590657.2	4815627.0	26
629173.9	4967783.1	2.0	624101.4	4883488.3	3.0	589729.4	4815253.8	26
629117.0	4966784.7	2.0	623940.5	4882501.9	3.0	588794.2	4814902.0	26
629060.1	4965786.4	2.0	623712.4	4881528.3	3.0	587834.8	4814620.2	26
629003.2	4964788.0	2.0	623484.2	4880554.7	3.0	586875.3	4814338.4	26
628946.3	4963789.6	2.0	623256.0	4879581.0	3.0	585915.8	4814056.5	26
628889.4	4962791.2	2.0	623107.6	4878593.2	4.0	584956.4	4813774.7	26
628832.5	4961792.8	2.0	622984.7	4877600.8	4.0	583996.9	4813492.9	26
628775.6	4960794.5	2.0	622861.7	4876608.3	4.0	583037.4	4813211.1	26
628687.0	4959799.9	2.0	622738.7	4875615.9	4.0	582077.9	4812929.3	0
628506.3	4958816.3	2.0	622615.7	4874623.5	4.0	581118.5	4812647.5	0
628325.7	4957832.8	2.0	622492.7	4873631.1	4.0	580159.0	4812365.6	70
628145.0	4956849.3	2.0	622402.9	4872636.0	4.0	579199.5	4812083.8	70
627964.3	4955865.7	2.0	622362.6	4871636.8	4.0	578240.1	4811802.0	70
627783.7	4954882.2	2.0	622322.2	4870637.6	4.0	577280.6	4811520.2	70
627603.0	4953898.6	2.0	622281.8	4869638.4	4.0	576321.1	4811238.4	70
627422.3	4952915.1	2.0	622241.5	4868639.3	4.0	575361.7	4810956.5	70
627241.6	4951931.5	4.0	622201.1	4867640.1	4.0	574402.2	4810674.7	70
627061.0	4950948.0	4.0	622160.8	4866640.9	4.0	573442.7	4810392.9	70
626880.3	4949964.4	4.0	622120.4	4865641.7	4.0	572483.3	4810111.1	70
626699.6	4948980.9	4.0	622080.0	4864642.5	4.0	571523.8	4809829.3	70
626519.0	4947997.4	4.0	622039.7	4863643.3	4.0	570564.3	4809547.4	70
626439.8	4947002.5	4.0	621999.3	4862644.1	4.0	569590.9	4809319.8	70
626399.8	4946003.3	4.0	621959.0	4861645.0	4.0	568614.6	4809103.3	70
626359.8	4945004.1	4.0	621918.6	4860645.8	4.0	567638.4	4808886.8	70
626319.8	4944004.9	4.0	621878.2	4859646.6	4.0	566662.1	4808670.3	70
626279.8	4943005.7	4.0	621837.9	4858647.4	4.0	565685.8	4808453.8	70
626239.8	4942006.5	4.0	621797.5	4857648.2	4.0	564709.5	4808237.3	70
626199.8	4941007.3	4.0	621757.2	4856649.0	4.0	563733.2	4808020.8	70
626159.8	4940008.1	3.0	621716.8	4855649.8	4.0	562756.9	4807804.3	70
626119.8	4939008.9	3.0	621676.4	4854650.7	4.0	561780.7	4807587.8	70
626079.8	4938009.7	3.0	621636.1	4853651.5	4.0	560804.4	4807371.3	70
626039.8	4937010.5	3.0	621595.7	4852652.3	4.0	559828.1	4807154.8	70
625999.8	4936011.3	3.0	621603.7	4851652.9	4.0	558851.8	4806938.3	70
625959.8	4935012.1	3.0	621634.0	4850653.3	4.0	557875.5	4806721.8	70
625919.9	4934012.9	3.0	621664.3	4849653.8	11.0	556899.2	4806505.3	70
625879.9	4933013.7	3.0	621694.6	4848654.2	11.0	555908.9	4806392.3	70
626027.6	4932030.1	3.0	621667.8	4847655.9	11	554910.3	4806339.4	70
626231.3	4931051.0	1.0	621596.3	4846658.4	11	553911.7	4806286.5	70
626435.0	4930072.0	1.0	621524.8	4845661.0	11	552913.1	4806233.6	70
626638.8	4929093.0	1.0	621453.3	4844663.6	11	551914.5	4806180.7	70
626842.5	4928113.9	1.0	621381.7	4843666.1	11	550925.9	4806267.0	91
627046.2	4927134.9	1.0	621310.2	4842668.7	11	549945.1	4806462.1	91
627249.9	4926155.9	1.0	621238.7	4841671.2	11	548964.3	4806657.2	91
627412.6	4925169.6	1.0	621243.9	4840671.3	11	547983.5	4806852.4	13
627555.1	4924179.8	1.0	621251.2	4839671.4	11	547002.7	4807047.5	13

X (m)	Y (m)	% fines	X (m)	Y (m)	% fines	X (m)	Y (m)	% fines
627697.6	4923190.1	1.0	CANYON			546022.0	4807242.6	13
627840.2	4922200.3	1.0	621956.2	4834424.9	15	545041.2	4807437.8	13
627982.7	4921210.5	1.0	621007.1	4834110.1	15	544060.4	4807632.9	13
628125.2	4920220.7	1.0	620057.9	4833795.3	15	543079.6	4807828.1	13
628214.4	4919228.6	1.0	619069.9	4833649.4	15	542098.9	4808023.2	6
628159.0	4918230.1	1.0	618078.7	4833516.8	15	541118.1	4808218.3	6
628103.5	4917231.6	1.0	617087.5	4833384.3	15	540137.3	4808413.5	6
628048.1	4916233.2	1.0	616094.2	4833275.9	15	539156.5	4808608.6	6
627992.7	4915234.7	1.0	615095.0	4833237.7	85	538175.8	4808803.7	6
627937.2	4914236.2	1.0	614095.7	4833199.4	85	537195.0	4808998.9	43
627881.8	4913237.8	1.0	613102.1	4833087.6	85	536214.1	4809193.4	43
627826.4	4912239.3	1.0	612165.1	4832805.2	9	535222.4	4809321.7	43
627770.9	4911240.9	1.0	611373.9	4832202.1	9	534230.6	4809450.0	43
627707.0	4910243.1	1.0	610635.1	4831528.2	9	533238.9	4809578.3	43
627595.4	4909249.4	1.0	609965.1	4830790.1	9	532247.2	4809706.6	39
627483.7	4908255.6	1.0	609343.7	4830006.6	9	531255.4	4809834.9	39
627372.1	4907261.9	1.0	608722.3	4829223.1	9	530263.7	4809963.2	39
627260.4	4906268.1	1.0	608101.0	4828439.6	9	529272.0	4810091.6	39
627148.7	4905274.4	1.0	607479.6	4827656.0	9	528280.2	4810219.9	39
627037.1	4904280.6	1.0	606789.9	4826933.7	9	527299.8	4810396.4	70
626925.4	4903286.9	1.0	606079.9	4826229.5	93	526355.1	4810724.1	70
626813.8	4902293.1	1.0	605369.9	4825525.3	93	525410.3	4811051.9	70
626702.1	4901299.4	1.0	604659.9	4824821.1	94	524465.6	4811379.7	11
626560.4	4900309.5	1.0	603932.4	4824135.6	94	523520.8	4811707.4	11
626415.8	4899320.0	1.0	603183.9	4823472.4	49	522576.0	4812035.2	11
626271.1	4898330.5	1.0	602435.4	4822809.3	49	521631.3	4812362.9	1
626126.5	4897341.1	1.0	601686.9	4822146.2	49	520686.5	4812690.7	1
625981.8	4896351.6	1.0	600938.3	4821483.0	49	519741.8	4813018.5	1
625837.2	4895362.1	1.0	600189.8	4820819.9	49	518754.7	4813051.2	1
625692.5	4894372.6	1.0	599441.3	4820156.8	32	517756.0	4813001.9	1
625547.9	4893383.1	1.0	598692.8	4819493.7	32	516757.2	4812952.5	1
625403.2	4892393.7	1.0	597944.3	4818830.5	32	515983.5	4812370.9	1
						515272.3	4811667.9	11
						514561.2	4810964.9	11
						513743.9	4810461.1	11
						512763.6	4810263.7	11
						511783.3	4810066.3	11
						511144.6	4809326.5	11

ANNEXE B

IMPACT SUR LA HOULE



LIAISON SOUS-MARINE GOLFE DE GASCOGNE

Evaluation des incidences des travaux de pose

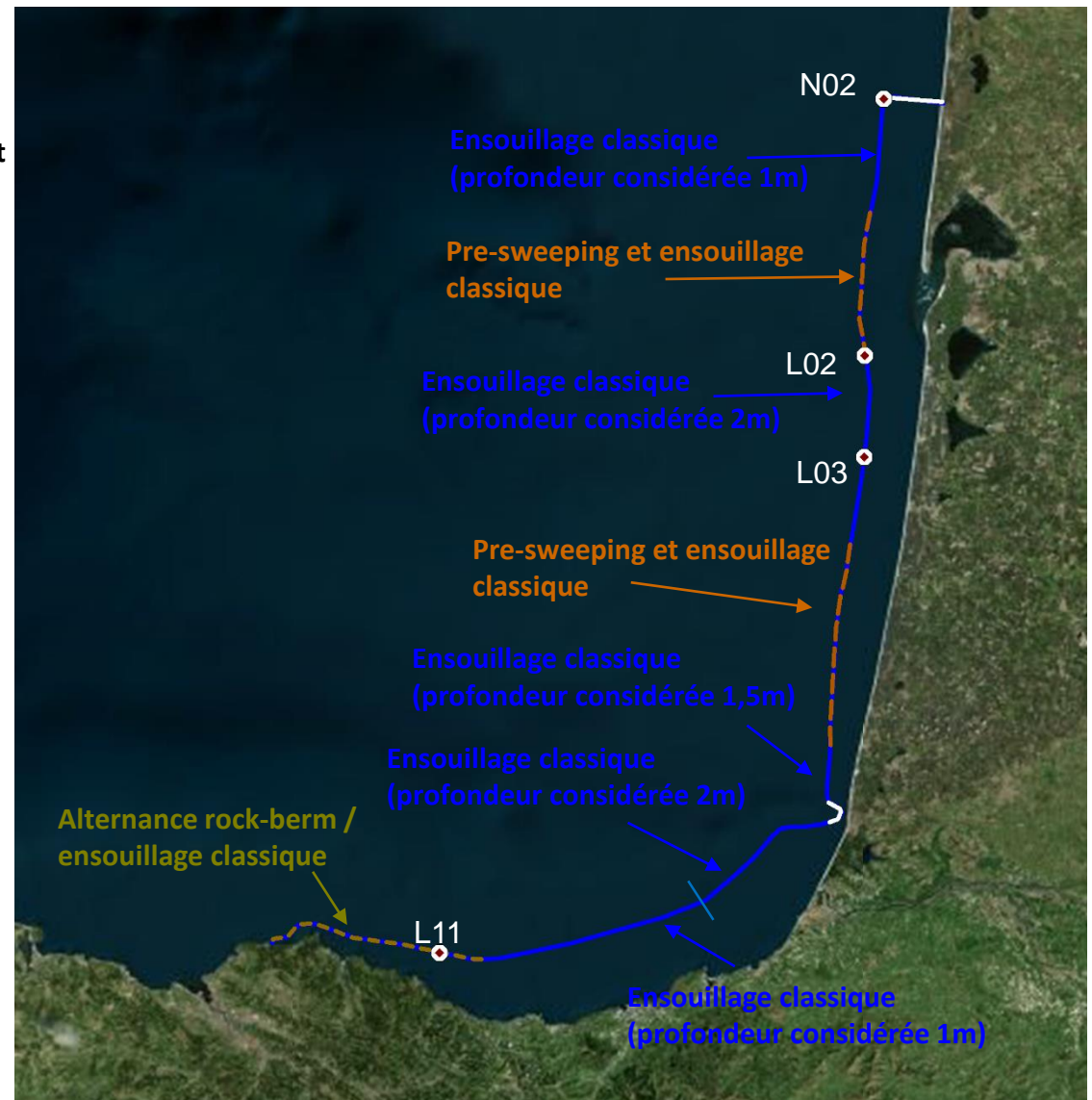
Annexe B – Impact sur la houle



Localisation des zones pour l'étude d'impact sur la houle et les courants

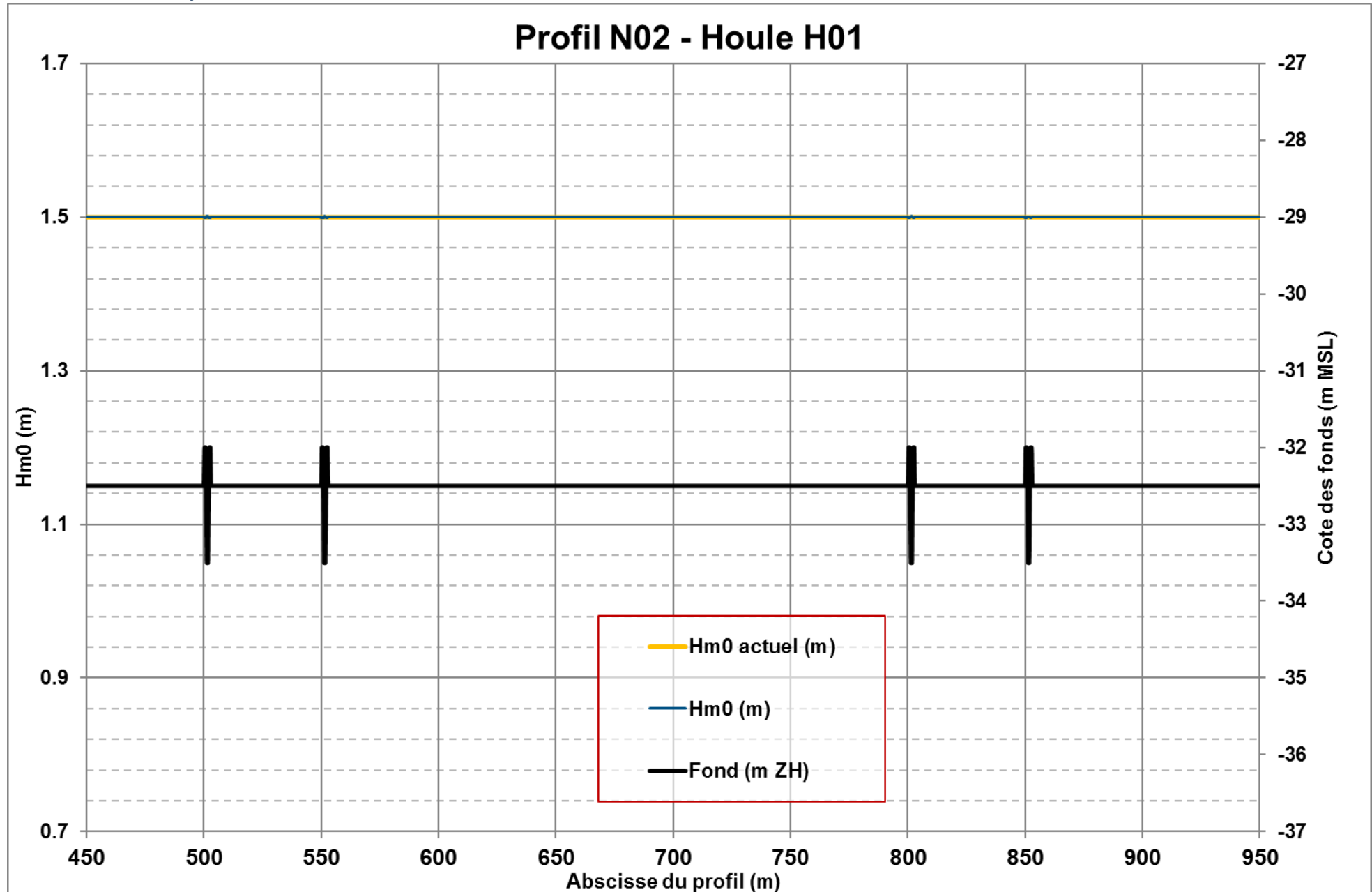
CONDITIONS DE HOULE:

- H1 : $H_{m0} = 1,5 \text{ m}$, $T_p = 11 \text{ s}$, $\text{Dir} = 310^\circ\text{N}$
- H2 : $H_{m0} = 1,5 \text{ m}$, $T_p = 11 \text{ s}$, $\text{Dir} = 270^\circ\text{N}$
- H3 : $H_{m0} = 5 \text{ m}$, $T_p = 16 \text{ s}$, $\text{Dir} = 280^\circ\text{N}$
- H4 : $H_{m0} = 3 \text{ m}$, $T_p = 12 \text{ s}$, $\text{Dir} = 280^\circ\text{N}$

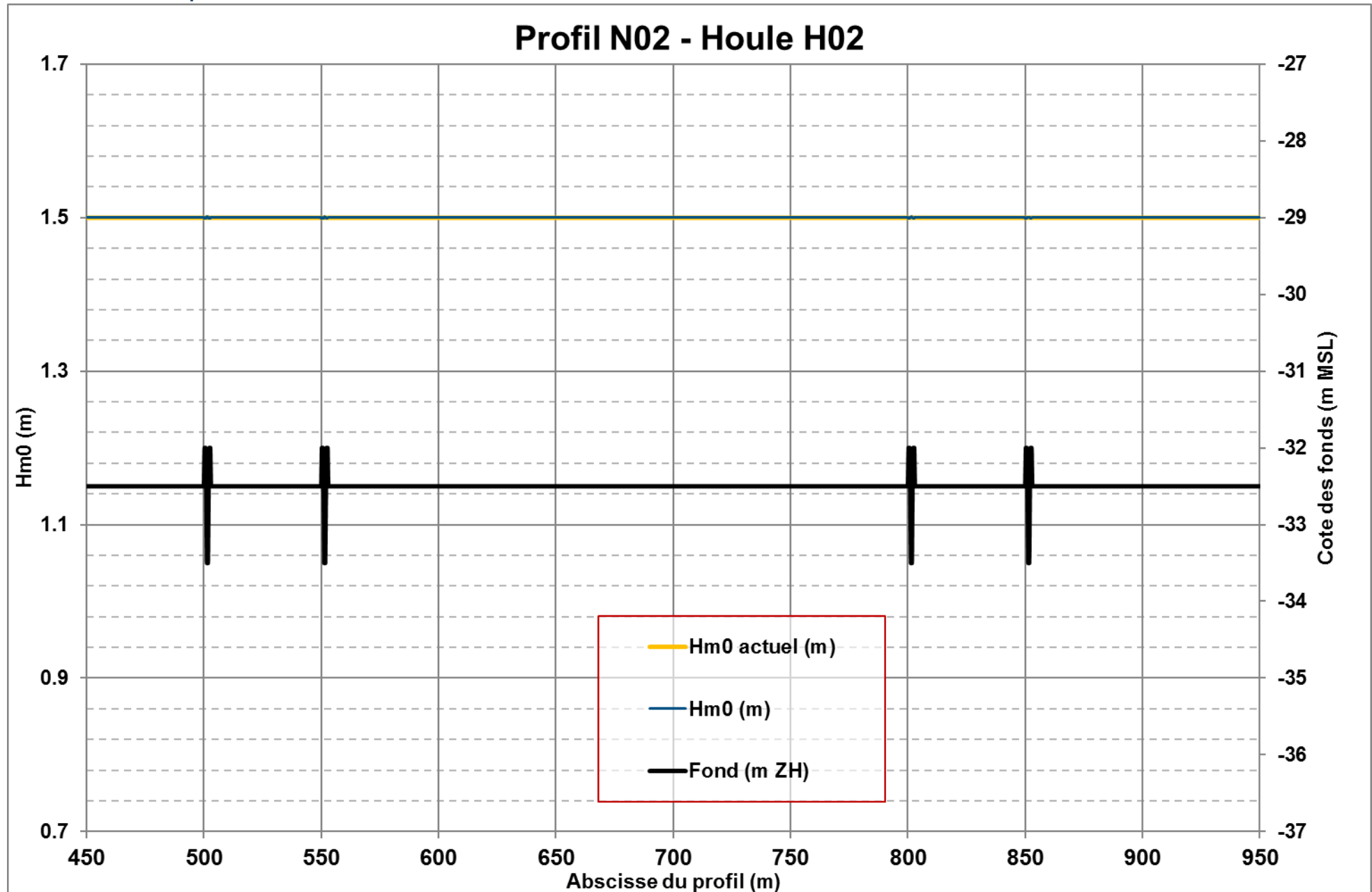


**POINT N02 – PROFONDEUR \approx -32,5 M MSL
ENSOUILLAGE CLASSIQUE A 1 M**

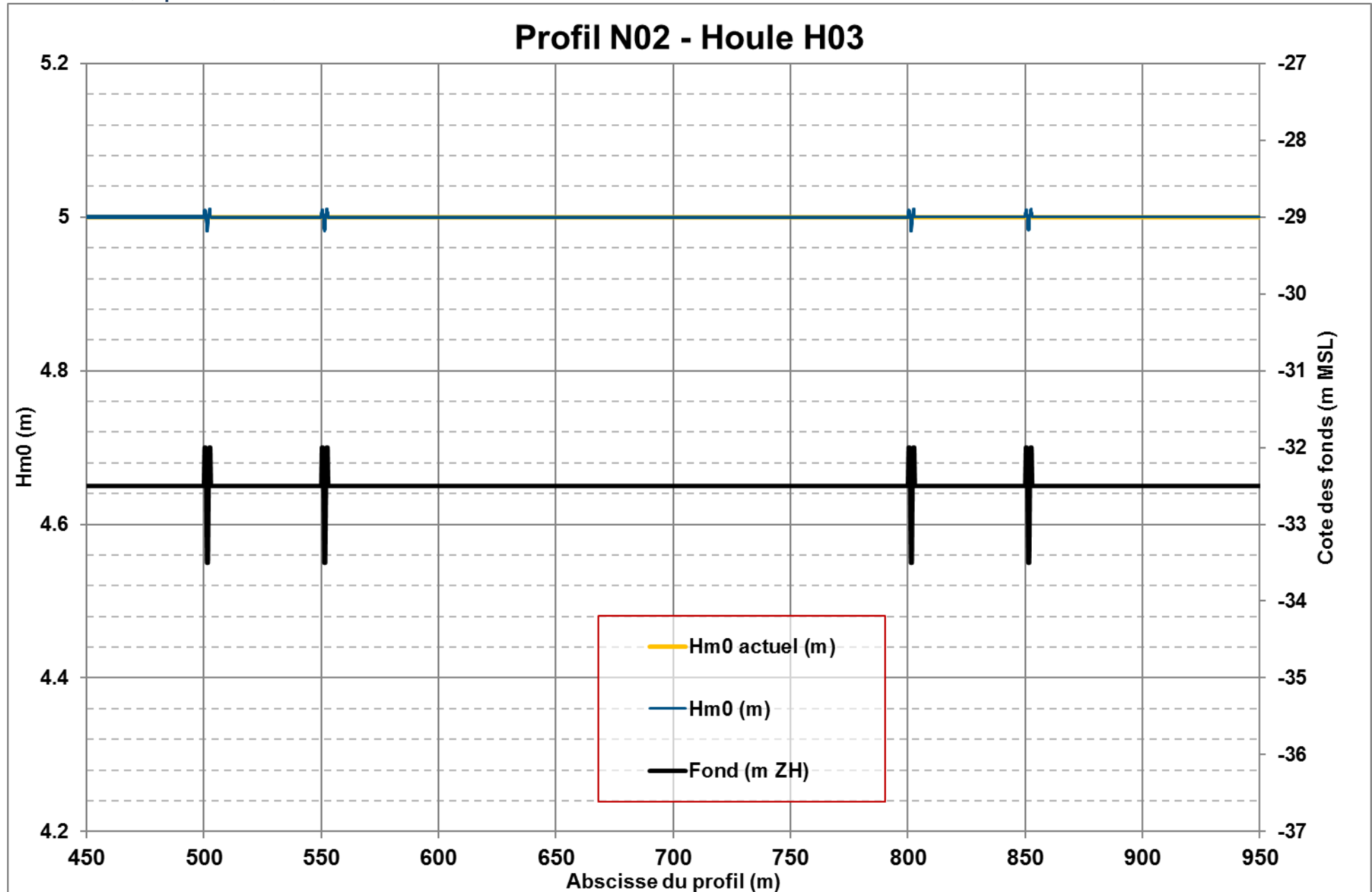
H1 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 310°N



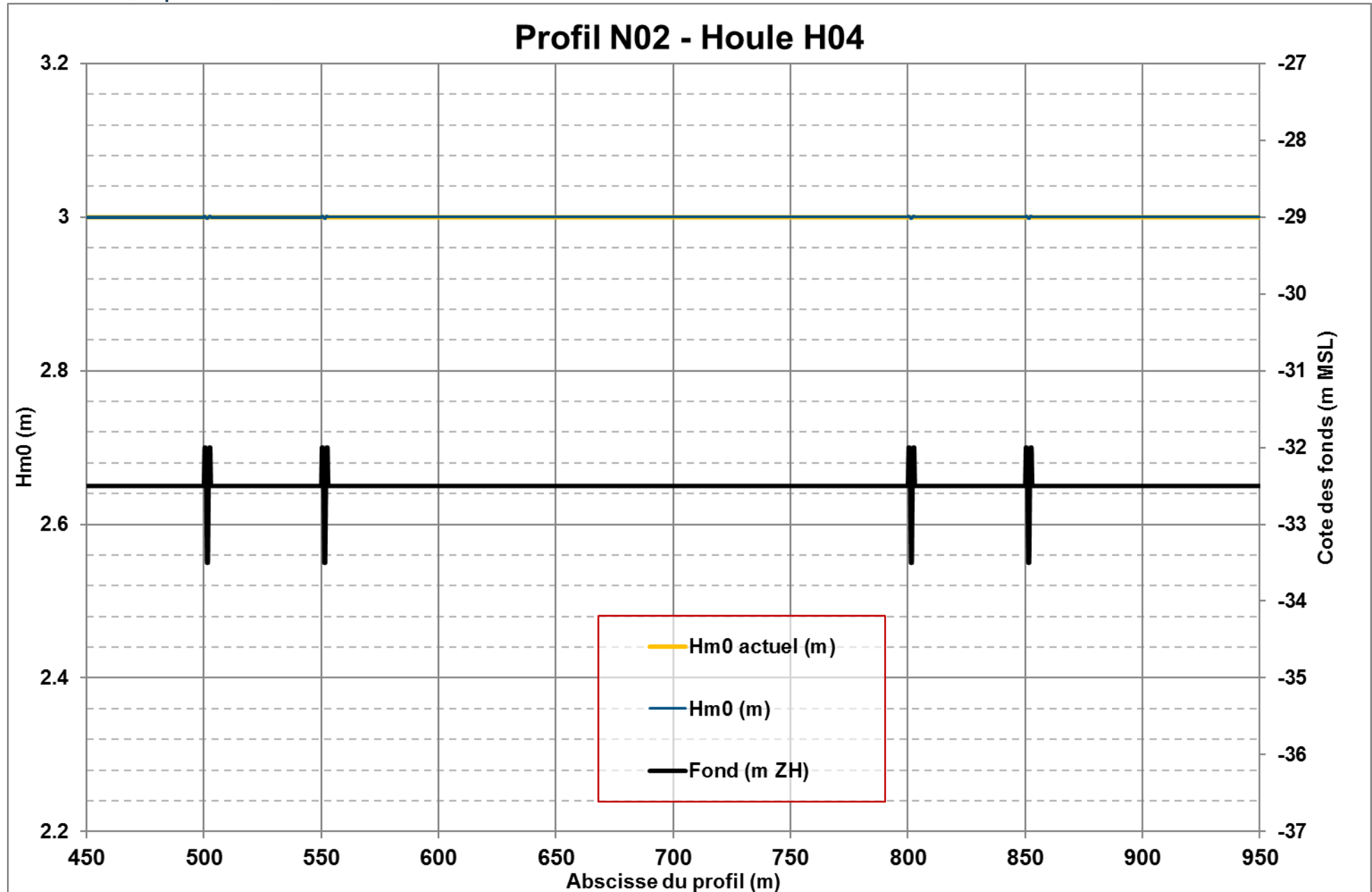
H2 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, $Dir = 270^\circ N$



H3 : $H_{m0} = 5$ m, $T_p = 16$ s, $Dir = 280^\circ N$

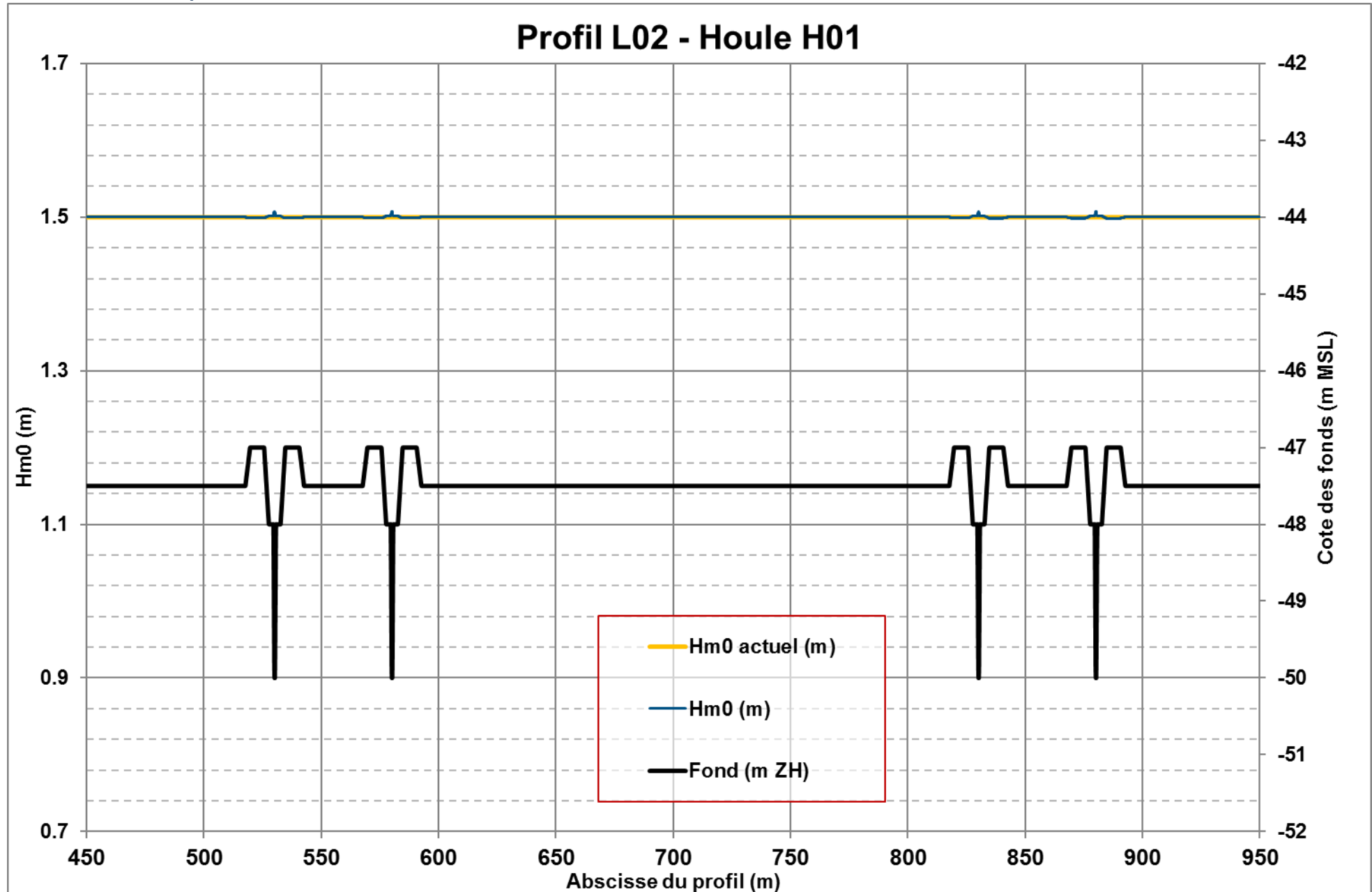


H4 : $H_{m0} = 3$ m, $T_p = 12$ s, Dir = 280°N

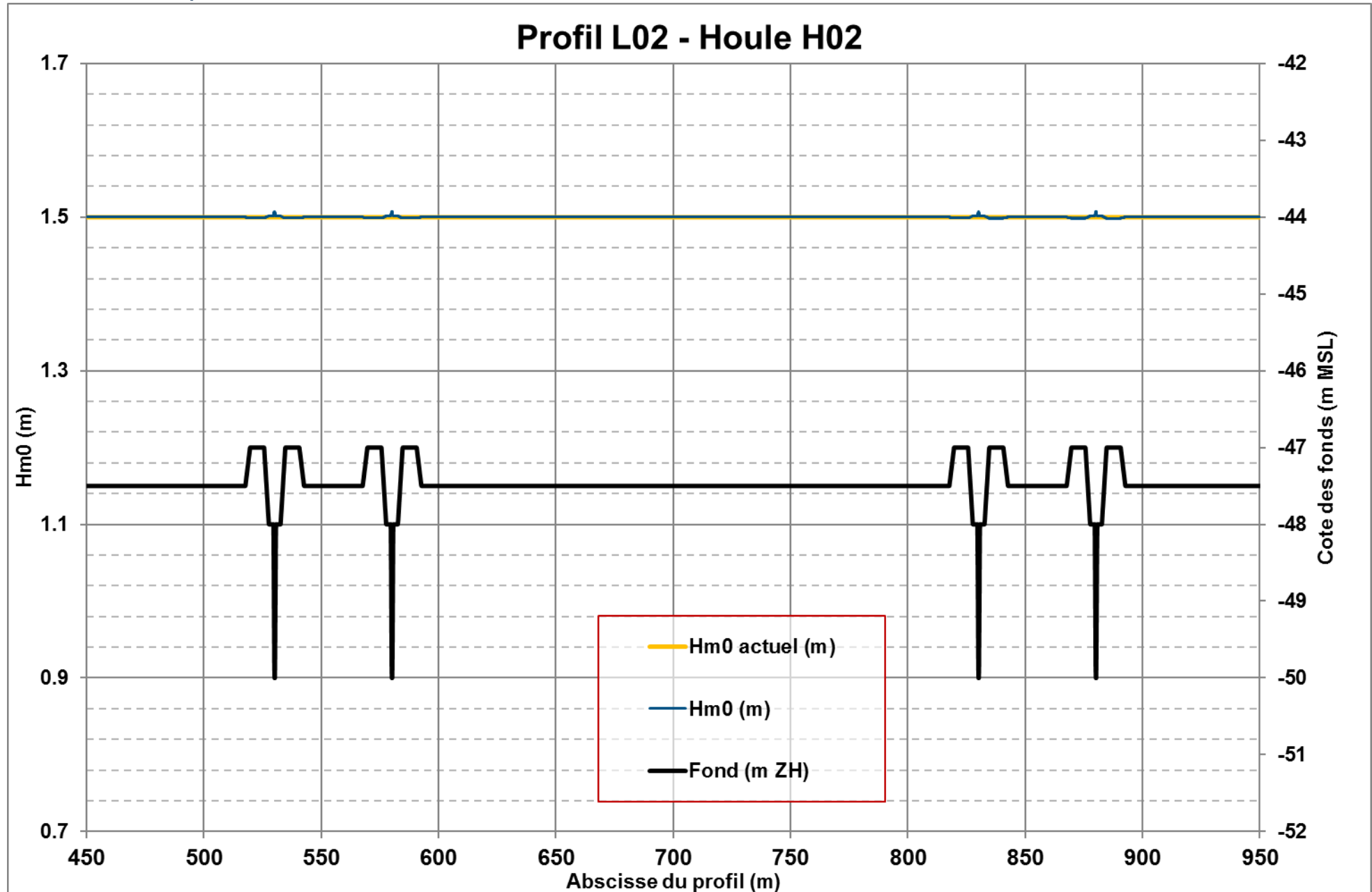


**POINT L02 – PROFONDEUR \approx -47,5 M MSL
PRE-SWEEPING + ENSOUILLAGE CLASSIQUE A 2 M**

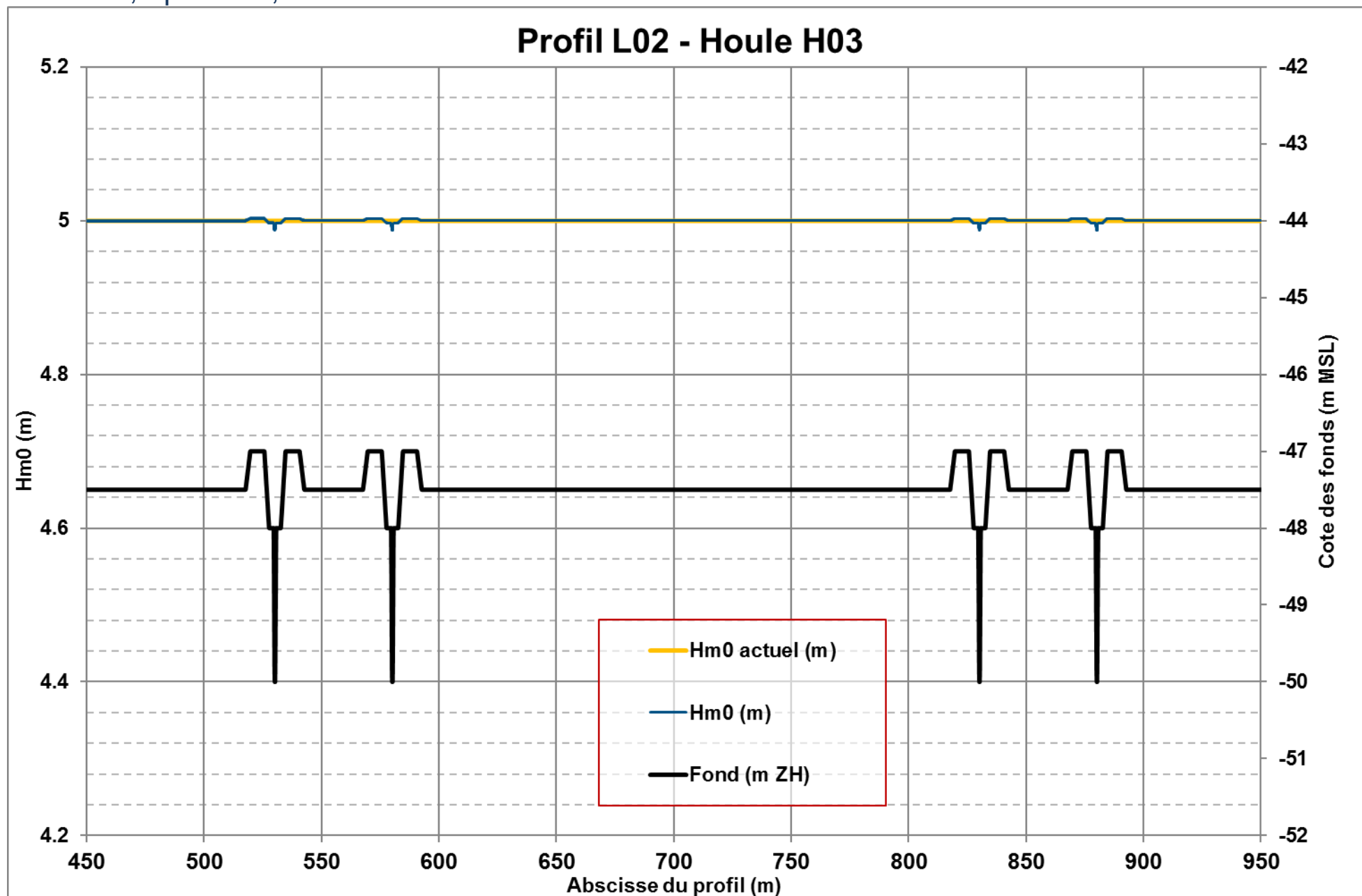
H1 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 310°N



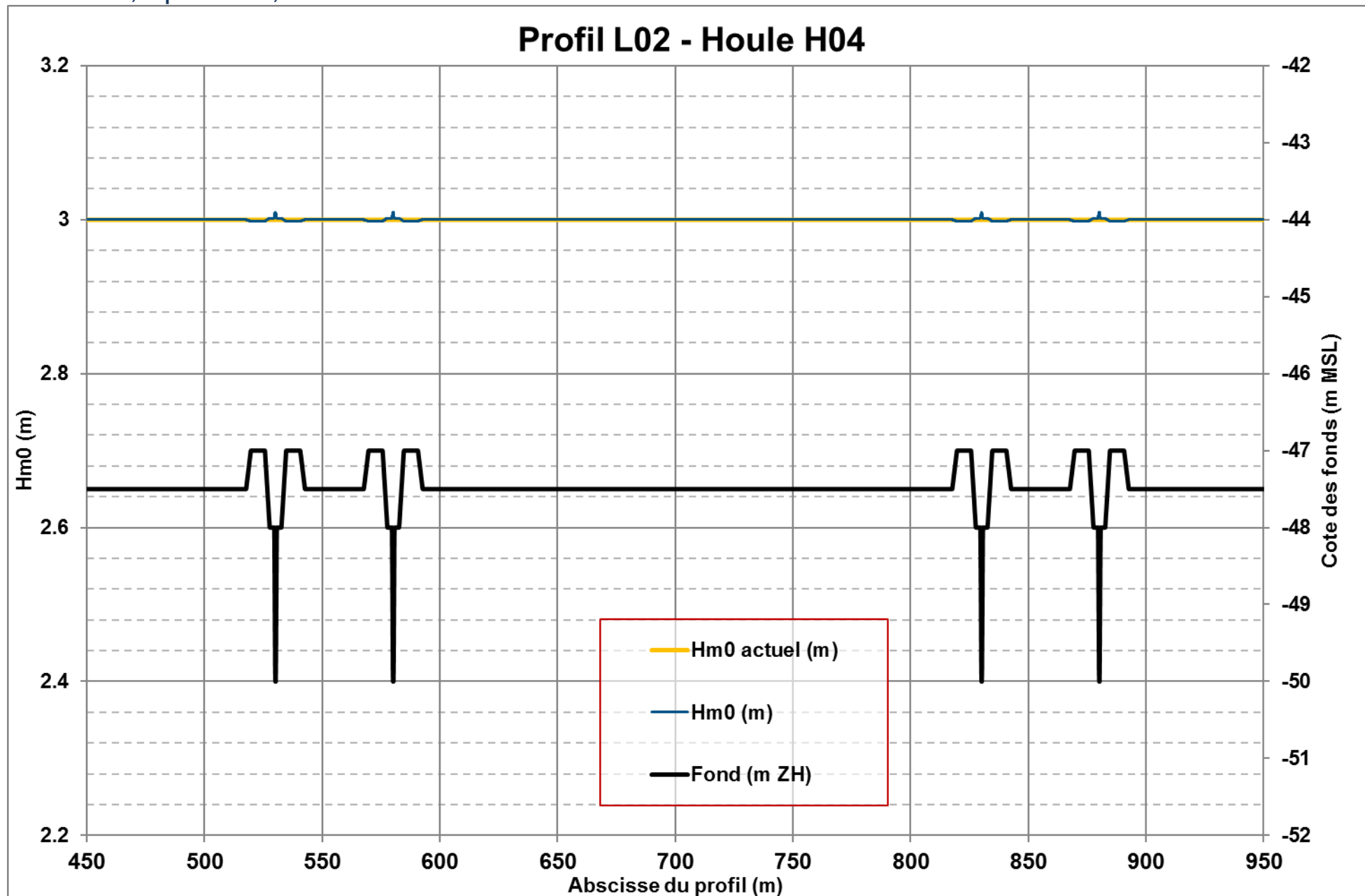
H2 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 270°N



H3 : $H_{m0} = 5$ m, $T_p = 16$ s, Dir = 280°N

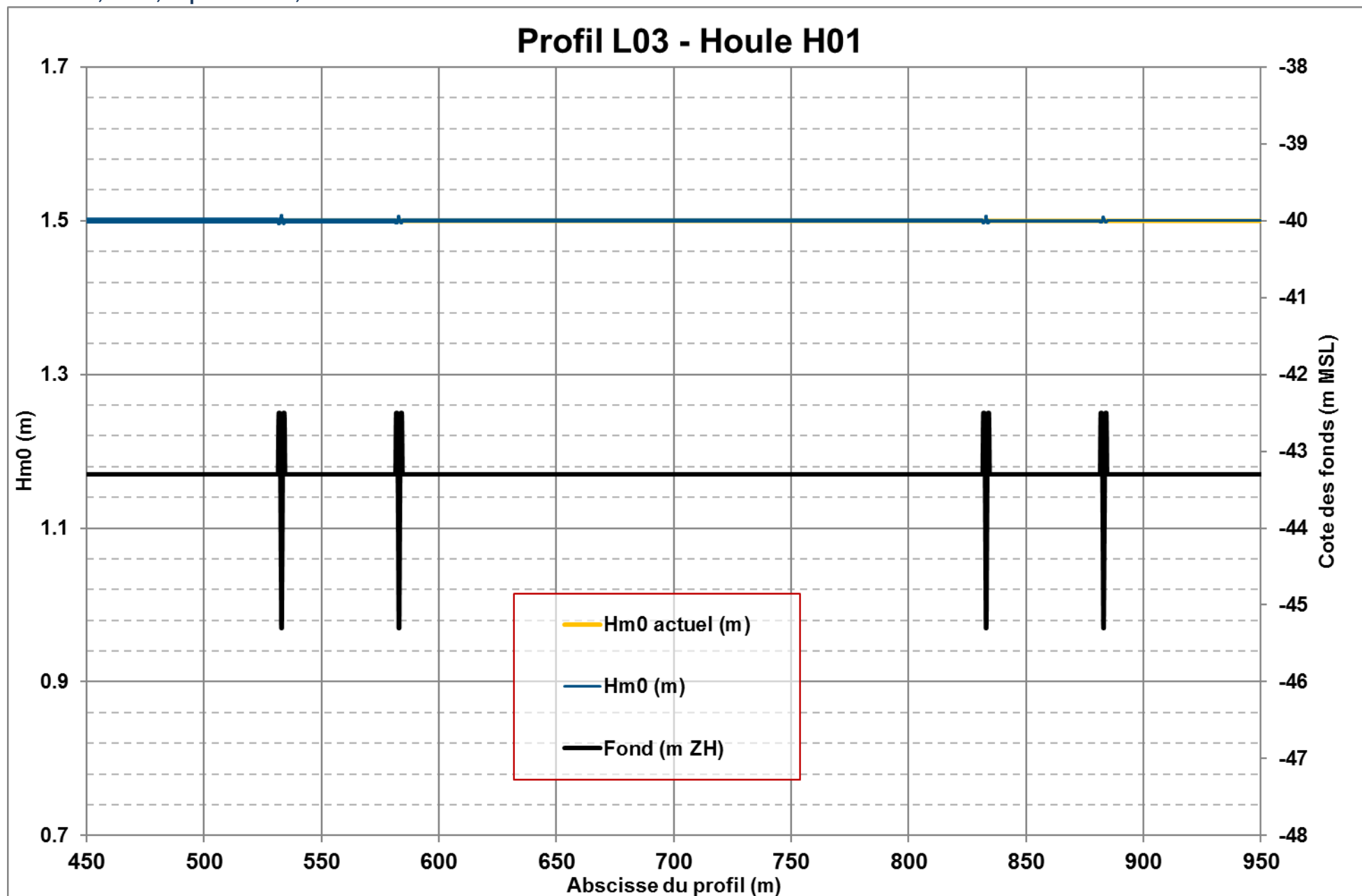


H4 : $H_{m0} = 3$ m, $T_p = 12$ s, Dir = 280°N

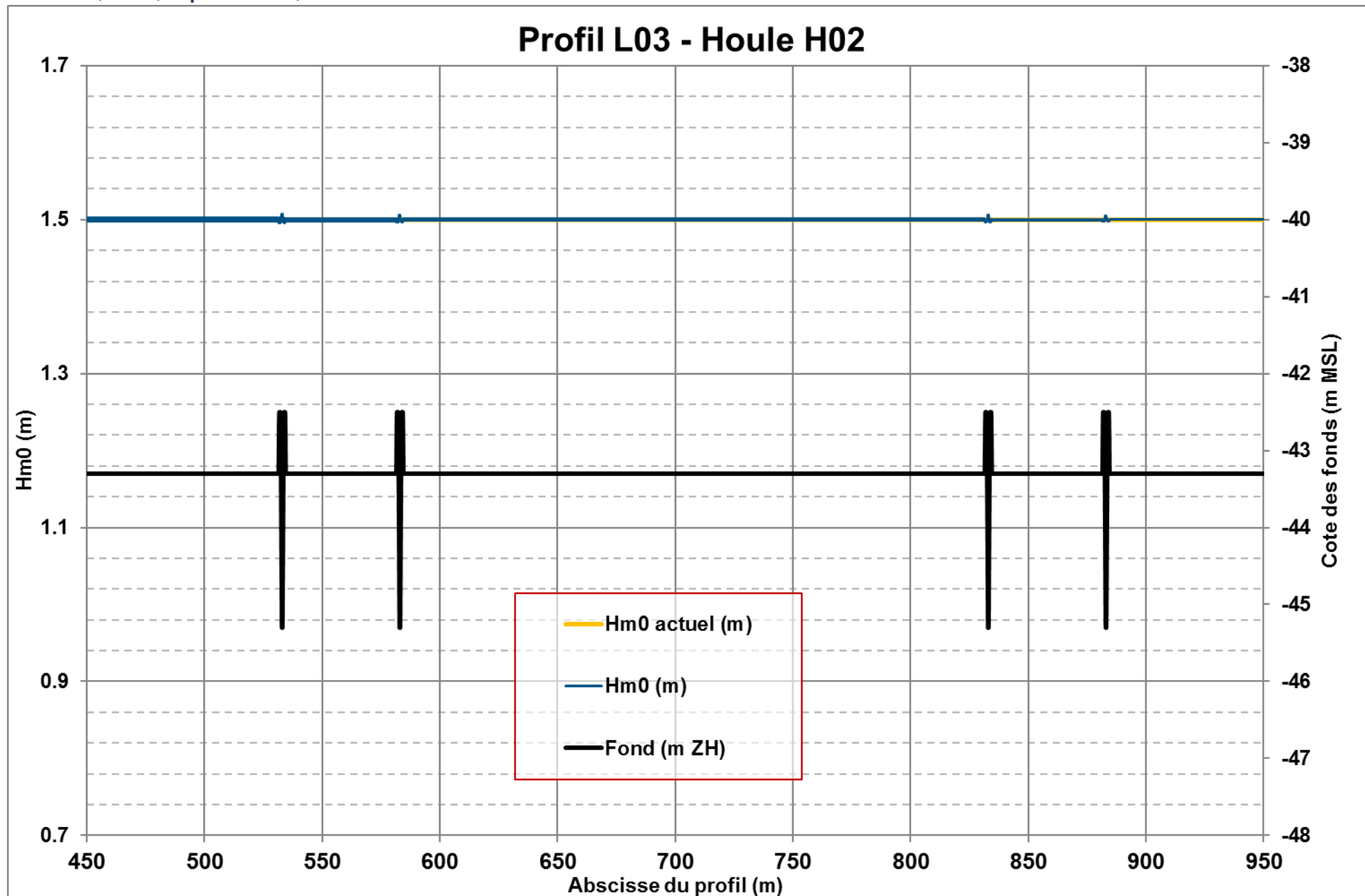


**POINT L03 – PROFONDEUR \approx -43,3 M MSL
ENSOUILLAGE CLASSIQUE A 2 M**

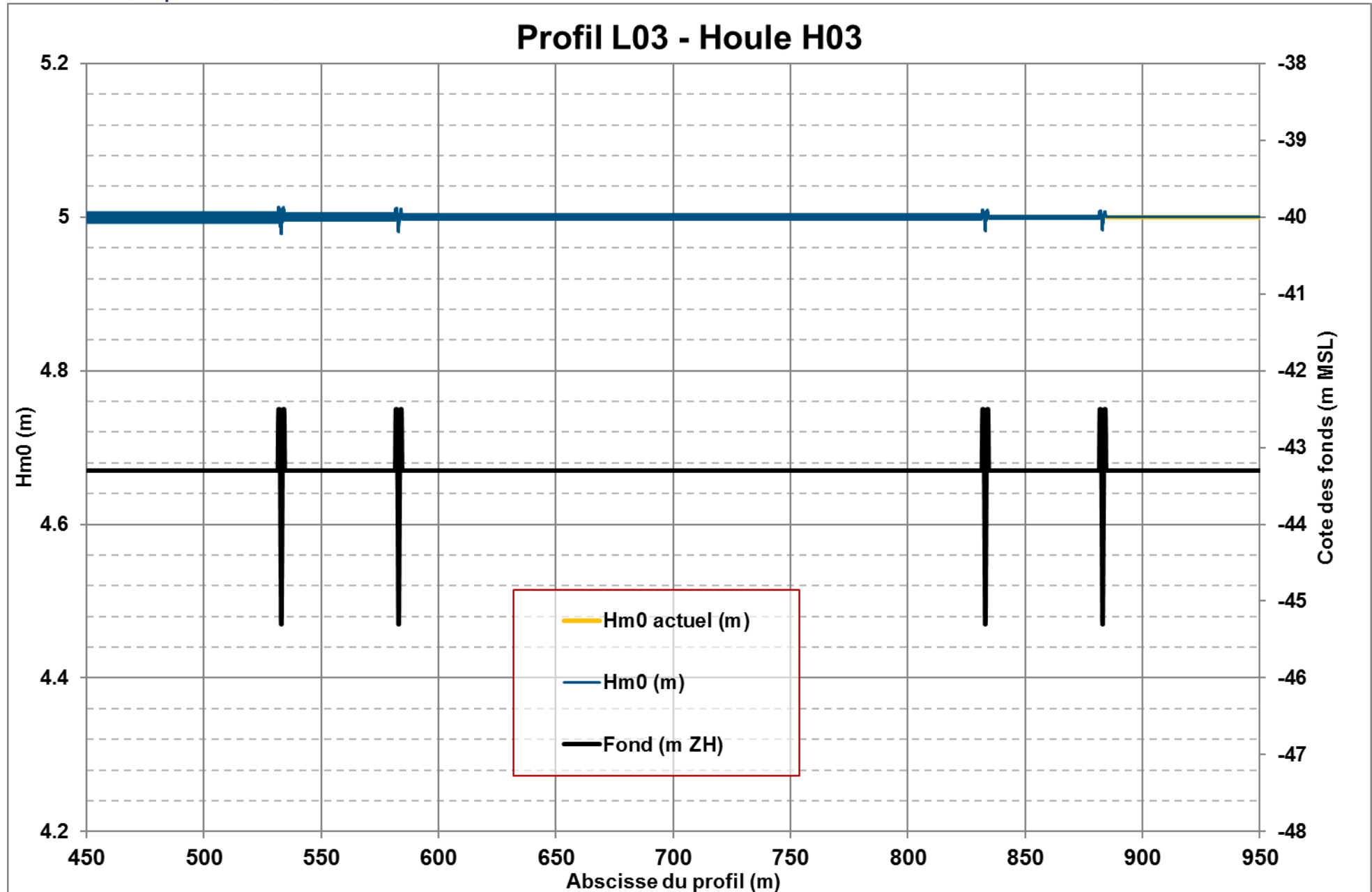
H1 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, $Dir = 310^\circ N$



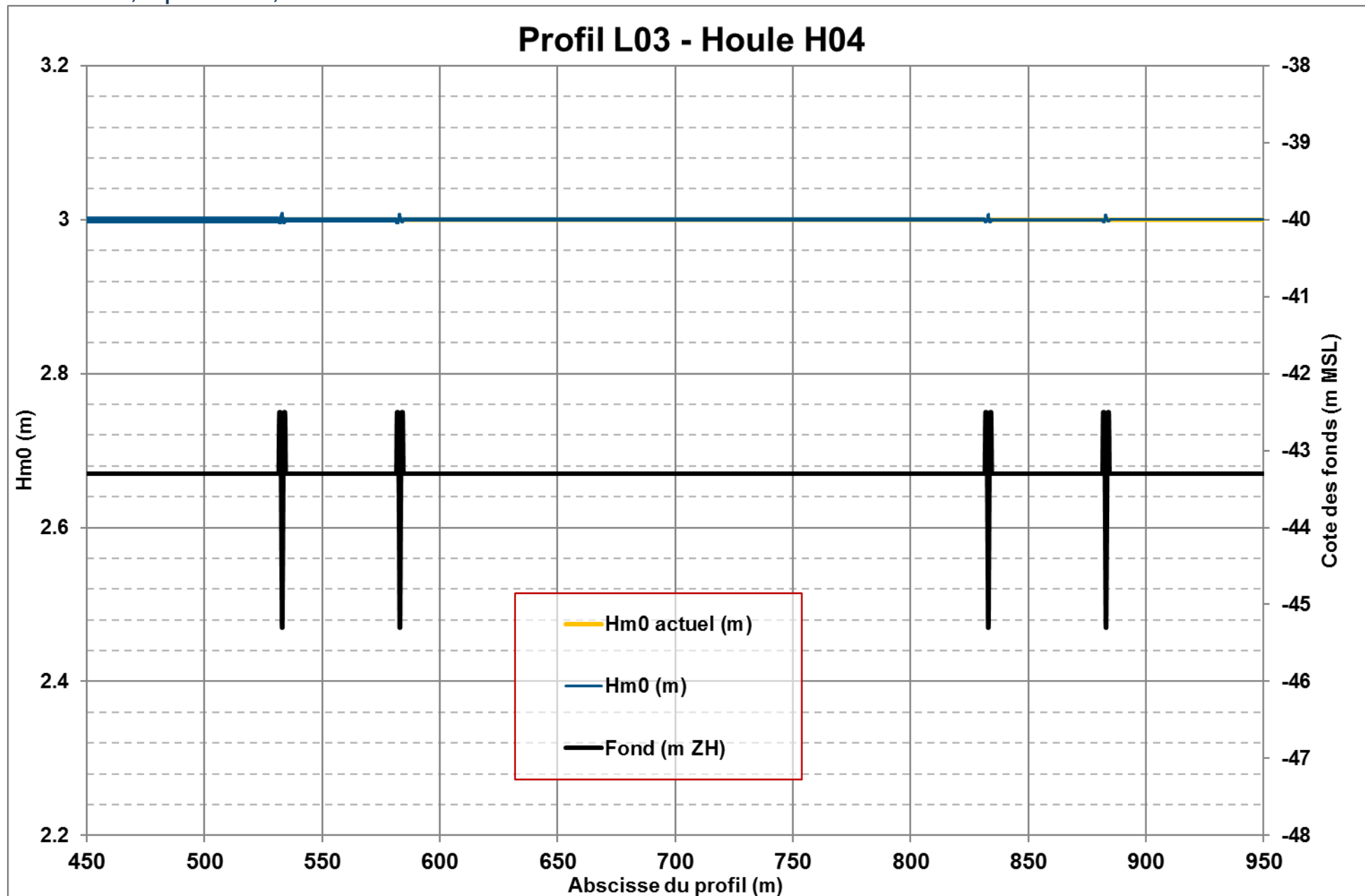
H2 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 270°N



H3 : $H_{m0} = 5$ m, $T_p = 16$ s, Dir = 280°N

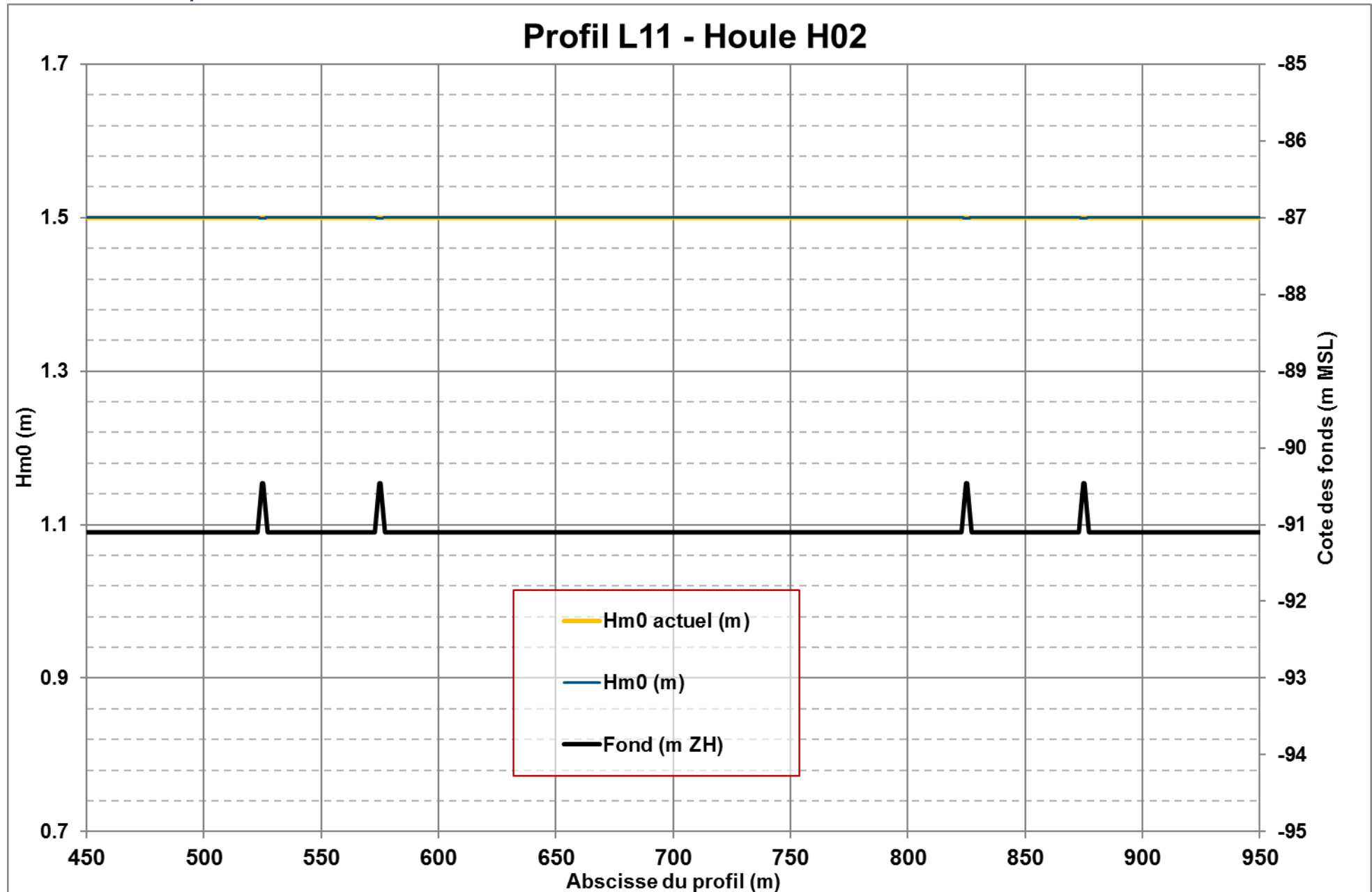


H4 : $H_{m0} = 3$ m, $T_p = 12$ s, Dir = 280°N

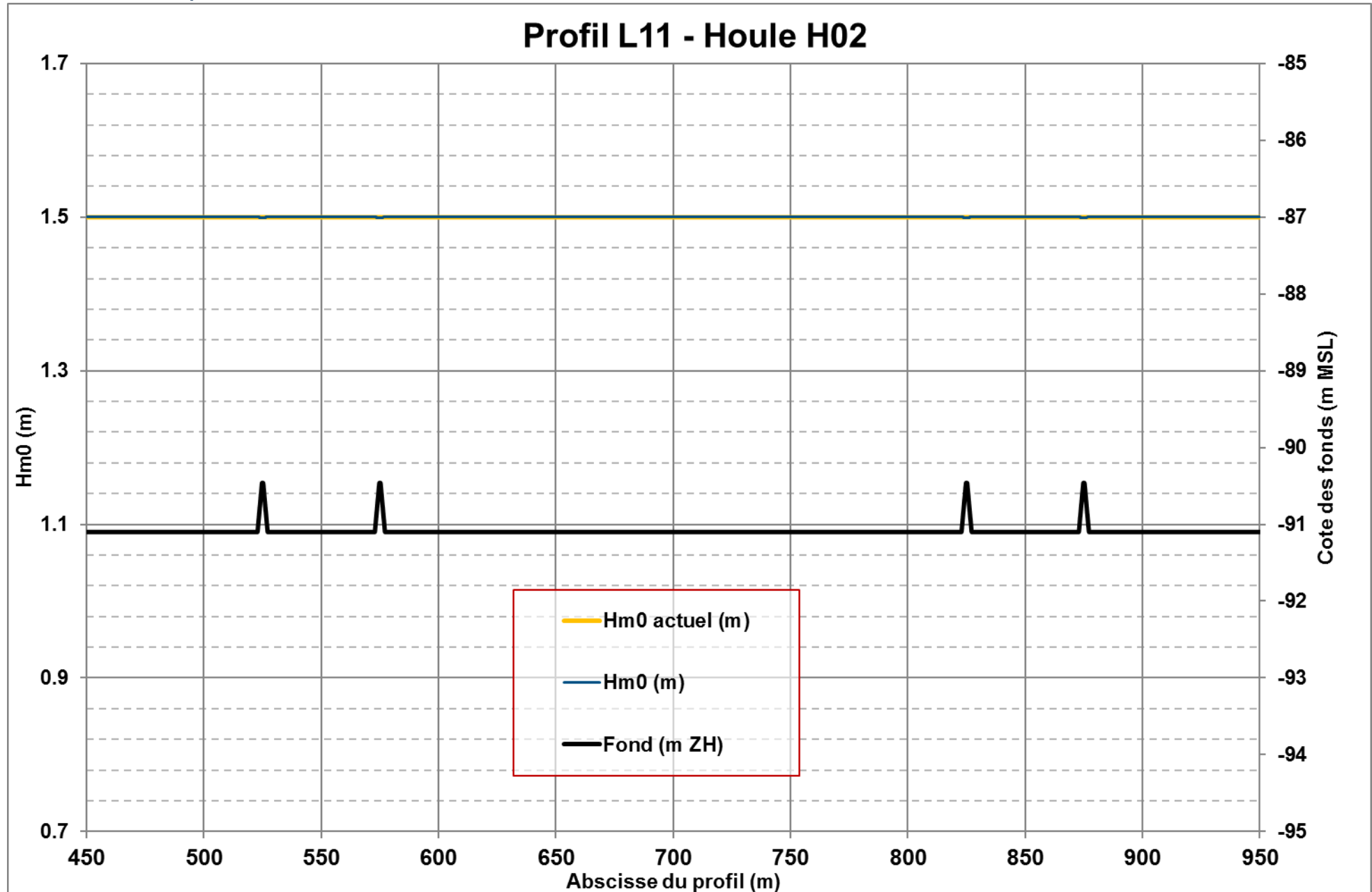


POINT L11 – PROFONDEUR \approx -91,1 M MSL
ROCK BERM

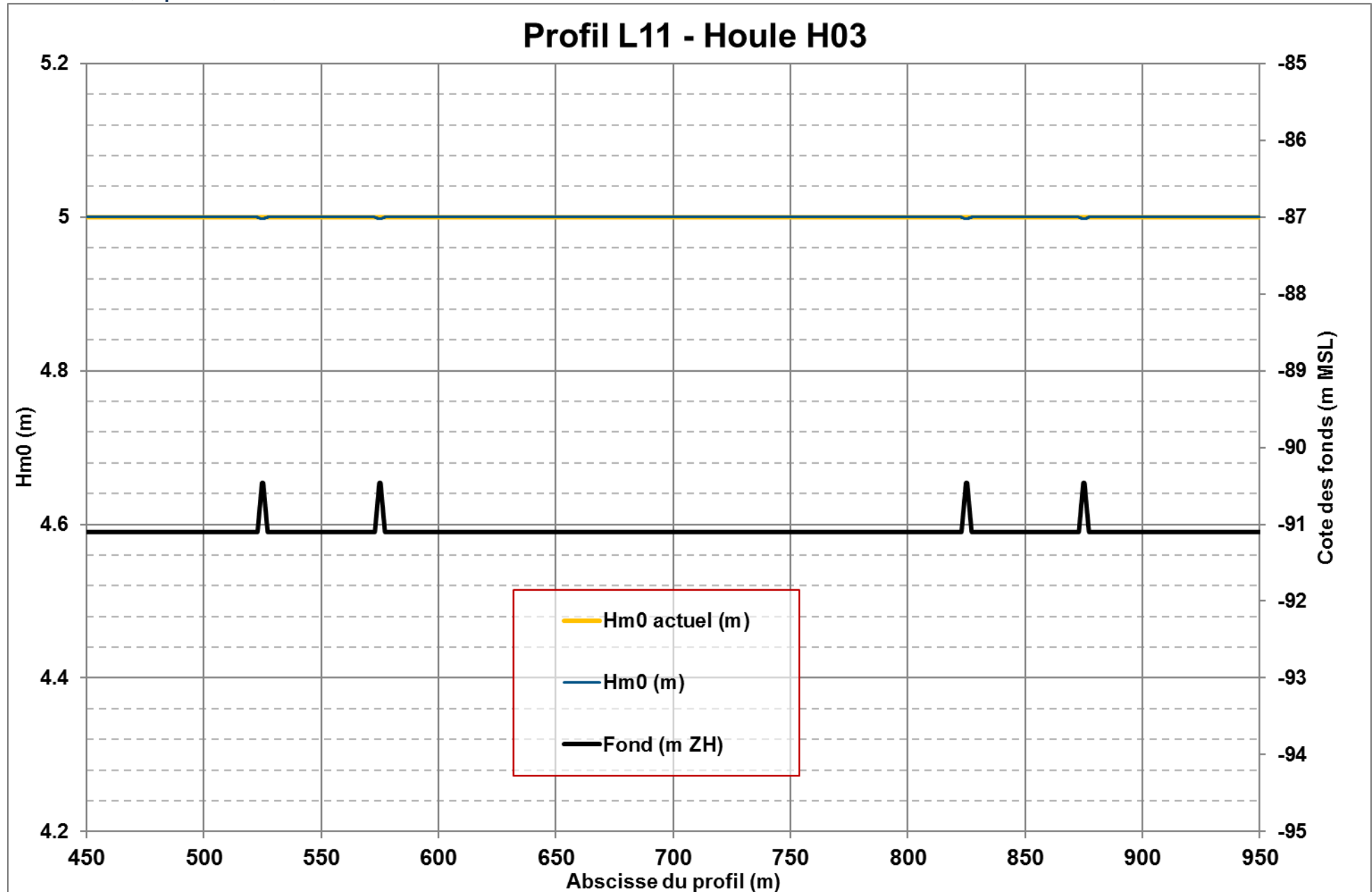
H1 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 310°N



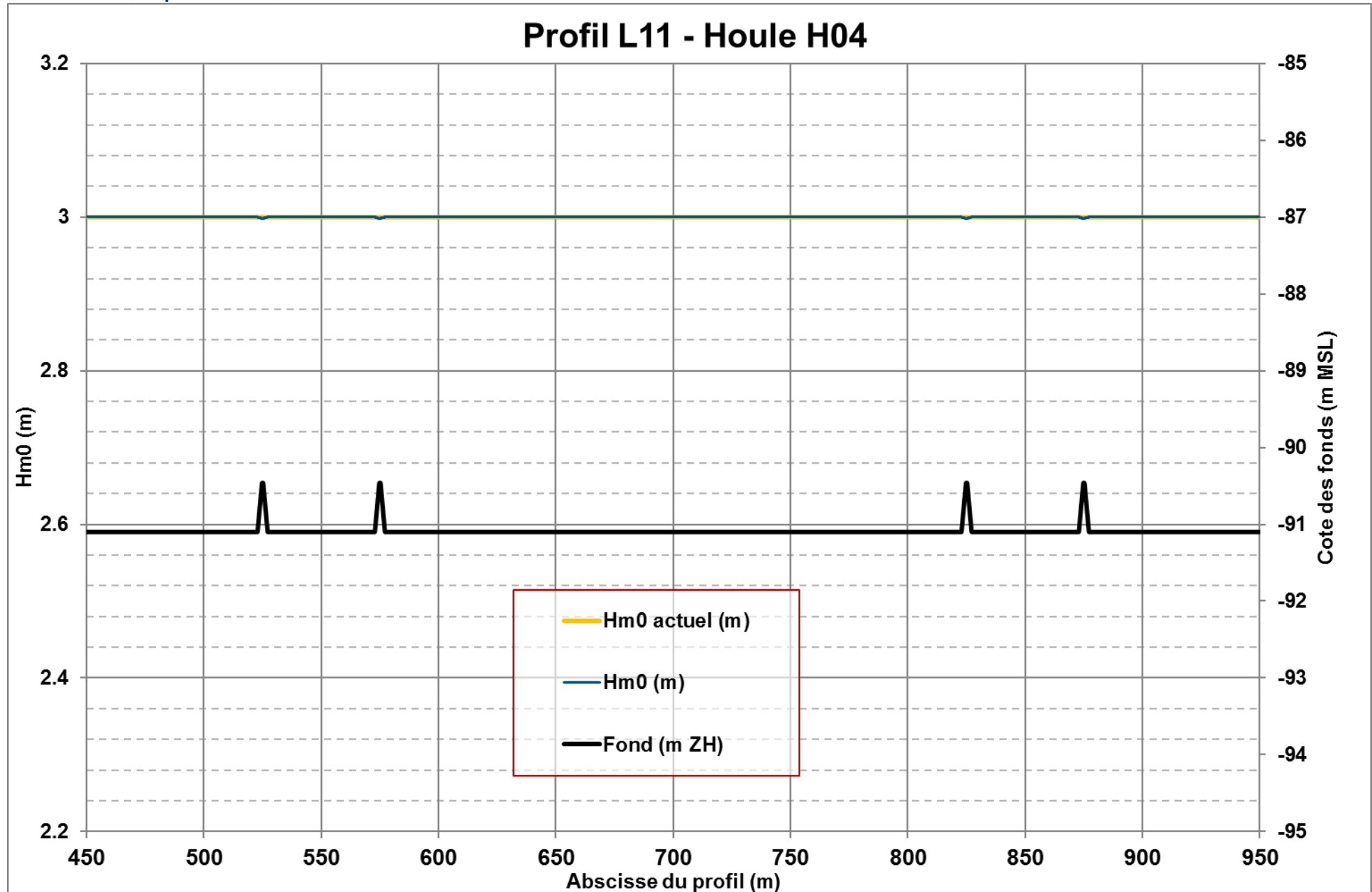
H2 : $H_{m0} = 1,5$ m, $T_p = 11$ s, Dir = 270°N



H3 : $H_{m0} = 5$ m, $T_p = 16$ s, Dir = 280°N



H4 : $H_{m0} = 3$ m, $T_p = 12$ s, Dir = 280°N



Inelfe

Liaisons sous-marines



LIAISON SOUS-MARINE GOLFE DE GASCOGNE

EVALUATION DES INCIDENCES DES TRAVAUX DE POSE

RAPPORT D'ETUDE – ETAPE 3 – V3

ARTELIA Eau & Environnement

6 rue de Lorraine
38130 - Echirolles
Tel. : +33 (0) 4 76 33 40 00
Fax : +33 (0) 4 76 33 43 33



N° 8 71 3734-7-v3 - Liaison sous-marine Golfe de Gascogne – Evaluation des incidences de travaux de pose					
3	Prise en compte des commentaires	FGN	SAL	SAL	03/07/2019
2	Rapport final – Etape 3 uniquement	RWR	FGN	SAL	17/05/2019
1	Rapport final – Etapes 1, 3 et 4	ALR / FGN / RWR / OBD	FGN	SAL	13/05/2019
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Le projet Golfe de Gascogne vise à créer une nouvelle interconnexion électrique entre la France et l'Espagne. Longue de 370 km, enfouie dans le sol ou posée au fond de l'Océan, elle reliera le poste de Cubnezais (près de Bordeaux) et le poste de Gatika (près de Bilbao).

Pour répondre à la demande de l'étude d'impact, sur la partie des eaux territoriales françaises et espagnoles, INELFE a sollicité ARTELIA pour l'évaluation des incidences des travaux de protection de la liaison sous-marine.

L'étude comprend 4 étapes :

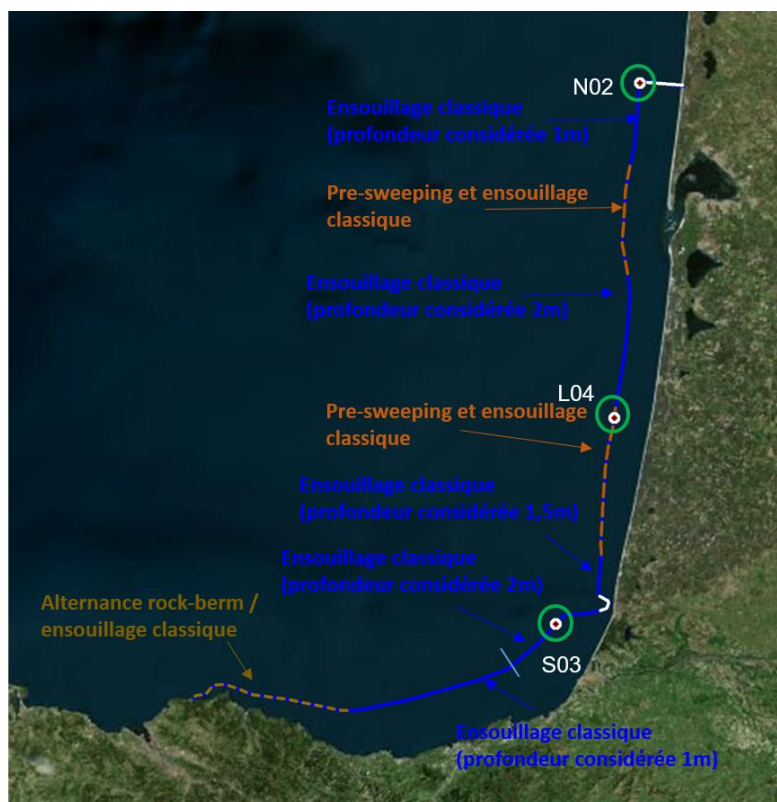
- Etape 1 : quantification de l'état naturel initial ;
- Etape 2 : devenir des panaches turbides en phase travaux ;
- Etape 3 : évolution des fonds au niveau des souilles ;
- Etape 4 : impact des travaux sur la houle et les courants.

ETAPE 3 : Evolution des fonds au niveau des souilles

Une estimation du remplissage et de l'évolution du profil des tranchées a été effectuée en 3 zones représentatives de la route.

- Le point N02 : ensouillage de 1 mètre par une profondeur moyenne de 32,5 m ;
- Le point L03 : pre-sweeping + ensouillage de 2 mètres par une profondeur moyenne de 46,1 m ;
- Le point S03 : ensouillage de 2 mètres par une profondeur moyenne de 105,5 m.

 Localisation des zones pour l'étude d'impact sur les fonds



Les logiciels utilisés pour cette étude sont :

- SEDPIT qui permet le calcul du volume piégé dans une tranchée simplifiée, pour de multiples conditions de forçages et de différence de direction entre la tranchée et le courant. Il permet notamment de calibrer les conditions moyennes annuelles équivalentes que l'on peut introduire dans SED-tube ;
- SED-tube : canal numérique 1D hydro-sédimentaire pour des conditions uniques de flot et jusant. Le profil de chenal est alors forcément perpendiculaire aux courants. Lorsque les conditions moyennes annuelles sont bien calées (via SEDPIT dans notre cas), il permet d'étudier le calcul de l'évolution d'un profil réel (non simplifié) à long terme, et le remplissage de la tranchée.

Tous les résultats de ces outils (qu'ils soient complexes ou pas) sont sensibles en premier lieu au transport solide calculé en fonction des conditions de forçage. La meilleure façon d'affiner les résultats sans avoir à créer de tranchée expérimentale est de calibrer le transport solide sur des mesures in-situ pour des conditions houle / courant données (exemple : résultats issus du projet Européen SANDPIT : « Sand transport and morphology of Offshore Sand Mining pits », auquel ARTELIA a collaboré). Seuls les ordres de grandeurs de remplissage sont donc à retenir pour l'instant, un affinement est cependant toujours possible *a posteriori*, avec des mesures in-situ de transport solide et des conditions hydrodynamiques (houle et courant) synchrones, ou des mesures d'évolutions de souilles expérimentales.

Pour chaque localisation, la partie émergente du carottage disponible le plus proche du site est utilisé pour définir les d50 et d90 de la fraction sableuse ainsi que la teneur des sédiments (sable, gravier, fines...).

Les données hydrodynamiques sont issues des 20 années simulées lors de l'étude météo-océanique réalisée pour le compte d'INELFE sur le même site d'étude. L'analyse des courants en chaque point a permis de calculer les occurrences de 144 classes de directions-intensités, avec un pas de 20° pour les directions et un pas de 0,1 m/s pour les intensités. Ces conditions servent de conditions de forçage aux outils SEDPIT et SED-tube.

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus pour chaque localisation et notamment le nombre d'années nécessaire pour que la souille/tranchée soit remplie à 50% et à 90%. Il est à noter que ces temps de recomblement ne prennent pas en compte le rebouchage partiel de la tranchée directement après le passage de l'engin. Le recomblement s'opère par effondrement des sédiments sur les pentes de la tranchée, ainsi que par retombée d'une partie des sédiments projetés dans la colonne d'eau au-dessus de la tranchée.

Localisation	Profondeur (m) Direction de la tranchée (°N) Sédiment (mm)	Profil et volume à remplir	Nombre d'années pour remplir 50% de la tranchée	Nombre d'années pour remplir 90% de la tranchée	Facteur multiplicatif sur le taux de remplissage min et max (sensibilité à la direction de la tranchée)
N02	32,5 m 3,3°N d ₅₀ =0,44 d ₉₀ =1,10	Ensouillage:1m (700 m ³ /km)	4	14	0,8-3,7
L04	46,1m 11,3°N d ₅₀ =0,21 d ₉₀ =0,94	Pre- sweeping :1m (3000 m ³ /km) + Ensouillage:2m (1200 m ³ /km)	55	+ de 150	1-3,6
L04	46,1m 11,3°N d ₅₀ =0,21 d ₉₀ =0,94	Partie Ensouillage:2m uniquement (1200 m ³ /km)	11	25	1-3,6
S03	105,5m 41,6° d ₅₀ =0,19 d ₉₀ =0,39	Ensouillage:2m (1200 m ³ /km)	Des centaines d'années	Des centaines d'années	0,9-2,7

oOo

SOMMAIRE

SYNTHESE ET CONCLUSIONS	A
OBJET DE L'ETUDE	I
1. HYPOTHESES GENERALES ET PARAMETRES - DESCRIPTIF DES TRAVAUX	1
1.1. PREAMBULE	1
1.2. MODE OPERATOIRE EN PHASE TRAVAUX	2
1.3. PROFILS DES FONDS ET PARAMETRES DES SEDIMENTS	4
2. ETAPE 3 : EVOLUTION DES FONDS AU NIVEAU DES SOUILLES	8
2.1. DESCRIPTION GENERALE DES PROCESSUS DE DEPOT DANS UN CHENAL (BASICS OF CHANNEL DEPOSITION/SILTATION BY LEO C. VAN RIJN)	9
2.2. ETUDE DU SITE N02	12
2.2.1. PROPRIETES GRANULOMETRIQUES DU SITE N02	12
2.2.2. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES DU SITE N02	12
2.2.3. PROPRIETE DE LA TRANCHEE SUR LE SITE N02	13
2.2.4. EVALUATION DE LA CAPACITE DE PIEGEAGE DE SEDIMENT AVEC SEDPIT	14
2.2.4.1. Simplification du profil	14
2.2.4.2. Capacité de piégeage par condition de houle pour une marée	14
2.2.4.3. Capacité de piégeage annuel	15
2.2.5. EVALUATION DE LA MODIFICATION TEMPORELLE DU PROFIL REEL ET DU REMPLISSAGE	17
2.2.5.1. Calibration du forçage perpendiculaire à l'axe de la tranchée pour SED-TUBE	17
2.2.5.2. Calibration de SED-TUBE	18
2.3. ETUDE DU SITE L04	20
2.3.1. PROPRIETES GRANULOMETRIQUES DU SITE L04	20
2.3.2. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES DU SITE L04	20
2.3.3. PROPRIETE DE LA TRANCHEE SUR LE SITE L04	21
2.3.4. EVALUATION DE LA CAPACITE DE PIEGEAGE DE SEDIMENT AVEC SEDPIT	22
2.3.4.1. Simplification du profil	22
2.3.4.2. Capacité de piégeage par condition de houle pour une marée	22
2.3.4.3. Capacité de piégeage annuel	23
2.3.5. EVALUATION DE LA MODIFICATION TEMPORELLE DU PROFIL REEL ET DU REMPLISSAGE	24
2.3.5.1. Calibration du forçage perpendiculaire à l'axe de la tranchée pour SED-TUBE	24
2.3.5.2. Calibration de SED-TUBE	25
2.4. ETUDE DU SITE S03	27
2.4.1. PROPRIETES GRANULOMETRIQUES DU SITE S03	27
2.4.2. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES DU SITE S03	27

2.4.3. PROPRIETE DE LA TRANCHEE SUR LE SITE S03	28
2.4.4. EVALUATION DE LA CAPACITE DE PIEGEAGE DE SEDIMENT AVEC SEDPIT	28
2.4.4.1. Simplification du profil	28
2.4.4.2. Capacité de piégeage par condition de houle pour une marée	29
2.4.4.3. Capacité de piégeage annuel	29
2.5. CONCLUSION	32
REFERENCES	33

TABLEAUX

Tableau 1 – Types de travaux en fonction des PK	4
Tableau 2 – Tableau de croisement des directions et intensités des courants pour le site N02	13
Tableau 3 – Tableau de croisement des Hs et Tp pour le site N02	13
Tableau 4 – Résultat de la calibration des forçages pour SED-tube	17
Tableau 5 – Tableau de croisement des directions et intensités des courants sur le site L04	20
Tableau 6 – Tableau de croisement des Hs et Tp sur le site L04	21
Tableau 7 – Résultat de la calibration des forçages pour SED-tube	25
Tableau 8 – Tableau de croisement des directions et intensités des courants sur le site S03	27
Tableau 9 – Tableau de croisement des Hs et Tp sur le site S03	28

FIGURES

Figure 1. Projet de liaisons	1
Figure 2. Tracé de l'interconnexion	2
Figure 3. Type de travaux le long de l'interconnexion	3
Figure 4. Profils – Ensouillage classique	5
Figure 5. Profils – Pre-sweeping + Ensouillage classique	6
Figure 6. Profils – Rock Berm Main Route	7
Figure 7. Localisation des profils d'études pour l'étude d'évolution des souilles	8
Figure 8. Dépôt et érosion des tranchées	10
En haut: migration avec écoulement unidirectionnel perpendiculaire à l'axe principal	10
Au milieu: dépôt et érosion avec un courant de marée perpendiculaire à l'axe principal	10
En bas: glissement des sédiments sur les pentes avec un courant de marée parallèle à l'axe principal	10
Figure 9. Processus de transport des sédiments dans un chenal perpendiculaire à l'écoulement	11
Figure 10. Profil d'ensouillage classique (1m)	14
Figure 11. Schéma de principe de simplification du profil	14
Figure 12. Volume de piégeage par km et par marée pour chaque classe de houle	15
Figure 13. Volume de piégeage par km et par année pour chaque classe de houle	16
Figure 14. Volume de piégeage par km et par année suivant la direction de la tranchée	17
Figure 15. Profils de la tranchée au cours des années	18
Figure 16. Volume et taux de remplissage au cours des années	19
Figure 17. Profil pre-sweeping+ ensouillage classique (2m)	21
Figure 18. Schéma de principe de simplification du profil	22

Figure 19. Volume de piégeage par km et par marée pour chaque classe de houle	22
Figure 20. Volume de piégeage par km et par année pour chaque classe de houle.....	23
Figure 21. Volume de piégeage par km et par année suivant la direction de la tranchée	24
Figure 22. Profils de la tranchée au cours des années	25
Figure 23. Volume et taux de remplissage au cours des années	26
Figure 24. Profil ensouillage classique (2m).....	28
Figure 25. Schéma de principe de simplification du profil	29
Figure 26. Volume de piégeage par km et par marée pour chaque classe de houle	29
Figure 27. Volume de piégeage par km et par année pour chaque classe de houle.....	30
Figure 28. Volume de piégeage par km et par année suivant la direction de la tranchée	31

OBJET DE L'ETUDE

Le projet Golfe de Gascogne vise à créer une nouvelle interconnexion électrique entre la France et l'Espagne. Longue de 370 km, enfouie dans le sol ou posée au fond de l'Océan, elle reliera le poste de Cubnezais (près de Bordeaux) et le poste de Gatika (près de Bilbao).

L'interconnexion électrique France-Espagne par le Golfe de Gascogne est mise en œuvre par INELFE, la société constituée par RTE le Réseau de Transport d'Electricité français et son homologue espagnol REE (Red Eléctrica de España).

Pour répondre à la demande de l'étude d'impact, sur la partie des eaux territoriales françaises et espagnoles, INELFE a sollicité ARTELIA pour l'évaluation des incidences des travaux de protection de la liaison sous-marine.

L'étude comprend 4 étapes :

- Etape 1 : quantification de l'état naturel initial ;
- Etape 2 : devenir des panaches turbides en phase travaux ;
- Etape 3 : évolution des fonds au niveau des souilles ;
- Etape 4 : impact des travaux sur la houle et les courants.

Le présent rapport correspond à l'étape 3 de l'étude.

1. HYPOTHESES GENERALES ET PARAMETRES - DESCRIPTIF DES TRAVAUX

1.1. PREAMBULE

Le projet est constitué de deux liaisons électriques.

Chaque liaison est constituée de deux câbles électriques, soit 4 câbles électriques en tout (Figure 1). Chaque câble électrique est posé séparément le long d'un tracé donné appelé route de câble. Il y a donc 4 routes de câbles, deux par liaison électrique réparties ainsi :

- 50 m de distance entre 2 routes de câbles d'une même liaison ;
- 250 m de distance entre les 2 routes de câbles les plus proches des 2 liaisons électriques.

Pour chacune des liaisons électriques, un câble fibre optique est attaché à un des deux câbles électriques et donc posé simultanément à celui-ci.

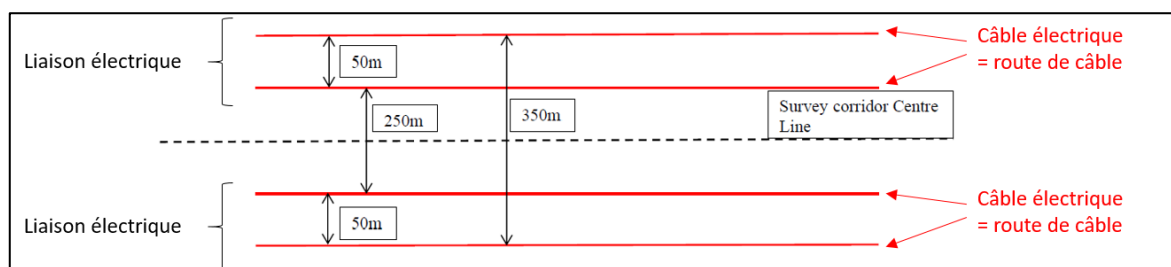


Figure 1. Projet de liaisons

La route (axe central) retenue et considérée pour l'étude est représentée sur la Figure 2. Elle est composée de :

- La « Main Route » sur la plupart du tracé ;
- La portion « HDD Crossing Route » qui passe sous le canyon de Cap Breton ;
- L'ARSW (Additional Route Spanish Waters), portion la plus au large côté espagnol ;
- L'OMR (Optimised Main Route) à l'approche de la côte espagnole à proximité de l'atterrissage.

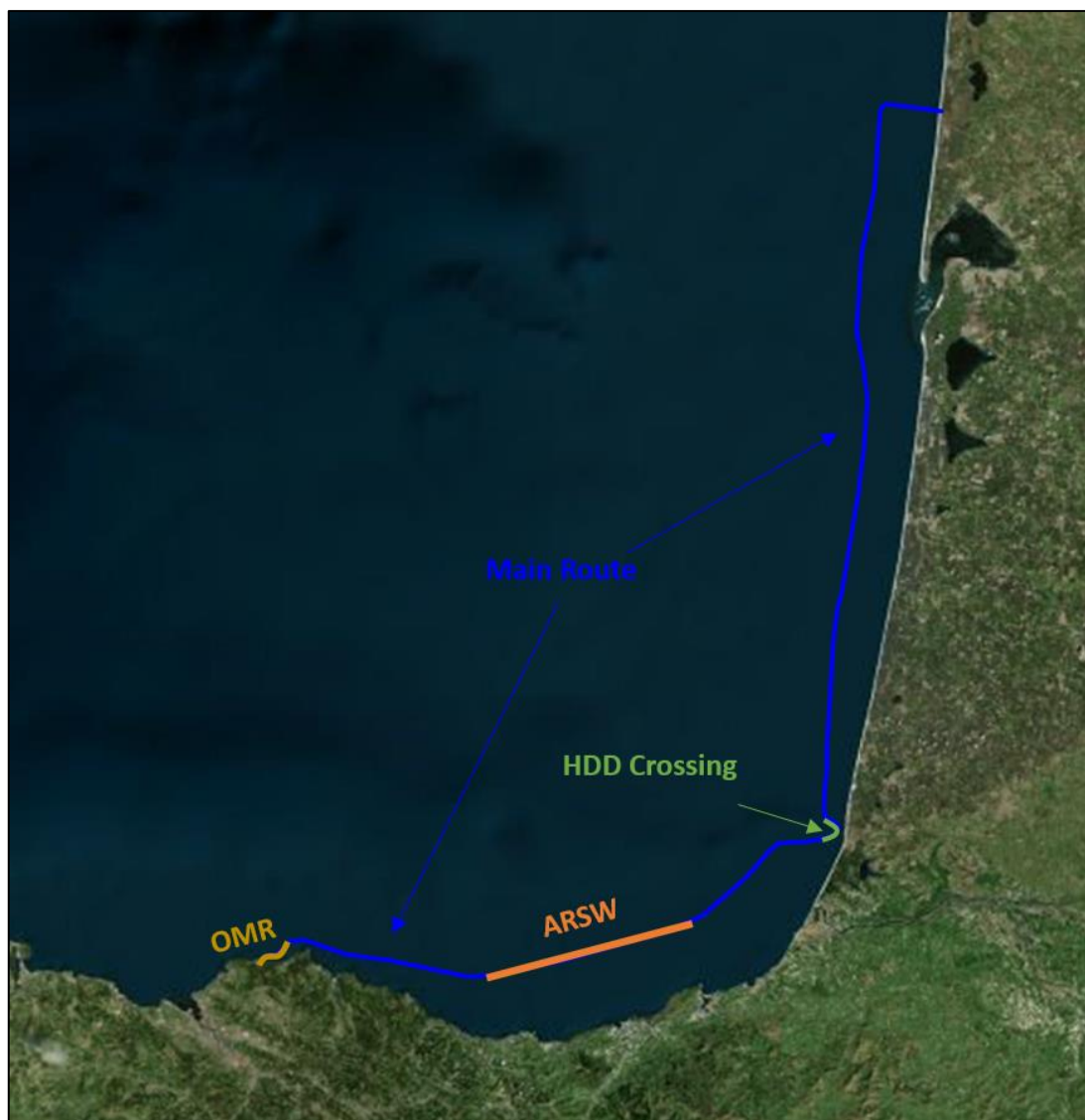


Figure 2. Tracé de l'interconnexion

1.2. MODE OPERATOIRE EN PHASE TRAVAUX

Les travaux sont réalisés en parallèle sur une route de la première liaison électrique et une route de la deuxième liaison électrique. Il a été considéré dans la suite de l'étude les hypothèses suivantes :

- L'évolution des fonds (Etape 3 - §2) a été étudiée sur des profils qui représentent une seule souille soit une seule route ;

Selon les portions de route, différents types de travaux interviennent :

- Des travaux d'ensouillage classique avec des profondeurs cibles évoluant entre 1 et 2 m sur la plupart du linéaire ;
- Des travaux de pre-sweeping dans les zones où des singularités sédimentaires type dunes apparaissent. Ces travaux de pre-sweeping consistent à creuser une tranchée dans la dune ; ils sont suivis de travaux d'ensouillage classique quelques jours après ;

- Des travaux de « rock berm » (pose d'enrochements pour protéger les câbles) dans les zones à fonds rocheux en alternance avec des travaux d'ensouillage classique. La pose d'enrochement a lieu après l'ensouillage de manière décorrélée.

La **Figure 3** et le **Tableau 1** présentent le type de travaux considéré pour l'étude le long du tracé de l'interconnexion et en fonction des PK.



Figure 3. Type de travaux le long de l'interconnexion

Pour le devenir des panaches turbides (Etape 2), les travaux débutent au droit de la zone d'atterrissage côté France (PK 12) et la zone de passage sous le canyon de Cap-Breton (tracé en blanc sur la figure précédente) n'est pas étudiée.

Pour l'évolution des souilles (Etape 3), il a été choisi 3 zones d'études réparties sur le linéaire afin de prendre en compte les opérations nécessitant la création de souille à savoir l'ensouillage classique et le pre-sweeping suivi d'ensouillage classique. Ces zones sont précisées dans le chapitre 2.

Tableau 1 – Types de travaux en fonction des PK

PK	Type de travaux	Route
0 - 12	Non étudié (Ensouillage classique 1 m)	Main Route
12 - 35	Ensouillage classique 1 m	Main Route
35 - 65	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	Main Route
65 - 100	Ensouillage classique 2 m	Main Route
100 - 140	Pre-sweeping + Ensouillage classique 2 m	Main Route
140 - 150	Ensouillage classique 1,5 m	Main Route
150 – 155 : passage du canyon	Non étudié (Pre-sweeping + Ensouillage classique)	HDD Crossing
155 - ≈189 (frontière franco-espagnole)	Ensouillage classique 2 m	Main Route
≈189 (frontière franco-espagnole) - 242	Ensouillage classique 1 m	Main Route + ARSW
242 - 243	Rock berm	Main Route
243 - 245	Ensouillage classique 1 m	Main Route
245 - 251	Rock berm	Main Route
251 - 259	Ensouillage classique 1 m	Main Route
259 - 262	Rock berm	Main Route
262 – 272.5	Ensouillage classique 1 m	Main Route
272.5 – 277	Rock berm	Main Route
277 – 280	Ensouillage classique 1 m	OMR
280 – 283.7	Rock berm	OMR

1.3. PROFILS DES FONDS ET PARAMETRES DES SEDIMENTS

Les profils type des fonds après travaux étudiés pour l'étape 3 (Evolution des fonds au niveau des souilles) sont présentés sur les [Figure 4](#), [Figure 5](#) et [Figure 6](#).

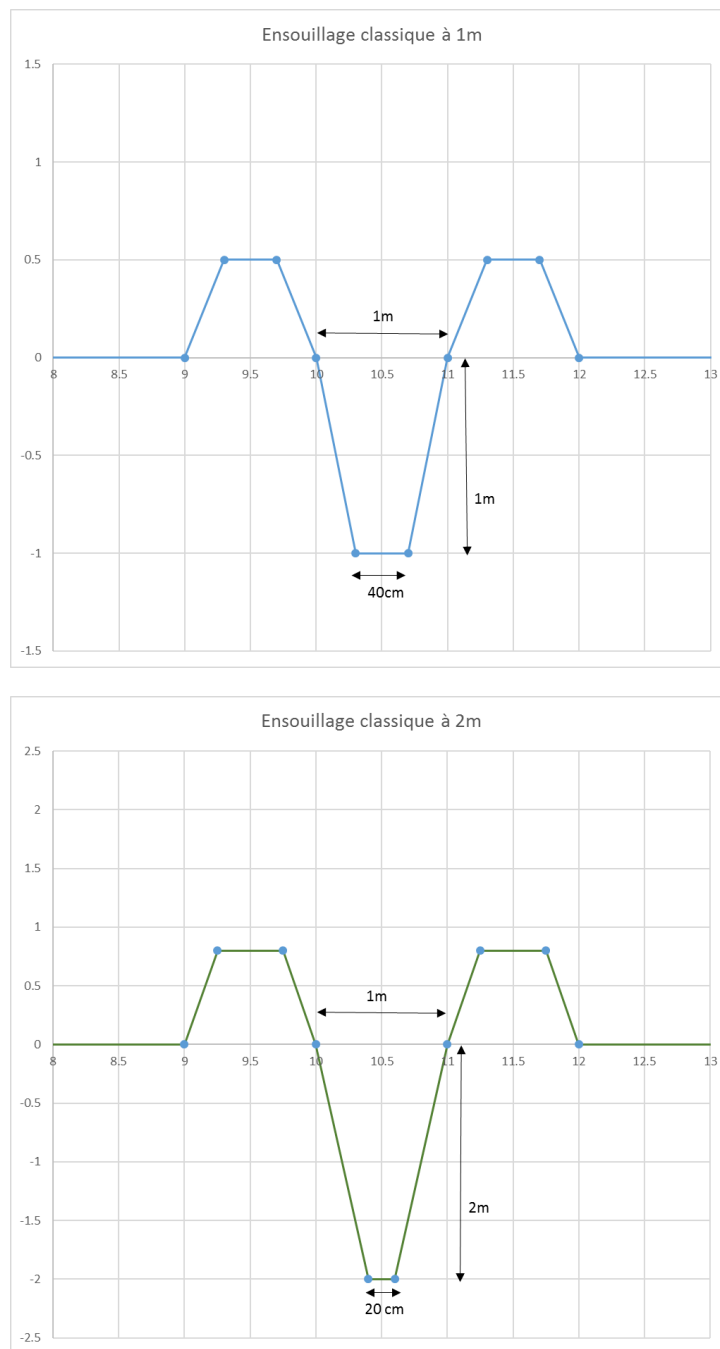


Figure 4. Profils – Ensouillage classique

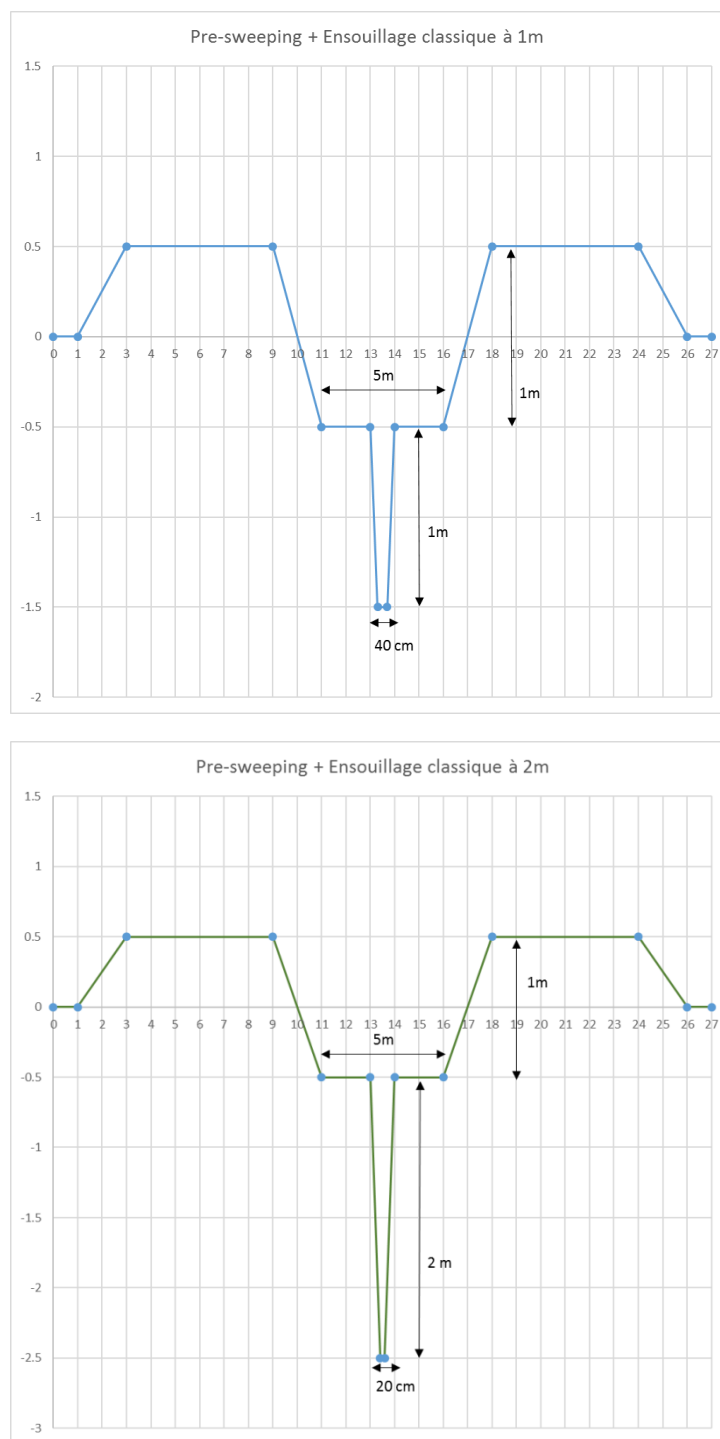


Figure 5. Profils – Pre-sweeping + Ensouillage classique

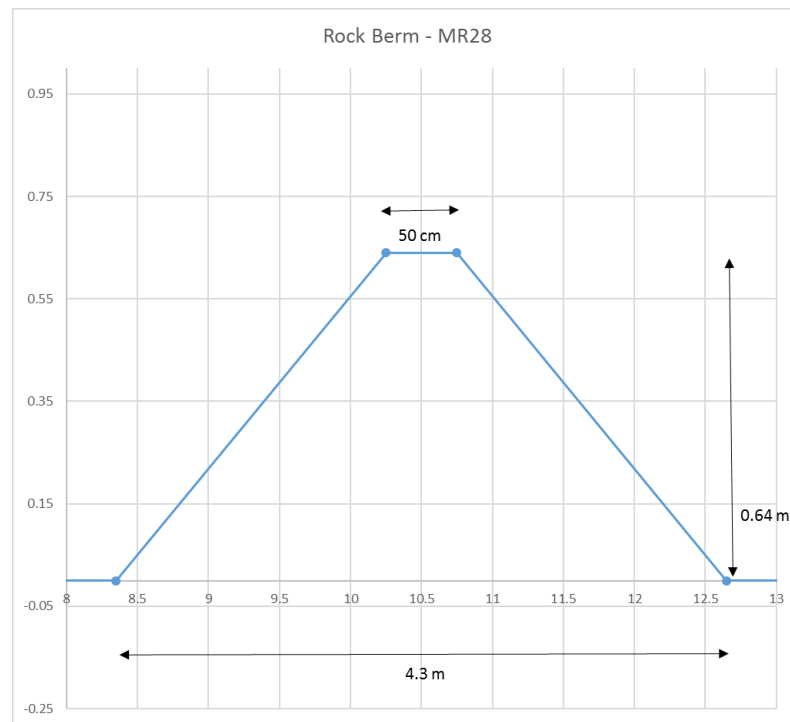


Figure 6. Profils – Rock Berm Main Route

Les paramètres sédimentaires tel que le pourcentage de fines et le diamètre des sédiments (D50) le long du tracé sont issus des reconnaissances géotechniques réalisées en octobre 2017 (Réf. [1]) et précisé dans le chapitre suivant.

2. ETAPE 3 : EVOLUTION DES FONDS AU NIVEAU DES SOUILLES

Une estimation du remplissage et de l'évolution du profil des tranchées a été effectuée en 3 zones représentatives de la route.

- Le point N02 : ensouillage de 1 mètre par une profondeur moyenne de 32,5 m ;
- Le point L03 : pre-sweeping + ensouillage de 2 mètres par une profondeur moyenne de 46,1 m ;
- Le point S03 : ensouillage de 2 mètres par une profondeur moyenne de 105,5 m.



Figure 7. Localisation des profils d'études pour l'étude d'évolution des souilles

Les logiciels utilisés pour cette étude sont des outils issus du : « Modelling package 2004 », L.C. van Rijn (Principles of sedimentation and erosion engineering in rivers, estuaries and coastal seas, Leo C. van Rijn, aqua publications, 2005) :

- SEDPIT permet le calcul du volume piégé dans une tranchée simplifiée, pour de multiples conditions de forçages et de différence de direction entre la tranchée et le courant. Il permet notamment de calibrer les conditions moyennes annuelles équivalentes que l'on peut introduire dans SED-tube ;
- SED-tube : canal numérique 1D hydro-sédimentaire pour des conditions uniques de flot et jusant. Le profil de chenal est alors forcément perpendiculaire aux courants. Lorsque les conditions moyennes annuelles sont bien calées (via SEDPIT dans notre cas), il permet d'étudier le calcul de l'évolution d'un profil réel (non simplifié) à long terme, et le remplissage de la tranchée.

On notera que tous les résultats de ces outils (qu'ils soient complexes ou pas) sont sensibles en premier lieu au transport solide calculé en fonction des conditions de forçage. La meilleure façon d'affiner les résultats sans avoir à créer de tranchée expérimentale est de calibrer le transport solide sur des mesures in-situ pour des conditions houle / courant données (exemple : résultats issus du projet Européen SANDPIT : « Sand transport and morphology of Offshore Sand Mining pits », auquel ARTELIA a collaboré). Seuls les ordres de grandeurs de remplissage sont donc à retenir pour l'instant, un affinement est cependant toujours possible *a posteriori*, avec des mesures in-situ de transport solide et des conditions hydrodynamiques (houle et courant) synchrones, ou des mesures d'évolutions de souilles expérimentales.

2.1. DESCRIPTION GENERALE DES PROCESSUS DE DEPOT DANS UN CHENAL (*BASICS OF CHANNEL DEPOSITION/SILTATION BY LEO C. VAN RIJN*)

Le dépôt dans un chenal ou une tranchée en milieu côtier sableux (avec ou sans vague) est causé par:

- Une réduction de la capacité de transport des sédiments dans le chenal en raison de vitesses plus faibles (plus efficace dans les tranchées perpendiculaires à l'écoulement) ;
- Les effets de gravité sur les sédiments se trouvant sur les pentes latérales du chenal (plus important dans les tranchées parallèles à l'écoulement).

L'orientation du chenal par rapport à l'écoulement est un paramètre important dans le processus de piégeage des sédiments.

Les trois cas suivants (Figure 8) sont distingués ici:

A. Ecoulement unidirectionnel perpendiculaire ou oblique à l'axe du chenal principal :

- Dépôt sur les pentes amont (par rapport au sens de l'écoulement) et érosion sur les flancs aval du chenal entraînant une migration du chenal dans la direction du flux dominant (principalement due au charriage);
- Dépôt dans le chenal par réduction de la capacité de transport (principalement due au transport par suspension);
- Dans des conditions de charriage dominant, le chenal se déplace (sans changer de forme) par migration des pentes latérales, tandis que dans des conditions de transport par suspension, la forme initiale du chenal est progressivement modifiée et lissée.

B. Écoulement de la marée perpendiculaire ou oblique à l'axe du chenal principal :

- Erosion des deux côtés du talus due à un écoulement bidirectionnel;
- Dépôt dans le chenal par réduction de la capacité de transport (principalement due au transport par suspension).

C. Ecoulement de marée parallèle à l'axe du chenal principal :

- Aplatissement des pentes, transport des sédiments par effet de pente: par gravité les grains mis en mouvement se dévient vers le fond du chenal (principalement due au transport par charriage).

Lorsqu'un courant traverse le chenal, la vitesse du courant diminue en raison de l'augmentation de la profondeur d'eau dans le chenal et, par conséquent, la capacité de transport des sédiments diminue aussi. En conséquence, les sédiments transportés par charriage et une partie des sédiments transportés par suspension se déposent dans le chenal.

Le dépôt de sédiment est le processus dominant dans la partie de la pente descendante (en amont par rapport à l'écoulement) et dans la partie centrale du chenal.

Cependant, dans le cas d'un chenal à pentes raides avec séparation de l'écoulement vertical et énergie de turbulence associée, le processus de décantation peut être considérablement réduit.

Dans la section de pente montante (en aval par rapport à l'écoulement) du chenal, le processus dominant consiste en une augmentation du transport par charriage due à l'accélération de l'écoulement, ce qui entraîne aussi une augmentation des concentrations de sédiments transportées par suspension.

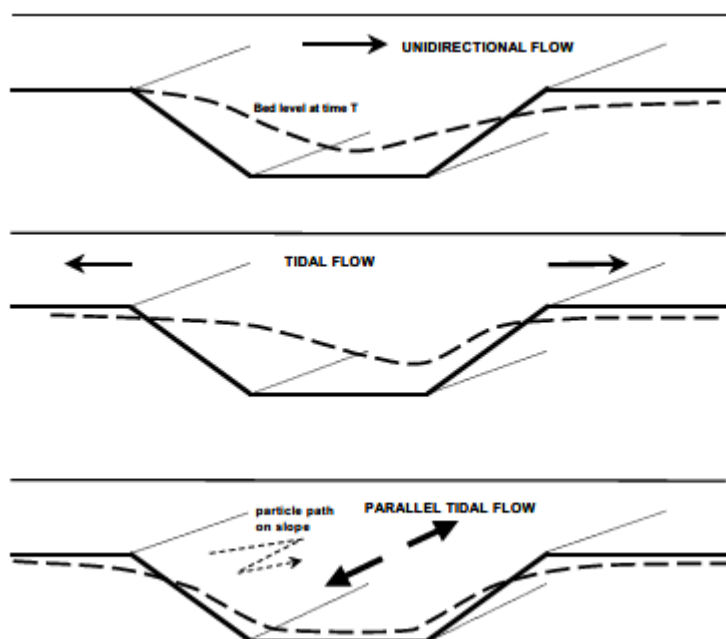


Figure 8. Dépôt et érosion des tranchées

En haut: migration avec écoulement unidirectionnel perpendiculaire à l'axe principal

Au milieu: dépôt et érosion avec un courant de marée perpendiculaire à l'axe principal

En bas: glissement des sédiments sur les pentes avec un courant de marée parallèle à l'axe principal

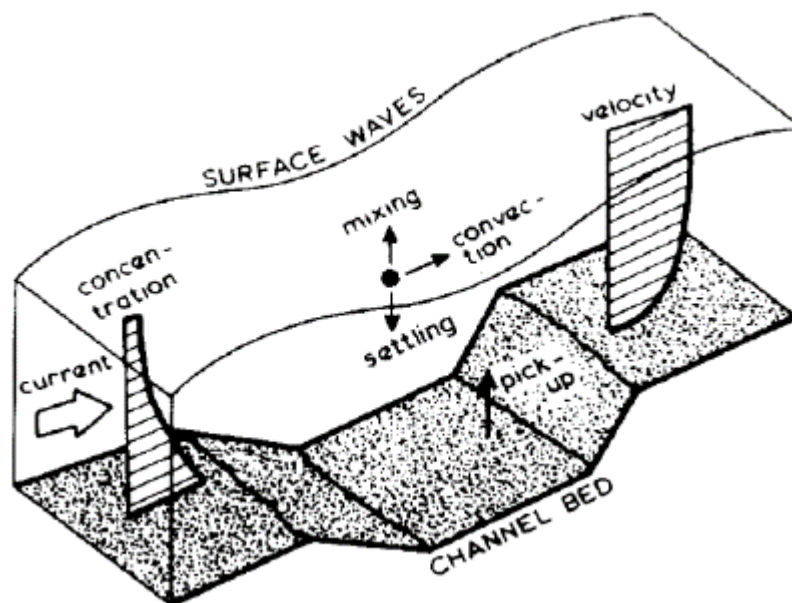


Figure 9. Processus de transport des sédiments dans un chenal perpendiculaire à l'écoulement

Les processus les plus importants dans les zones de dépôt et d'érosion du chenal sont:

- La convection des particules de sédiment par les vitesses horizontales et verticales de l'écoulement ;
- La diffusion des particules de sédiment par des mouvements turbulents et orbitaux (vagues) ;
- La chute des particules par pesanteur ;
- La mise en mouvement des particules au niveau du fond dues aux contraintes de cisaillement induites par le courant et les vagues.

L'effet des vagues est principalement lié à une intensification de l'agitation dans les couches situées près du fond marin, ce qui entraîne des concentrations de sédiments en suspension plus importantes, tandis que le courant est responsable du transport des sédiments. La Figure 9 montre schématiquement ces processus pour un écoulement transversal sur un long chenal étroit.

En cas d'écoulement oblique par rapport au chenal, le transport de sédiments dans le sens longitudinal peut augmenter considérablement par rapport au transport longitudinal non perturbé à l'extérieur du canal.

En cas d'écoulement parallèle à l'axe du chenal, les pentes latérales du chenal sont aplaties / lissées par les effets de pente gravitaires. Lorsqu'une particule de sédiment sur la pente latérale est mise en mouvement par des vagues ou des courants, le mouvement résultant de la particule aura, en raison de la gravité, une composante dirigée vers le bas. Par ce mécanisme, les sédiments seront toujours transportés vers la partie la plus profonde du chenal, ce qui produira au final des profondeurs réduites et des pentes latérales lissées.

En l'absence de conditions importantes de marée, les processus de sédimentation sont dominés par des processus dues aux mouvements oscillatoires des vagues lors de tempêtes. Ce type d'écoulement sur un fond mobile génère une couche de transport par charriage mince (par exemple 0,01 m) et une couche de transport par suspension relativement mince (par exemple 0,1 m), la turbulence étant confinée à la couche limite des vagues. Les sédiments peuvent être transportés vers le chenal par le mouvement oscillatoire (asymétrique) et par le flux induit par les vagues près du lit (flux de Longuet-Higgins). L'efficacité de piégeage d'un chenal ou d'une tranchée

perpendiculaire sera alors relativement grande car la couche de transport est proche du fond. Les effets de retard dues au transport par suspension seront alors négligeables.

Compte tenu des processus mentionnés ci-dessus, la prévision de la sédimentation dans les chenaux implique essentiellement deux éléments principaux:

- a) Le transport de sédiment induit par le courant à l'approche du chenal, en fonction des propriétés du courant, des vagues et des sédiments;
- b) L'efficacité de piégeage du chenal, en fonction de la géométrie, des dimensions, de l'orientation et des caractéristiques du sédiment du chenal.

2.2. ETUDE DU SITE N02

Le site N02 se trouve à une profondeur moyenne de 32,5 m.

2.2.1. Propriétés granulométriques du site N02

Le carottage le plus proche du site N02 est VC-004 (Réf. [1]) :

	Profondeur		Pourcentage de sédiment %					
	Haut (m)	Bas (m)	argile	silt	Total fines	Sable	Gravier	Galets
102354-VC-004	0	0.54		1	1	93	6	
102354-VC-004	0.54	0.8	1	12	13	64	23	
102354-VC-004	0.86	1.45	14	19	33	31	36	
102354-VC-004	1.45	2.08	1	2	3	79	18	
102354-VC-004	2.08	2.61		1	1	97	2	
102354-VC-004	2.61	3.42		5	5	95		

La partie la plus émergente du carottage est conservée ; elle correspond au mieux à la composition du transport solide qu'il peut y avoir dans l'écoulement.

En soustrayant la partie fine de l'échantillon on peut calculer un d_{50} et un d_{90} de la fraction sableuse :

- $d_{50} = 0,44$ mm ;
- $d_{90} = 1,1$ mm.

2.2.2. Conditions hydrodynamiques du site N02

Les données hydrodynamiques sont issues des 20 années simulées lors de l'étude météo-océanique réalisée pour le compte d'INELFE sur le même site d'étude (Réf. [2]).

L'analyse des courants a permis de calculer les occurrences de 144 classes de directions-intensités, avec un pas de 20° pour les directions et un pas de 0,1 m/s pour les intensités.

Le flot (cases oranges) est centré autour d'une direction de pic de 190° N et le jusant (cases violettes) autour d'une direction de pic de 10° N (Tableau 2).

Tableau 2 – Tableau de croisement des directions et intensités des courants pour le site N02

	Direction °N																		
Vitesse (m/s)	%	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
	0.1	3.95	4.5	4.7	3.63	2.7	2.5	2.86	3.89	4.99	4.74	4.78	5.23	3.41	2.1	1.74	1.79	2.19	2.96
	0.2	3.48	5.55	1.81	0.08	0	0	0.02	0.28	2.08	5.47	7.36	2.75	0.1	0	0	0.01	0.12	0.75
	0.3	1.09	1.32	0	0	0	0	0	0	0.28	1.59	1.94	0.03	0	0	0	0	0	0.13
	0.4	0.3	0.09	0	0	0	0	0	0	0.03	0.38	0.12	0	0	0	0	0	0	0.02
	0.5	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	8.89	11.5	6.52	3.71	2.7	2.5	2.88	4.17	7.39	12.3	14.2	8	3.5	2.1	1.75	1.8	2.31	3.85

L'analyse des houles (Tableau 3) a permis de calculer les occurrences de 90 classes de Hs-Tp, avec un pas de 1m pour la hauteur de houle et un pas de 4 secondes pour les périodes.

Tableau 3 – Tableau de croisement des Hs et Tp pour le site N02

	Hs(m)															
Tp(s)		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
	2	0.002	2E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0.039	0.037	0.008	7E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0.165	0.286	0.063	0.016	0.004	6E-04	4E-05	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0.035	0.132	0.105	0.047	0.019	0.005	9E-04	3E-04	1E-04	5E-05	2E-05	0	0	0	0
	18	0.003	0.009	0.005	0.006	0.006	0.002	6E-04	2E-05	0	0	0	0	0	0	0
	22	4E-04	8E-04	4E-04	2E-04	3E-04	1E-04	7E-05	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2.3. Propriété de la tranchée sur le site N02

Les travaux consistent en un ensouillage d'une profondeur de 1 m dont le profil retenu est présenté sur la figure suivante. L'axe de la tranchée à une direction de 3,3°N. Le volume excavé sous le niveau du fond moyen d'origine est de 700 m³/km.

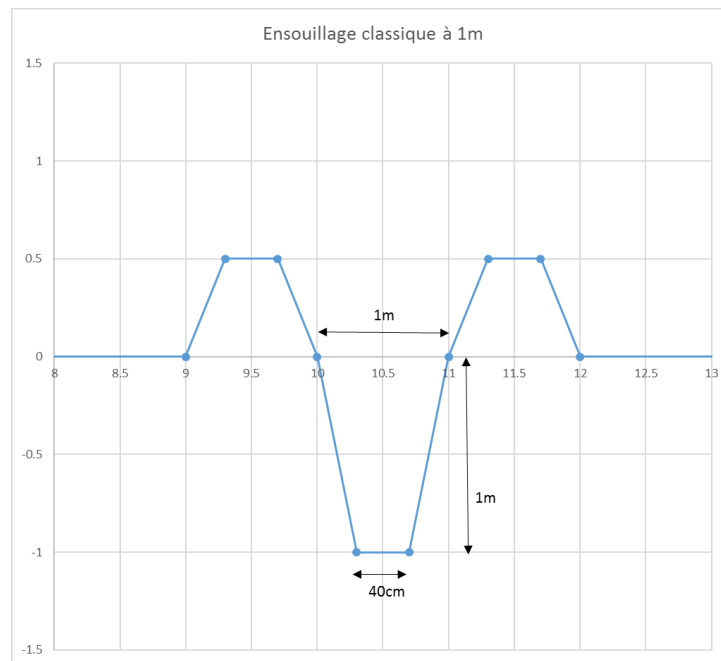


Figure 10. Profil d'ensouillage classique (1m)

2.2.4. Evaluation de la capacité de piégeage de sédiment avec SEDPIT

2.2.4.1. Simplification du profil

Pour effectuer cette première estimation, il est nécessaire de passer par un profil simplifié équivalent (Figure 11).

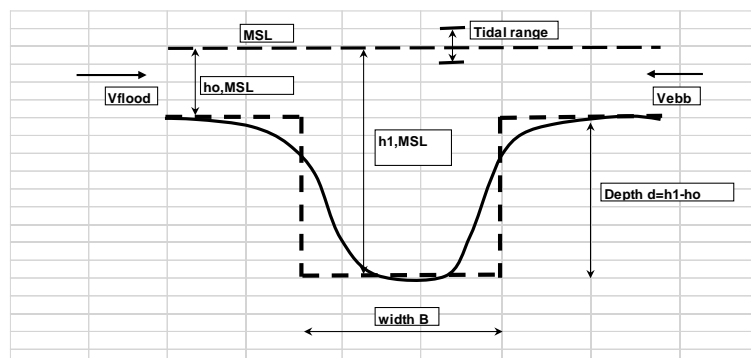


Figure 11. Schéma de principe de simplification du profil

Le profil équivalent est dans notre cas, une souille rectangulaire de largeur $B = 0,7\text{m}$ et de profondeur $d = 1\text{m}$ par rapport au fond d'origine.

2.2.4.2. Capacité de piégeage par condition de houle pour une marée

En forçant SEDPIT pour chaque classe de houle sur une marée (marée représentative statistiquement d'une marée moyenne annuelle), le résultat suivant est établi (Figure 12) :

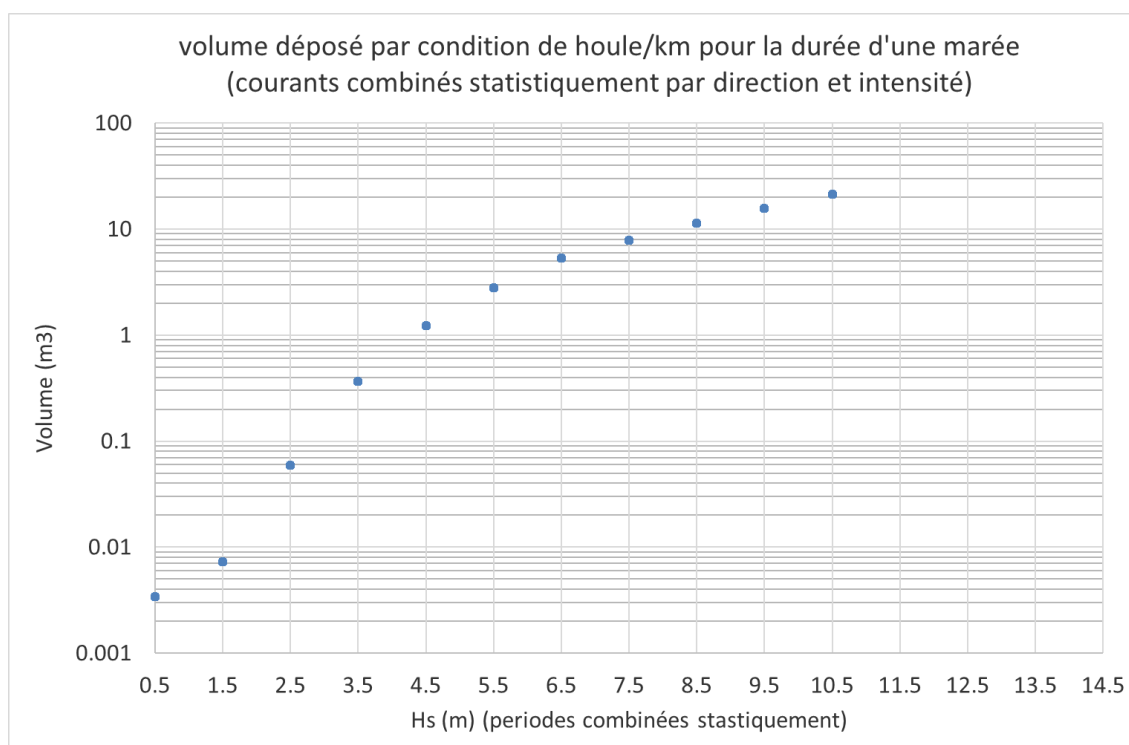


Figure 12. Volume de piégeage par km et par marée pour chaque classe de houle

Cela permet d'évaluer l'importance des houles sur le transport et le volume que peut piéger la tranchée en une marée sur 1 km. Assez logiquement, les houles les plus fortes permettent un remplissage plus important de la tranchée à durée égale.

2.2.4.3. Capacité de piégeage annuel

En croisant les tableaux de classes pour les courants et les houles effectuées au préalable, il est alors défini un ensemble de 12960 classes définies chacune par:

- Une direction de courant ;
- Une intensité de courant ;
- Une hauteur de houle H_s ;
- Une période de pic T_p .

Pour lesquels une occurrence annuelle est attribuée.

En forçant SEDPIT avec l'ensemble de ces conditions et des durées équivalentes à leur occurrence annuelle on obtient par classe de houle le résultat suivant (Figure 13):

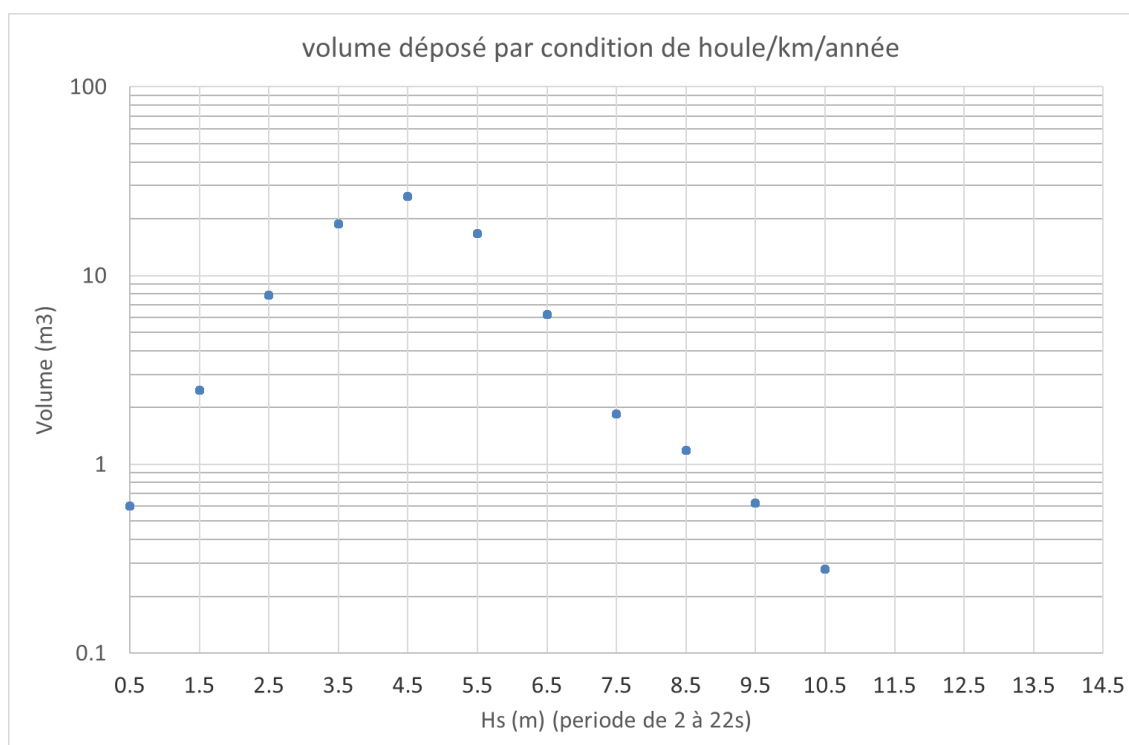


Figure 13. Volume de piégeage par km et par année pour chaque classe de houle

On voit que les fortes tempêtes ne participent pas majoritairement au comblement annuel de la tranchée du fait de leurs faibles occurrences. Les houles de 4,5 m permettent l'optimum de comblement durant l'année.

Si l'on additionne l'ensemble de ces résultats pour chaque condition de houle, le volume annuel piégé par la tranchée est obtenu : 83 m³/km/an. Ce qui signifierait de façon optimiste que la tranchée serait comblée au bout de 8,4 années. En effet cette évaluation est optimiste car elle ne tient pas compte de l'évolution morphologique de celle-ci et donc du fait que plus la tranchée se remplit, plus sa capacité à piéger du sédiment diminue.

Le faible comblement prédit est principalement dû au fait que la direction de l'axe de la tranchée est de 3,3 °N, ce qui est proche de la direction des pics de flot (190°N) et de jusant (10°N). Dans ce cas, le courant est quasiment parallèle à la tranchée. La tranchée ne permet donc pas une atténuation locale du courant par un changement de profondeur et donc de la capacité de transport.

Une sensibilité à la direction a été effectuée (Figure 14). On voit qu'avec la direction d'origine (0° de rotation), on se trouve dans le cas où le piégeage est quasiment le plus faible. Avec une direction plus perpendiculaire à la direction des courants, on voit que l'on pourrait atteindre un remplissage de 320 m³/km/année, ce qui permettrait de remplir la tranchée en moins de 2 ans.

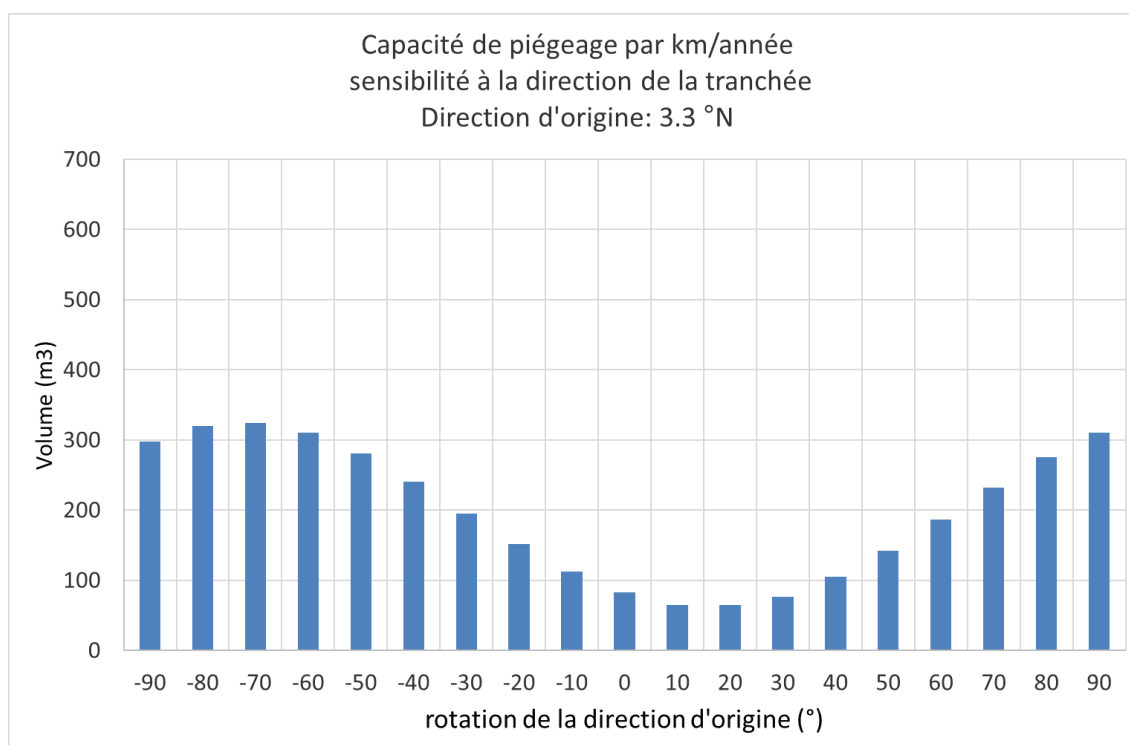


Figure 14. Volume de piégeage par km et par année suivant la direction de la tranchée

2.2.5. Evaluation de la modification temporelle du profil réel et du remplissage

Afin d'évaluer l'évolution du profil réel, nous avons utilisé l'outil SED-Tube qui s'apparente à un canal numérique 1D hydro-sédimentaire pour des conditions uniques de flot et jusant. Le profil de chenal est alors forcément perpendiculaire aux courants. Il faut donc calibrer les conditions de forçages représentatives de conditions moyennes annuelles pour des courants perpendiculaires à la tranchée.

2.2.5.1. Calibration du forçage perpendiculaire à l'axe de la tranchée pour SED-TUBE

Nous avons calculé sur la série temporelle de 20 ans, le courant projeté sur l'axe perpendiculaire à la tranchée. Nous avons alors calculé un courant moyen de flot et de jusant suivant la perpendiculaire à la tranchée. Puis nous avons simulé avec SEDPIT ces 2 conditions moyennes de courant annuel et avons calibré la houle moyenne qu'il fallait appliquer pour obtenir les mêmes conditions de piégeage que précédemment soit 83 m³/km/an. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 4 – Résultat de la calibration des forçages pour SED-tube

Vitesse moyenne de jusant sur l'axe perpendiculaire	0,059 m/s
Vitesse moyenne de flot sur l'axe perpendiculaire	0,059 m/s
Hs moyen calibré	4,55 m
Tp moyen calibré	14 s

On notera que la houle calibrée pour obtenir des conditions représentatives annuelles est très proche de la houle qui permet l'optimum de remplissage sur une année (voir § 2.2.4.3)

2.2.5.2. Calibration de SED-TUBE

Nous avons alors calibré SED-TUBE avec ce même forçage et le même profil de tranchée simplifiée qui avait été introduit dans SEDPIT, jusqu'à trouver le même volume de piégeage. (Le facteur de calibration sur le transport se faisant via le pic de vitesse orbitale).

Une fois cette calibration effectuée, le profil réel de la tranchée est introduit dans SED-tube. L'exploitation de ce modèle permet alors de donner des profils de tranchée sur plusieurs années et permet d'affiner le taux de remplissage au cours du temps.

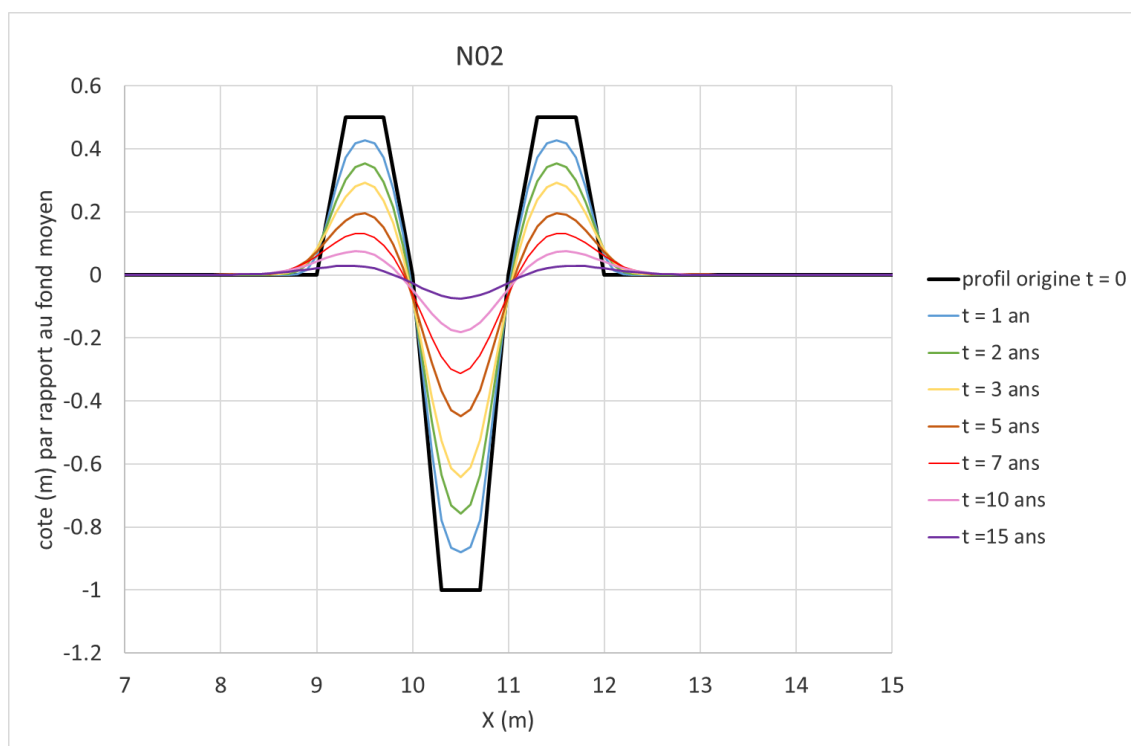


Figure 15. Profils de la tranchée au cours des années

La Figure 16 montre le ralentissement du taux de piégeage annuel au cours du temps. Il faudra alors environ 4 ans pour remplir la tranchée à 50% et 14 ans pour la tranchée à 90 %.

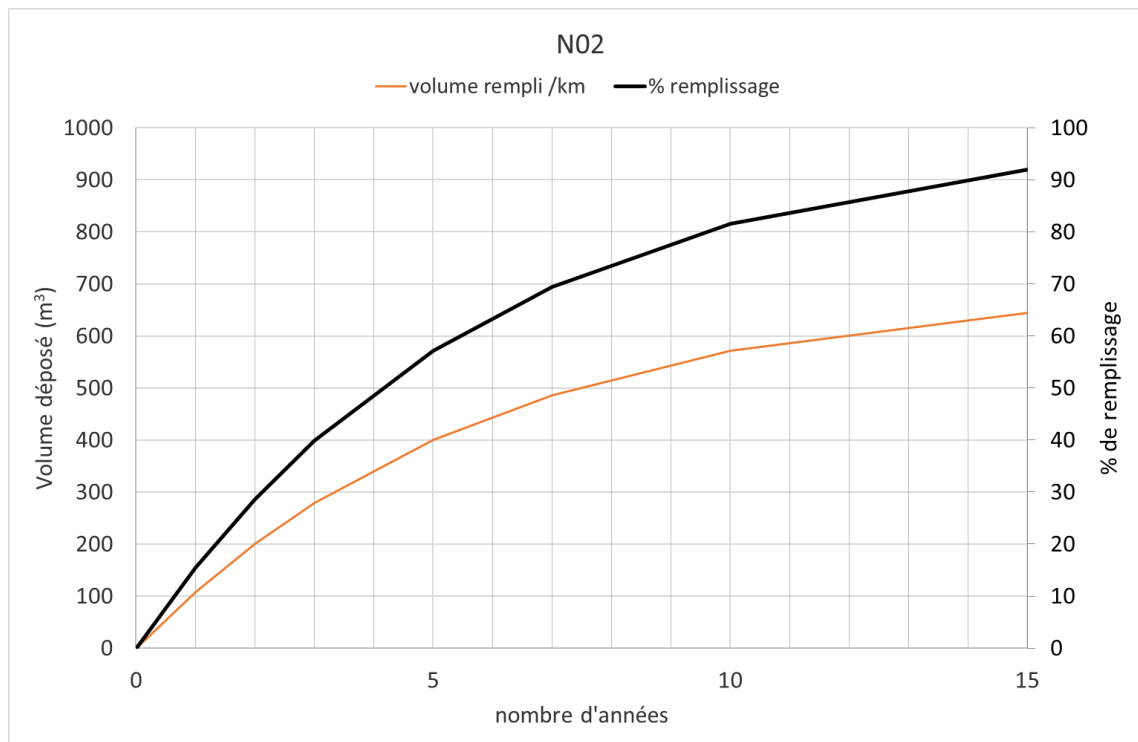


Figure 16. Volume et taux de remplissage au cours des années

2.3. ETUDE DU SITE L04

Le site L04 se trouve à une profondeur moyenne de 46,1 m.

2.3.1. Propriétés granulométriques du site L04

Le carottage le plus proche du site L04 est VC-111 (Réf. [1]) :

	Profondeur		Pourcentage de sédiment %					
	Haut (m)	Bas (m)	argile	silt	Total fines	Sable	Gravier	Galets
102354-VC-111	1	2		3	3	96	1	
102354-VC-111	2.6	2.95		2	2	91	7	
102354-VC-111	2.95	3.52		3	3	75	22	

La partie la plus émergente du carottage est conservée ; elle correspond au mieux à la composition du transport solide qu'il peut y avoir dans l'écoulement. On notera que l'on ne dispose pas de la granulométrie au-delà de 1 m dans les mesures. Les carottages alentours (VC-109 et VC-113) sont composés à 50% de gravier sur les couches de surface ce qui impliquerait un remplissage plus lent, nous avons donc conservé le carottage local VC-111, plus conservatif)

En soustrayant la partie fine de l'échantillon on peut calculer un d_{50} et un d_{90} de la fraction sableuse :

- $d_{50} = 0,21$ mm ;
- $d_{90} = 0,94$ mm.

2.3.2. Conditions hydrodynamiques du site L04

Les données hydrodynamiques sont issues des 20 années simulées lors de l'étude météo-océanique réalisée pour le compte d'INELFE sur le même site d'étude (Réf. [2]).

L'analyse des courants a permis de calculer les occurrences de 144 classes de directions-intensités, avec un pas de 20° pour les directions et un pas de 0,1 m/s pour les intensités.

Le flot (cases oranges) est centré autour d'une direction de pic de 190 °N et le jusant (cases violettes) autour d'une direction de pic de 10 °N (Tableau 5).

Tableau 5 – Tableau de croisement des directions et intensités des courants sur le site L04

	Direction °N																		
Vitesse (m/s)	%	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
	0.1	20.8	7.72	2.52	1.44	1.12	1.15	1.52	2.83	9.26	28.9	9.54	2.08	1.03	0.75	0.73	0.9	1.57	4.74
	0.2	0.97	0.08	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.18
	0.3	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	21.8	7.8	2.54	1.44	1.12	1.15	1.52	2.84	9.27	28.9	9.56	2.09	1.04	0.75	0.73	0.91	1.59	4.93

L'analyse des houles a permis de calculer les occurrences de 90 classes de Hs-Tp, avec un pas de 1 m pour la hauteur de houle et un pas de 4 secondes pour les périodes.

Tableau 6 – Tableau de croisement des Hs et Tp sur le site L04

	Hs(m)														
	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
Tp (s)	2	0.0015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0.0352	0.0347	0.0068	0.0003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0.1565	0.2904	0.0661	0.0184	0.0061	0.0011	9E-05	0	0	0	0	0	0	0
	14	0.0335	0.1221	0.1009	0.0482	0.0189	0.006	0.002	0.0004	0.0002	7E-05	5E-05	0	0	0
	18	0.0037	0.0104	0.0083	0.0081	0.0082	0.0054	0.0023	0.0004	5E-05	4E-05	0	0	2E-05	0
	22	0.0005	0.0011	0.0007	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	9E-05	2E-05	0	0	0	0	0

2.3.3. Propriété de la tranchée sur le site L04

Les travaux consistent à un pre-sweeping sur une hauteur de 1 m et un ensouillage d'une profondeur de 2 m dont le profil retenu est présenté sur la figure suivante. L'axe de la tranchée a une direction de 11,3°N. Le volume excavé sous le niveau du fond moyen d'origine est de 4200 m³/km (dont 1200 m³/km pour la partie ensouillage).

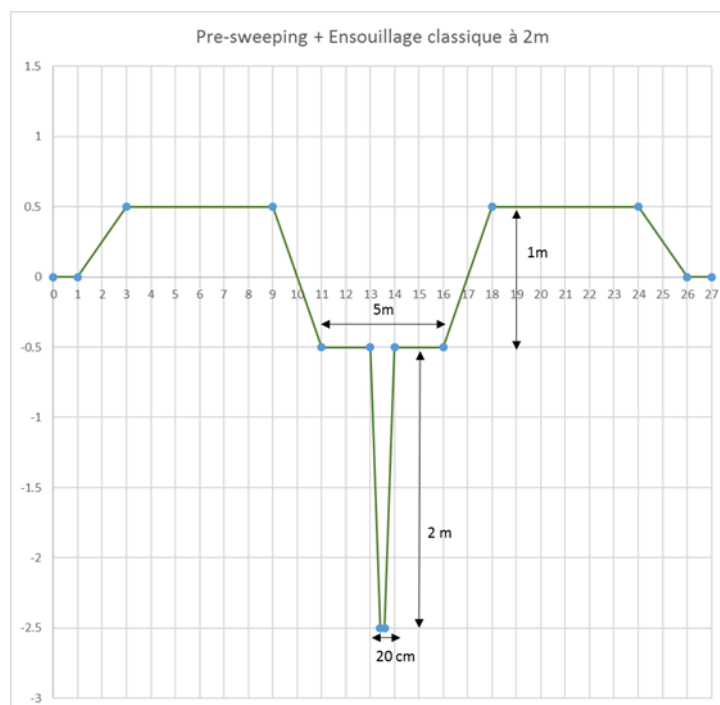


Figure 17. Profil pre-sweeping+ ensouillage classique (2m)

2.3.4. Evaluation de la capacité de piégeage de sédiment avec SEDPIT

2.3.4.1. Simplification du profil

Pour effectuer cette première estimation, il est nécessaire de passer par un profil simplifié équivalent (Figure 18).

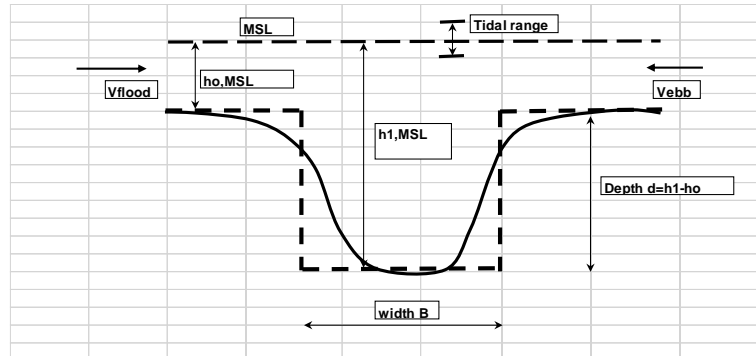


Figure 18. Schéma de principe de simplification du profil

Un profil équivalent est dans notre cas, une souille rectangulaire de largeur $B = 2,1\text{m}$ et de profondeur $d = 2\text{m}$ par rapport au fond d'origine.

2.3.4.2. Capacité de piégeage par condition de houle pour une marée

En forçant SEDPIT pour chaque classe de houle sur une marée (marée représentative statistiquement d'une marée moyenne annuelle), le résultat suivant a été établi (Figure 19):

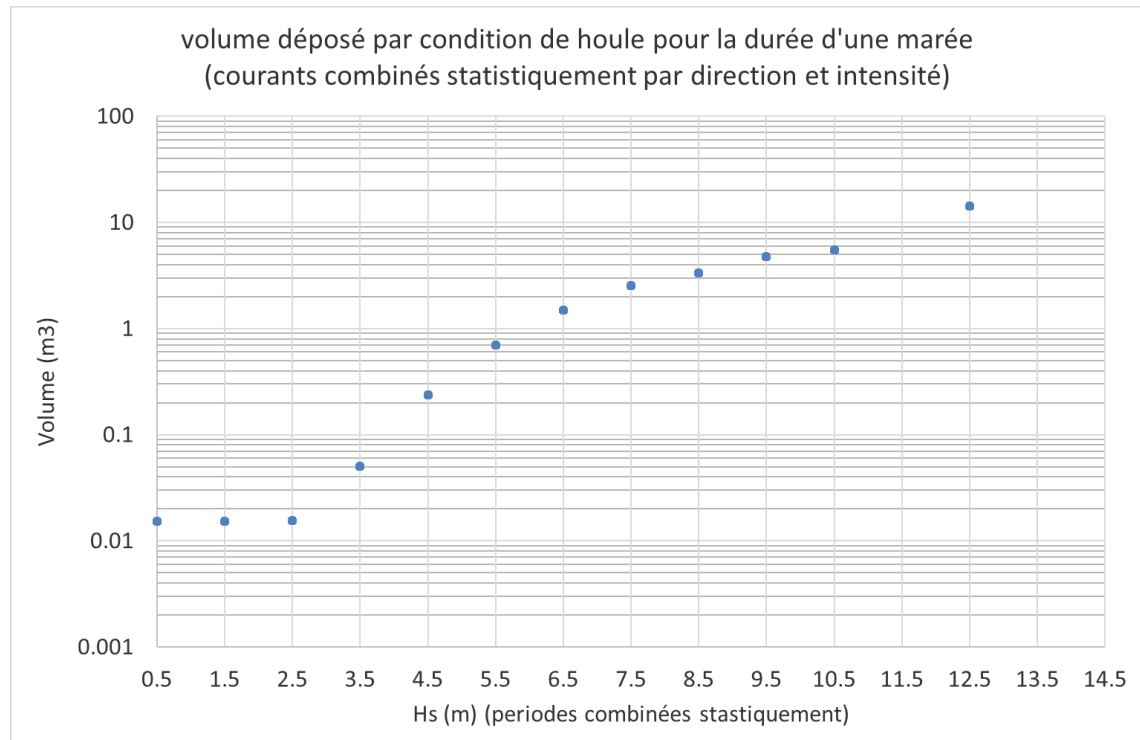


Figure 19. Volume de piégeage par km et par marée pour chaque classe de houle

Cela permet d'évaluer l'importance des houles sur le transport et le volume que peut piéger la tranchée en une marée sur 1 km. Assez logiquement et comme pour le point N02, les houles les

plus fortes permettent un remplissage plus important de la tranchée à durée égale. Le non alignement du point correspondant à la houle la plus forte vient du fait que la période correspondant à cette houle s'écarte de la période moyenne des autres houles.

2.3.4.3. Capacité de piégeage annuel

En croisant les tableaux de classes pour les courants et les houles effectuées au préalable, on peut alors définir un ensemble de 12960 classes définies chacune par:

- Une direction de courant ;
- Une intensité de courant ;
- Une hauteur de houle H_s ;
- Une période de pic T_p ,

Pour lesquels une occurrence annuelle est attribuée.

En forçant SEDPIT avec l'ensemble de ces conditions et des durées équivalentes à leur occurrence annuelle on obtient par classe de houle le résultat suivant de la Figure 20.

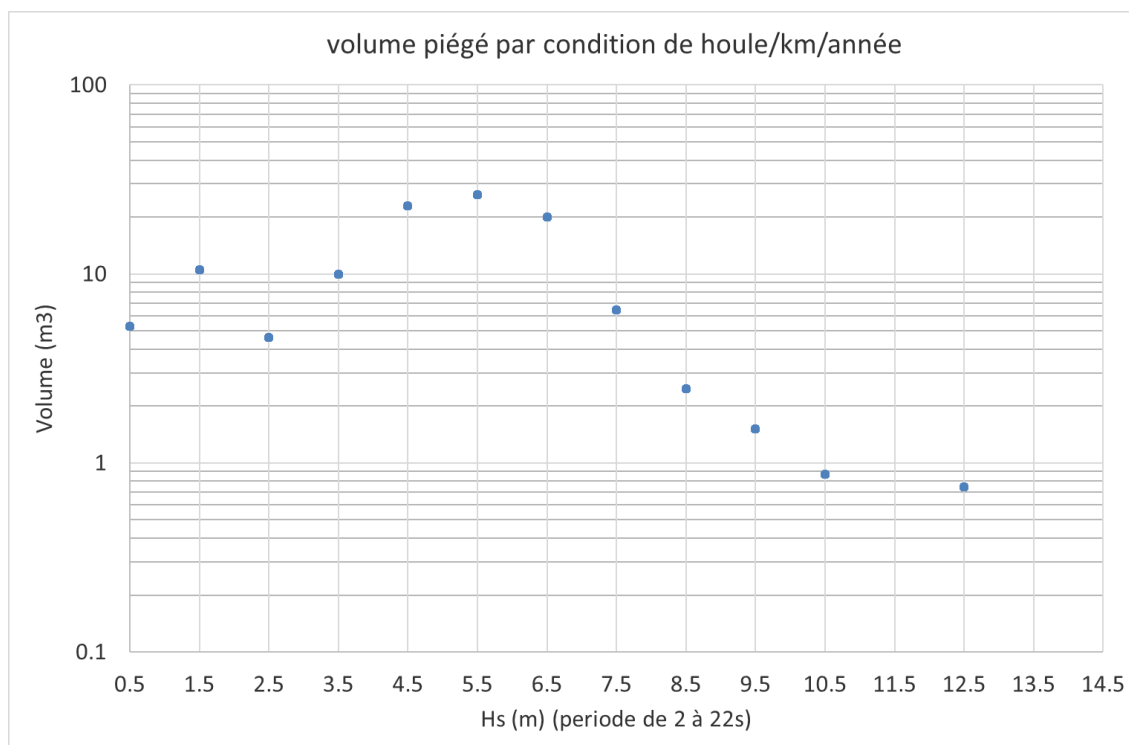


Figure 20. Volume de piégeage par km et par année pour chaque classe de houle

On voit que les fortes tempêtes ne participent pas majoritairement au comblement annuel de la tranchée du fait de leurs faibles occurrences. Les houles de 5,5 m permettent l'optimum de comblement durant l'année.

Si l'on additionne l'ensemble de ces résultats pour chaque condition de houle, le volume annuel piégé par la tranchée est obtenu : 33 m³/km/an. Ce qui signifierait de façon optimiste que la tranchée de la partie ensouillage serait comblée au bout de 36,4 années (127 ans pour la partie pre-sweeping + ensouillage). En effet cette évaluation est optimiste car elle ne tient pas compte de l'évolution morphologique de celle-ci et donc du fait que: plus la tranchée se remplit, plus sa capacité à piéger du sédiment diminue.

Le faible comblement prédit est principalement dû au fait que la direction de l'axe de la tranchée est de 11,3 °N, ce qui est proche de la direction des pics de flot (190°N) et de jusant (10°N). Dans ce cas, le courant est quasiment parallèle à la tranchée. La tranchée ne permet donc pas une atténuation locale du courant par un changement de profondeur et donc de la capacité de transport.

Une sensibilité à la direction a été effectuée (Figure 21).

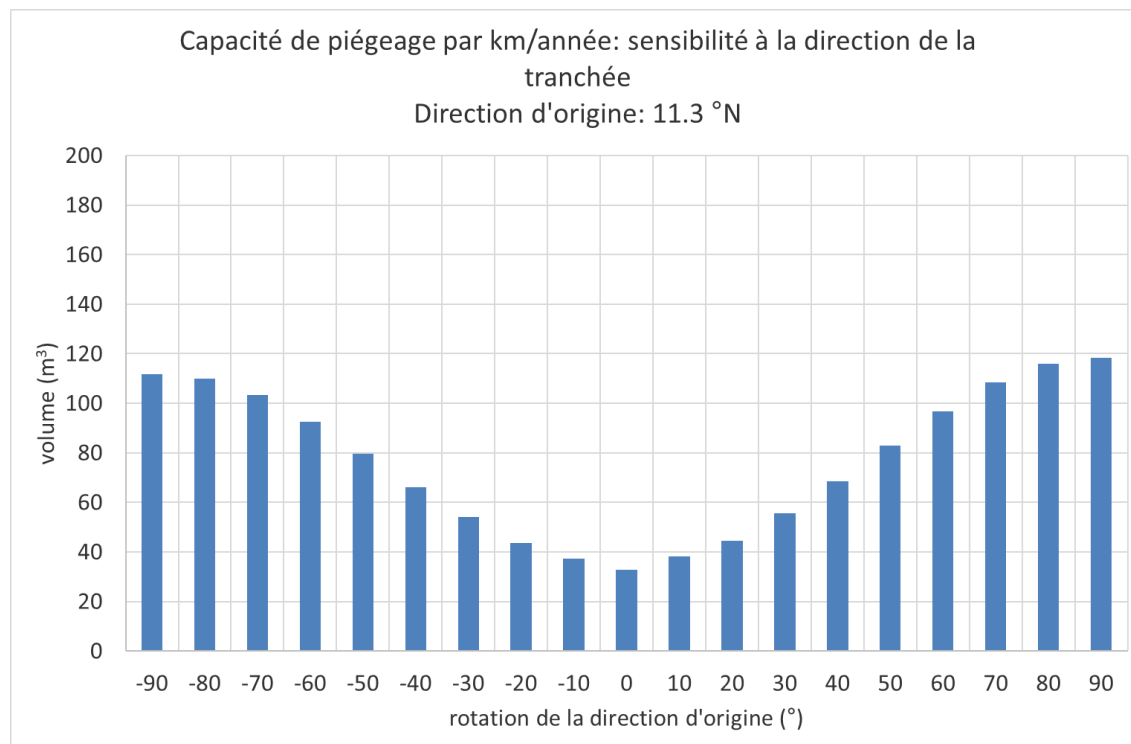


Figure 21. Volume de piégeage par km et par année suivant la direction de la tranchée

On voit qu'avec la direction d'origine (0° de rotation), on se trouve dans le cas où le piégeage est quasiment le plus faible. Avec une direction plus perpendiculaire à la direction des courants, on voit que l'on pourrait atteindre un remplissage de 120 m³/km/année, ce qui permettrait de remplir la tranchée de l'ensouillage en 10 ans (35 ans pour le pre-sweeping + ensouillage).

2.3.5. Evaluation de la modification temporelle du profil réel et du remplissage

Afin d'évaluer l'évolution du profil réel, nous avons utilisé l'outil SED-Tube qui s'apparente à un canal numérique 1D hydro-sédimentaire pour des conditions uniques de flot et jusant. Le profil de chenal est alors forcément perpendiculaire aux courants. Il faut donc calibrer les conditions de forçages représentatives de conditions moyennes annuelles pour des courants perpendiculaires à la tranchée.

2.3.5.1. Calibration du forçage perpendiculaire à l'axe de la tranchée pour SED-TUBE

Nous avons calculé sur la série temporelle de 20 ans, le courant projeté sur l'axe perpendiculaire à la tranchée. Nous avons alors calculé un courant moyen de flot et de jusant suivant la perpendiculaire à la tranchée. Puis nous avons simulé avec SEDPIT ces 2 conditions moyennes de courant annuel et avons calibré la houle moyenne qu'il fallait appliquer pour obtenir les mêmes conditions de piégeage que précédemment soit : 33 m³/km/an. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7 – Résultat de la calibration des forçages pour SED-tube

Vitesse moyenne de jusant sur l'axe perpendiculaire	0,026 m/s
Vitesse moyenne de flot sur l'axe perpendiculaire	0,027 m/s
Hs moyen calibré	5,34 m
Tp moyen calibré	18 s

On notera que la houle calibrée pour obtenir des conditions représentatives annuelles est très proche de la houle qui permet l'optimum de remplissage sur une année (voir §2.3.4.3).

2.3.5.2. Calibration de SED-TUBE

Nous avons alors calibré SED-TUBE avec ce même forçage et le même profil de tranchée simplifiée qui avait été introduit dans SEDPIT, jusqu'à trouver le même piégeage, le facteur de calibration sur le transport se faisant via le pic de vitesse orbitale.

Une fois cette calibration effectuée, le profil réel de la tranchée peut être introduit dans SED-tube. L'exploitation de ce modèle permet alors de donner des profils de tranchée sur plusieurs années et permet d'affiner le taux de remplissage au cours du temps (Figure 22).

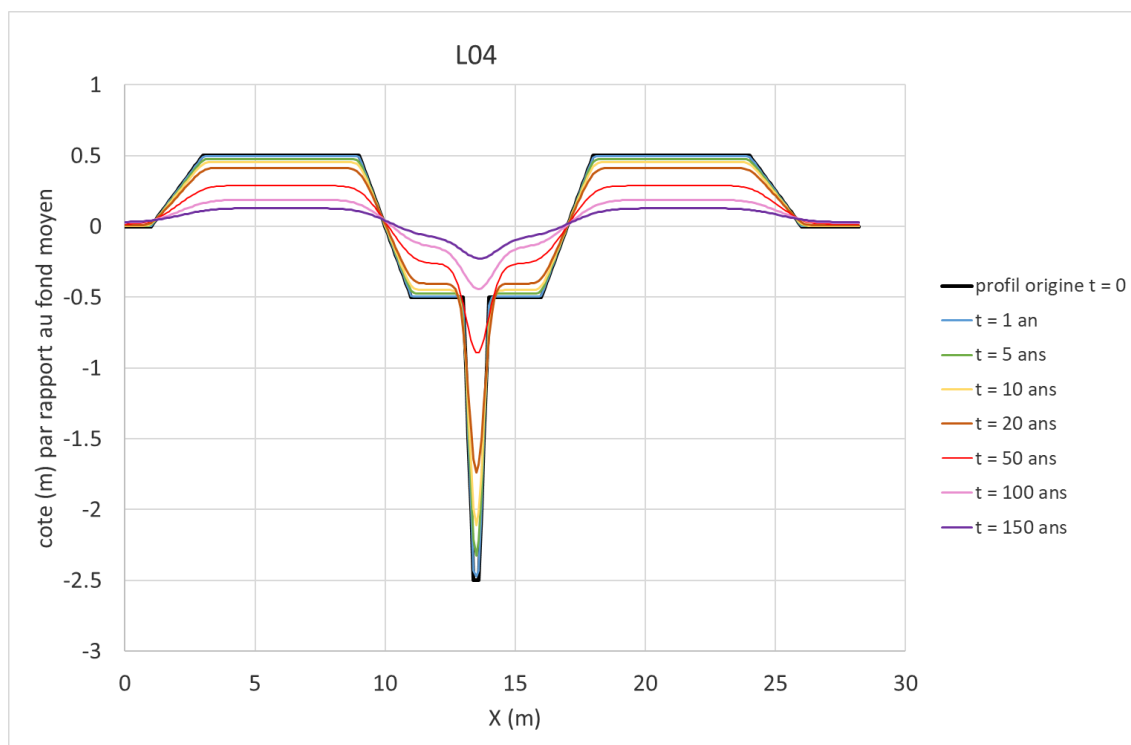


Figure 22. Profils de la tranchée au cours des années

La Figure 23 montre le ralentissement du taux de piégeage annuel au cours du temps. Il faudra alors 11 ans pour remplir la tranchée ensouillage à 50% (soit 350 m³/km) et 55 ans pour la tranchée pre-sweeping + ensouillage à 50% (soit 2100 m³/km).

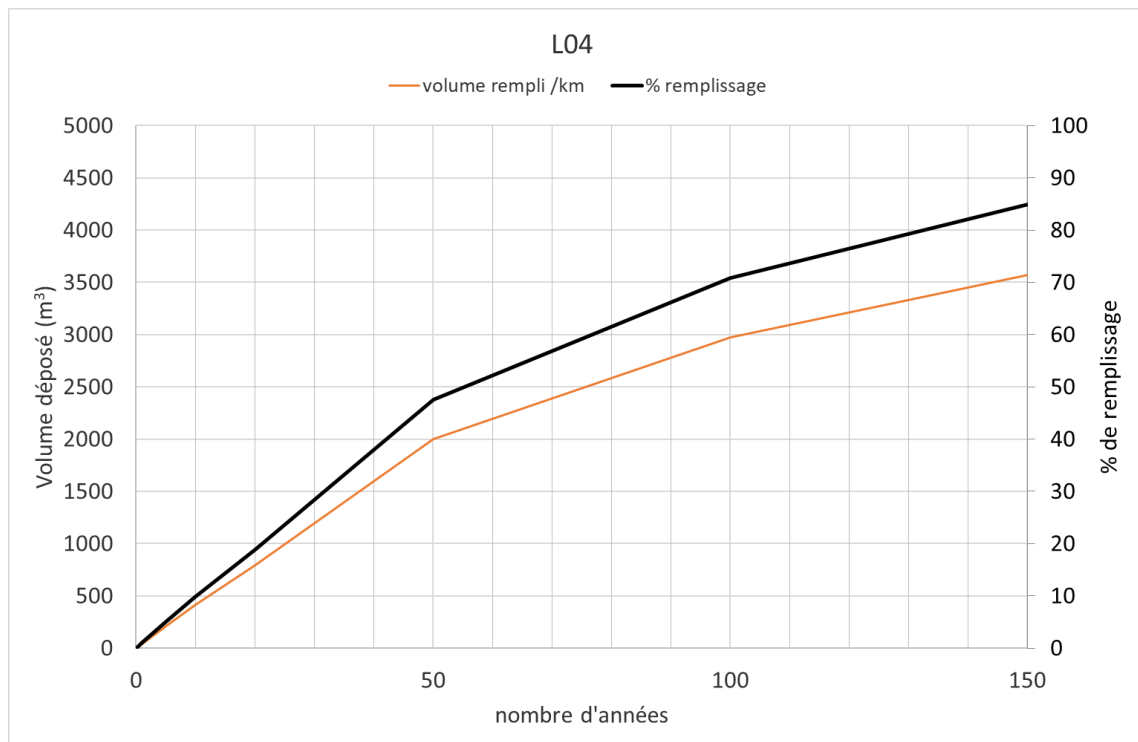


Figure 23. Volume et taux de remplissage au cours des années

2.4. ETUDE DU SITE S03

Le site S03 se trouve à une profondeur moyenne de 105,5 m.

2.4.1. Propriétés granulométriques du site S03

Le carottage le plus proche du site S03 est VC-130 (Réf. [1]) :

	Profondeur		Pourcentage de sédiment %					
	Haut (m)	Bas (m)	argile	silt	Total fines	Sable	Gravier	Galets
102354-VC-130	0.35	0.83	2	10	12	87	1	
102354-VC-130	0.93	1.34		5	5	19	76	
102354-VC-130	1.52	2.45	15	70	85	15		

La partie la plus émergente du carottage est conservé ; elle correspond au mieux à la composition du transport solide qu'il peut y avoir dans l'écoulement.

En soustrayant la partie fine de l'échantillon on peut calculer un d_{50} et un d_{90} de la fraction sableuse :

- $d_{50} = 0,19$ mm ;
- $d_{90} = 0,39$ mm.

2.4.2. Conditions hydrodynamiques du site S03

Les données hydrodynamiques sont issues des 20 années simulées lors de l'étude météo-océanique réalisée pour le compte d'INELFE sur le même site d'étude (Réf. [2]).

L'analyse des courants a permis de calculer les occurrences de 144 classes de directions-intensités, avec un pas de 20° pour les directions et un pas de 0,1m/s pour les intensités.

Le flot (cases oranges) est centré autour d'une direction de pic de 230 °N et le jusant (cases violettes) autour d'une direction de de pic de 30 °N.

Tableau 8 – Tableau de croisement des directions et intensités des courants sur le site S03

	Direction °N																		
Vitesse (m/s)	%	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
	0.1	3.57	13.1	16	4.44	1.4	0.79	0.6	0.68	1.13	3.26	7.75	8.99	5.17	2.09	1.1	0.88	0.94	1.31
	0.2	0.05	7.03	7.49	0.04	0	0	0	0.01	0	0.12	1.29	2.14	0.95	0.18	0.02	0	0	0
	0.3	0	3.73	1.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.4	0	2.01	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.6	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.7	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total	3.62	26.5	24.6	4.47	1.4	0.79	0.6	0.69	1.13	3.38	9.04	11.1	6.12	2.27	1.11	0.88	0.94	1.31

L'analyse des houles a permis de calculer les occurrences de 90 classes de Hs-Tp, avec un pas de 1m pour la hauteur de houle et un pas de 4 secondes pour les périodes.

Tableau 9 – Tableau de croisement des Hs et Tp sur le site S03

	Hs(m)														
	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
Tp(s)	2	0.002	1E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0.036	0.035	0.006	3E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0.15	0.292	0.069	0.019	0.006	0.001	2E-04	2E-05	0	0	0	0	0	0
	14	0.033	0.124	0.109	0.056	0.021	0.007	0.003	7E-04	3E-04	7E-05	5E-05	0	2E-05	0
	18	0.003	0.006	0.005	0.006	0.005	0.003	7E-04	1E-04	4E-05	0	0	0	0	0
	22	2E-04	2E-04	5E-05	7E-05	4E-05	2E-05	0	0	0	0	0	0	0	0

2.4.3. Propriété de la tranchée sur le site S03

Les travaux consistent à un ensouillage d'une profondeur de 2 m dont le profil retenu est présenté sur la figure suivante. L'axe de la tranchée à une direction de 41,6°N. Le volume excavé sous le niveau du fond moyen d'origine est de 1200 m³/km.

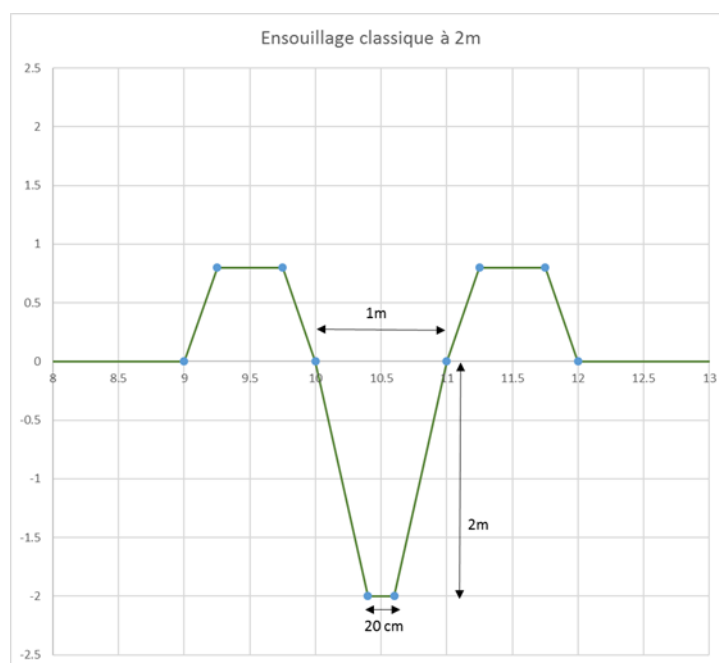


Figure 24. Profil ensouillage classique (2m)

2.4.4. Evaluation de la capacité de piégeage de sédiment avec SEDPIT

2.4.4.1. Simplification du profil

Pour effectuer cette première estimation nous devons passer par un profil simplifié équivalent (Figure 25).

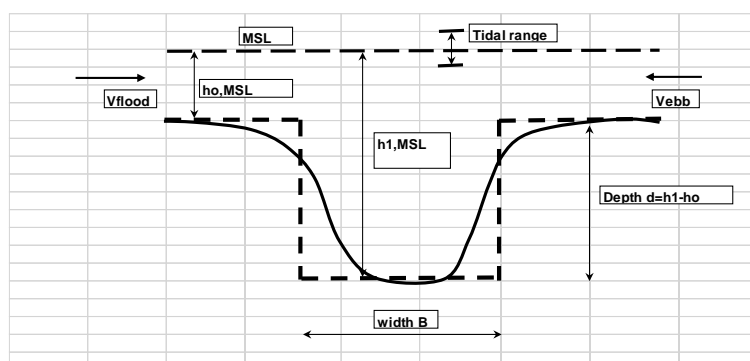


Figure 25. Schéma de principe de simplification du profil

Un profil équivalent est dans notre cas, une souille rectangulaire de largeur $B = 0,6$ m et de profondeur $d = 2$ m par rapport au fond d'origine.

2.4.4.2. Capacité de piégeage par condition de houle pour une marée

En forçant SEDPIT pour chaque classe de houle sur une marée (marée représentative statistiquement d'une marée moyenne annuelle) le résultat suivant est établi (Figure 26).

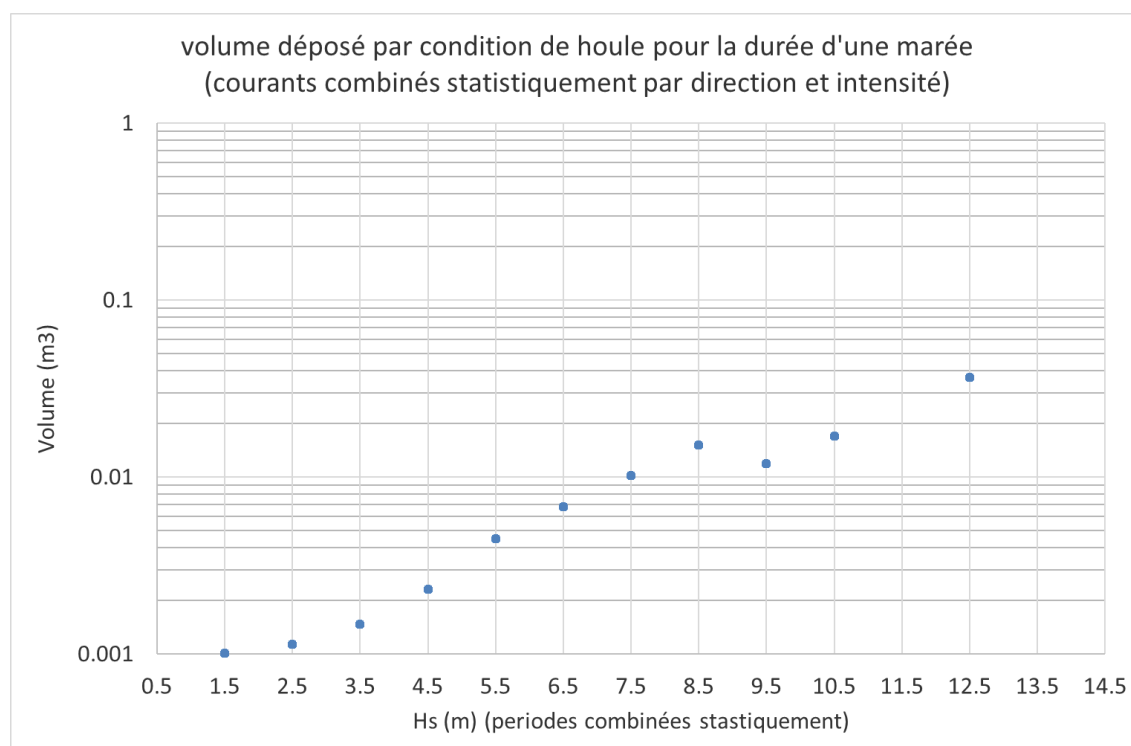


Figure 26. Volume de piégeage par km et par marée pour chaque classe de houle

Cela permet d'évaluer l'importance des houles sur le transport et le volume que peut piéger la tranchée en une marée sur 1 km. Assez logiquement, les valeurs de volume sont très faibles du fait de la profondeur du site (105,5 m).

2.4.4.3. Capacité de piégeage annuel

En croisant les tableaux de classes pour les courants et les houles effectuées au préalable, on peut alors définir un ensemble de 12960 classes définies chacune par :

- Une direction de courant ;

- Une intensité de courant ;
- Une hauteur de houle H_s ;
- Une période de pic T_p ,

Pour lesquels une occurrence annuelle peut être attribuée.

En forçant SEDPIT avec l'ensemble de ces conditions et des durées équivalentes à leur occurrence annuelle on obtient par classe de houle le résultat suivant (Figure 27).

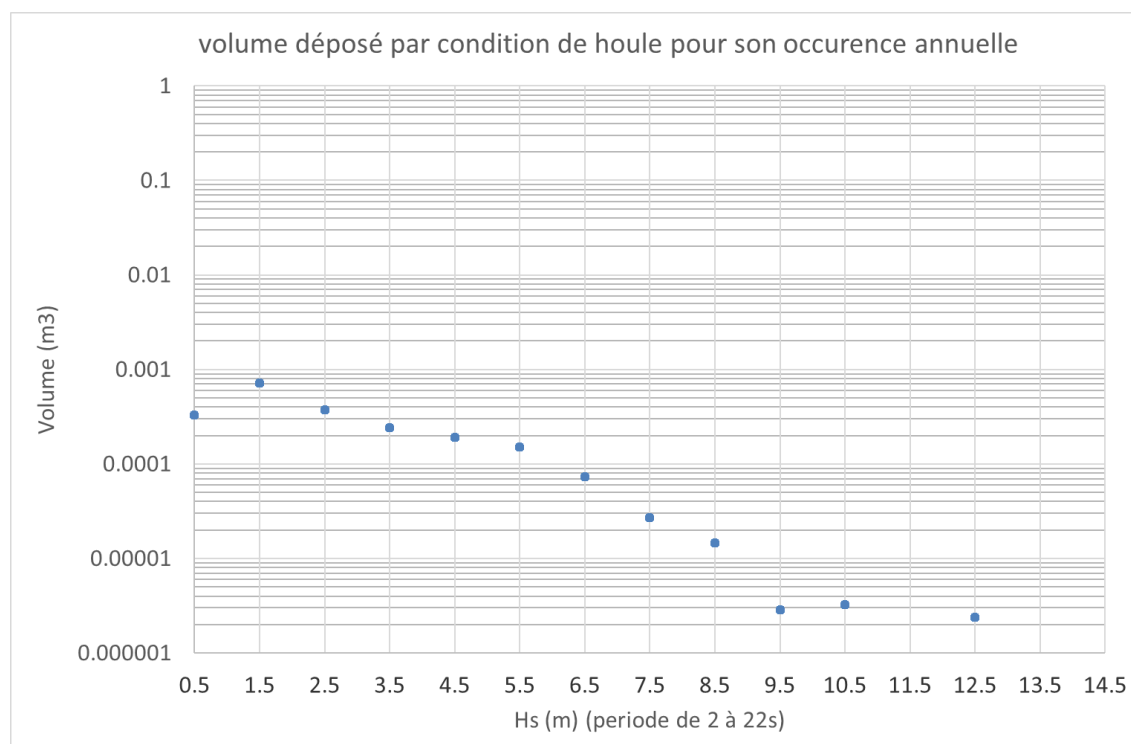


Figure 27. Volume de piégeage par km et par année pour chaque classe de houle

Si l'on additionne l'ensemble de ces résultats pour chaque condition de houle, le volume annuel piégé par la tranchée est obtenu: $0.9 \text{ m}^3/\text{km}/\text{an}$. Le faible comblement prédit est principalement dû au fait que la tranchée se situe dans une zone très profonde. A ce rythme il faudrait quelques centaines d'années pour remplir la tranchée.

Une sensibilité à la direction a été effectuée mais sans beaucoup de conséquence du fait des grandes profondeurs (Figure 28).

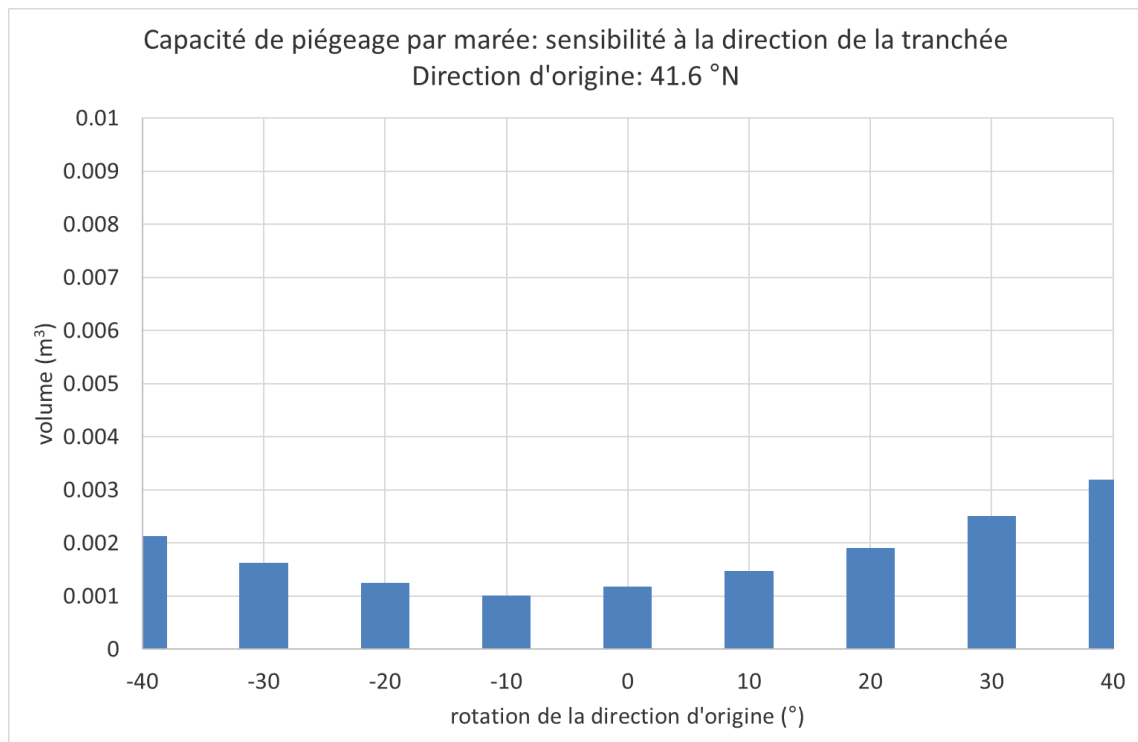


Figure 28. Volume de piégeage par km et par année suivant la direction de la tranchée

Etant donné les volumes mis en jeu il n'a pas été jugé opportun d'étudier les profils plus précisément sous Sed-tube.

2.5. CONCLUSION

Les résultats obtenus sur les 3 sites permettent d'estimer les ordres de grandeur suivant :

Localisation	Profondeur (m) Direction de la tranchée (°N) Sédiment (mm)	Profil et volume à remplir	Nombre d'années pour remplir 50% de la tranchée	Nombre d'années pour remplir 90% de la tranchée	Facteur multiplicatif sur le taux de remplissage min et max (sensibilité à la direction de la tranchée)
N02	32,5 m 3,3°N d ₅₀ =0,44 d ₉₀ =1,10	Ensouillage:1m (700 m ³ /km)	4	14	0,8-3,7
L04	46,1m 11,3°N d ₅₀ =0,21 d ₉₀ =0,94	Pre-sweeping :1m (3000 m ³ /km) + Ensouillage:2m (1200 m ³ /km)	55	+ de 150	1-3,6
L04	46,1m 11,3°N d ₅₀ =0,21 d ₉₀ =0,94	Que partie Ensouillage:2m (1200 m ³ /km)	11	25	1-3,6
S03	105,5m 41,6° d ₅₀ =0,19 d ₉₀ =0,39	Ensouillage:2m (1200 m ³ /km)	Des centaines d'années	Des centaines d'années	0,9-2,7

Les temps de recomblement estimés ne prennent pas en compte le rebouchage partiel de la tranchée directement après le passage de l'engin. Le recomblement s'opère par effondrement des sédiments sur les pentes de la tranchée, ainsi que par retombée d'une partie des sédiments projetés dans la colonne d'eau au-dessus de la tranchée.

REFERENCES

- [1] Geotechnical report, MMT for INELFE, for client review October 2017, Biscay HVDC WI Route Survey (102534-INE-MMT-SUR-REP-GEOTECH).
- [2] Biscay Gulf Western Interconnector – Metocean study – Final report, for INELFE - March 2018 – ARTELIA 8713734 3.
- [3] Battjes J.A. and M.J.F. Stive (1985) Calibration and verification of a dissipation model for random breaking waves. Journal of Geophysical Research, Vol. 90, n° C5, pp. 9159-9167.