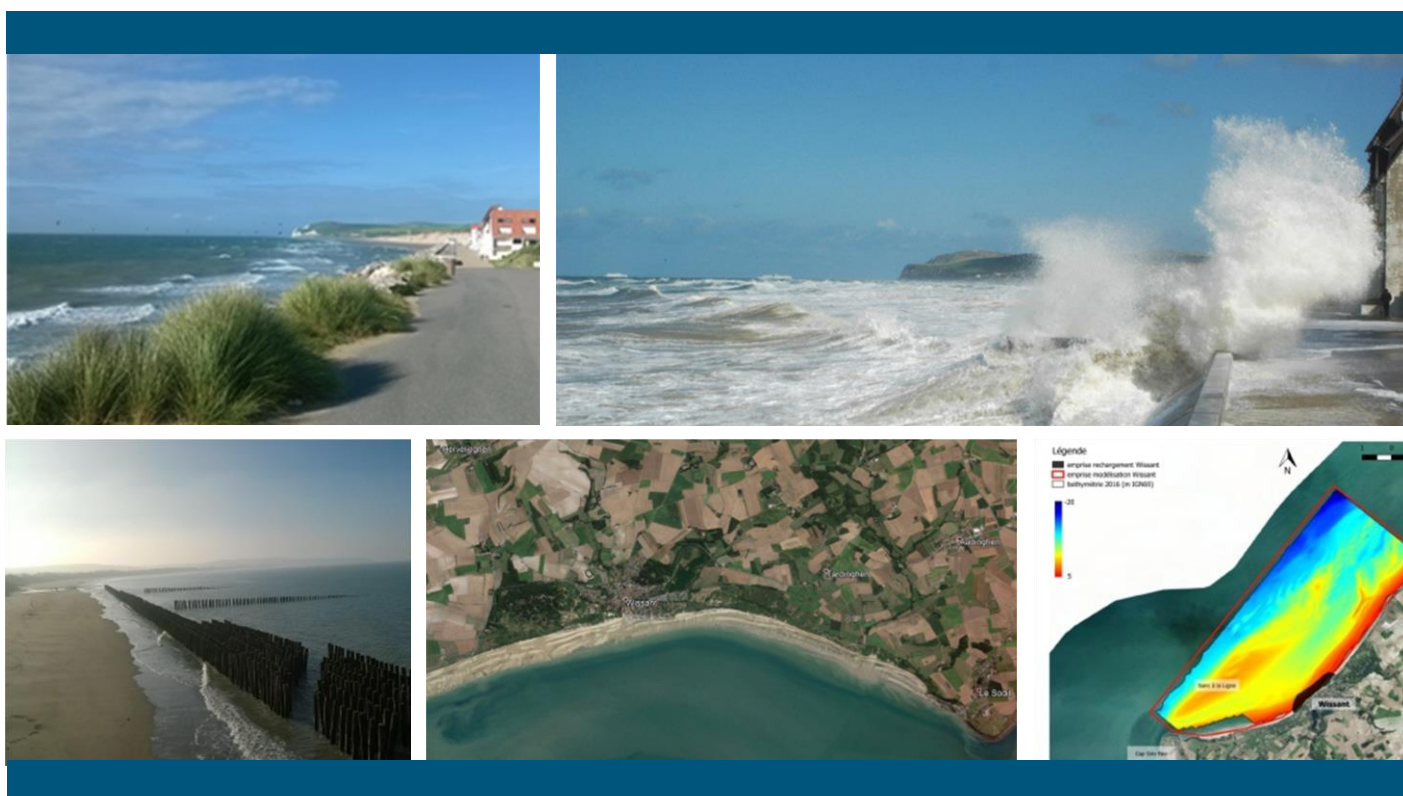


MAITRISE D'ŒUVRE EN VUE DU REENSABLEMENT MASSIF DE LA PARTIE CENTRALE DE LA BAIE DE WISSANT

Modélisation hydrosédimentaire – Modélisation de scénarios
d'aménagement complémentaires – Scénarios de
comblement partiel entre le Cap Gris Nez et le Banc à la Ligne
Révision 2



Projet	Phase	Objet	Type	Numéro
MANJ02301	02	AVP	RAP	007

Mars 2020

Informations sur le document

Historique de modifications

Version	Date	Nature de la révision	Écrit par	Contrôlé par	Approuvé et signé par
1	05/03/2020	1 ^{er} envoi	J-B. SAULNIER, J. COUEGNAT	C. LEQUETTE	C. BRIERE
2	11/03/2020	Prise en compte des remarques du PMCO (§1.2, 2 et 3.2.3)	C. LEQUETTE	C. BRIERE	C. BRIERE

Destinataire(s)

Envoyé à:		
Nom	Entité	Position
O. CAILLAUD	PMCO	Chef du service de défense contre la mer
J. IDOUX	PMCO	Responsable juridique

Copie à:		
Nom	Entité	Position

Sommaire

1.	Introduction	12
1.1	Zone d'étude.....	12
1.2	Contexte de l'étude et objet du document.....	13
2.	Synthèse et références	14
3.	Approche méthodologique	17
3.1	Scénario d'aménagement modélisé	17
3.1.1	Principe et objectifs	17
3.1.2	Caractéristiques des ouvrages	18
3.2	Modélisation hydrosédimentaire moyen terme de l'évolution de l'estran	18
3.2.1	Suite logicielle utilisée et phénomènes modélisés, paramétrisation	18
3.2.2	Modèle Numérique de Terrain (MNT)	19
3.2.3	Maillage	23
3.2.4	Erodabilité de la zone comblée	25
3.2.5	Forçages hydrodynamiques	26
3.2.6	Rappel des limitations du modèle	26
4.	Résultats de la modélisation hydrosédimentaire	28
4.1	Aspects hydrodynamiques	28
4.1.1	Effet de l'aménagement sur les courants	28
4.1.2	Effet de l'aménagement sur l'agitation dans la Baie	32
4.2	Aspects sédimentaires	32
4.2.1	Transit littoral	32
4.2.1.1	Impact de l'aménagement sur le transit simulé sur la zone d'étude	32
4.2.1.2	Impact de l'aménagement sur le transit simulé au droit de Wissant	33
4.2.2	Évolution des fonds à échéance 10 ans	35
4.2.3	Incertitudes associées aux résultats d'évolution des fonds	37
5.	Annexe 1 : Résultats du modèle morphodynamique moyen terme TELEMAC	40
5.1	Courantologie	40
5.1.1	Courants dans la baie	40
5.1.1.1	Scénario 3	40
5.1.1.2	Scénario 4	47

5.1.2	Agitation dans la baie.....	54
5.1.2.1	Scénario 3.....	54
5.1.2.2	Scénario 4.....	58
5.2	Transit littoral	62
5.2.1	Scénario 3.....	62
5.2.2	Scénario 4.....	66
5.3	Évolution des fonds	70
5.3.1	Scénario 3.....	70
5.3.2	Scénario 4.....	81

Liste des illustrations

Figure 1 : Référentiel altimétrique à Wissant	11
Figure 2: Localisation du projet.....	12
Figure 3: Périmètre de réensablement défini au CCTP	12
Figure 4 : Localisation des solutions de comblement partiel de la passe : de la plage d'Audinghen au Banc-à-la-Ligne (Scénario 3, vert) et du Cap Gris-Nez au Banc-à-la-Ligne (Scénario 4, orange) °	17
Figure 5 : Coupe de principe de la digue submergée modélisée dans le cadre des Scénarios 3 et 4.....	18
Figure 6: Vue 3D du MNT mis en œuvre pour les Scénario 3 (a) et Scénario 4 (b) (exagération verticale : x 10).....	19
Figure 7 : MNT du modèle pour le Scénario n°3 – Vue d'ensemble (a) et au niveau de l'ouvrage (b).....	20
Figure 8 : MNT du modèle pour le Scénario n°4 – Vue d'ensemble (a) et au niveau de l'ouvrage (b).....	21
Figure 9 : Coupes transversales (haut) et longitudinales (bas) de la digue sous-marine modélisée pour les Scénarios 3 (a) et 4 (b), avec figuration du Terrain Naturel (TN) à l'état de référence..	22
Figure 10 : Emprise et maillage du modèle - Vue générale (similaire pour les 2 scénarios à cette échelle)	23
Figure 11 : Maillage non structuré du modèle au niveau de l'ouvrage (avec détail) des Scénarios 3 (a) et 4 (b) ; la résolution locale est d'environ 7m sur l'emprise de l'ouvrage et 15-20m à son voisinage immédiat	24
Figure 12 : Zones non érodables définies dans le modèle numérique (en bleu) avec prise en compte du nouvel ouvrage dans le cadre des Scénarios 3 (a) et 4 (b) ; la zone en rouge correspond à une zone sableuse (érodable)	25
Figure 13 : Localisation des points de contrôle de vitesse (ADCP n°1 et zone Wissant à la cote -2mZH), illustrée ici sur le MNT du Scénario 3	29
Figure 14 : Module et direction (vers) de la vitesse 2D du courant au niveau de la station de mesure ADCP n°1 (Géo-Transfert, 2016) et au droit de la ville de Wissant à la cote -2mZH (signaux obtenus sur le premier cycle de marée) pour les Scénarios 3 et 4 comparés au Scénario 0	30
Figure 15 : Roses des courants (direction « vers » ; vitesse) aux points ADCP 1 (gauche) et Wissant -2mZH (droite) pour les Scénarios 0 (haut), 3 (milieu) et 4 (bas), obtenues sur le premier cycle de marée.....	31
Figure 16 : Localisation des profils transversaux pour le calcul du transit annuel moyen sur la zone de Wissant (ici, le profil "Transit aval" signifie "Transit au niveau de la Dune Aval" etc.)	34
Figure 17 : Localisation des profils transversaux en baie de Wissant suivis par la DDTM62	35
Figure 18 : Etat bathymétrique final (T0+10ans) des scénarios 0, 3 et 4, avec lignes de niveaux de la bathymétrie finale sans aménagement (Sc. 0).....	38

Figure 19: Evolution des fonds au niveau de la zone de Wissant pour le Scénario 0 de référence (au-dessus), Scénario 3 (en haut à droite) et Scénario 4 (en bas à droite) à l'issue de la simulation d'évolution morphologique sur 10 ans (de 12-2016 à 12-2026) et cubatures [m3] associées (tableau ; les tendances d'évolution vers un ralentissement de l'érosion sont représentées par une flèche verte, et orange en cas d'accélération de l'érosion).....	39
Figure 20 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	41
Figure 21 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	42
Figure 22 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	43
Figure 23 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	44
Figure 24 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	45
Figure 25 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	46
Figure 26 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	48
Figure 27 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	49
Figure 28 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	50
Figure 29 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	51
Figure 30 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	52
Figure 31 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	53

Figure 32 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	54
Figure 33 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	55
Figure 34 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	56
Figure 35 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	57
Figure 36 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	58
Figure 37 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	59
Figure 38 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	60
Figure 39 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée).....	61
Figure 40 : Transit potentiel [m ² /s] moyenné sur le demi-cycle de marée ($\sim 7j$) de houle de SO : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 3 (les zones entourées indiquent une réduction des transits par rapport à l'état initial)	63
Figure 41 : Transit potentiel [m ² /s] moyenné sur le demi-cycle de marée ($\sim 7j$) de houle de NE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 3 (les zones entourées indiquent une réduction des transits par rapport à l'état initial)	64
Figure 42 : Transit potentiel [m ² /s] résultant (SO+NE pondéré) sur le cycle de marée ME/VE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 3 (les zones entourées indiquent une réduction des transits par rapport à l'état initial)	65
Figure 43 : Transit potentiel [m ² /s] moyenné sur le demi-cycle de marée ($\sim 7j$) de houle de SO : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 34.....	67
Figure 44 : Transit potentiel [m ² /s] moyenné sur le demi-cycle de marée ($\sim 7j$) de houle de NE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 4.....	68

Figure 45 : Transit potentiel [m ² /s] résultant (SO+NE pondéré) sur le cycle de marée ME/VE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 4.....	69
Figure 46 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 3 (droite) / Vue d'ensemble	71
Figure 47: Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 3 (droite) / Baie de Wissant et Banc à la Ligne	72
Figure 48 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 3 (droite) / Wissant	73
Figure 49: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Vue d'ensemble	74
Figure 50 : Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Baie de Wissant et Banc à la ligne	75
Figure 51: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Zone ouvrage de comblement et Banc à la Ligne.....	76
Figure 52: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Wissant.....	77
Figure 53 : Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 3 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc3 – BathyFinale-Sc0] – Baie de Wissant et Banc à la ligne	78
Figure 54: Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 3 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc3 – BathyFinale-Sc0] – Wissant	79
Figure 55 : Évolution de profils transversaux suivis par la DDTM62, simulée sur la période 12/2016-12/2026 pour le Scénario 3 (profils de l'état de référence en pointillés)	80
Figure 56 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 4 (droite) / Vue d'ensemble	82
Figure 57: Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 4 (droite) / Baie de Wissant et Banc à la Ligne	83
Figure 58 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 4 (droite) / Wissant	84
Figure 59: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Vue d'ensemble	85
Figure 60 : Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Baie de Wissant et Banc à la ligne	86
Figure 61: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Zone ouvrage de comblement et Banc à la Ligne.....	87
Figure 62: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Wissant.....	88
Figure 63 : Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 4 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc4 – BathyFinale-Sc0] – Baie de Wissant et Banc à la ligne	89

Figure 64 : Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 4 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc4 – BathyFinale-Sc0] – Wissant 90

Figure 65 : Évolution de profils transversaux suivis par la DDTM62, simulée sur l 12/2016-12/2026 pour le Scénario 4 (profils de l'état de référence en pointillés)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Transits moyens annuels (>0 vers le NE) calculés sur les trois profils de la figure précédente, pour tous les scénarios modélisés, par houles moyennes (1^{er} cycle) 34

Acronymes, abréviations et conventions

Abréviations / acronymes

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i> , profileur acoustique de courant
AMO	Assistant à Maitrise d'Ouvrage
AVP	Avant-Projet
BM	Basse mer
CCT2C	Communauté de Communes de la Terre des Deux (2) Caps
CEREMA	Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
DDTM62	Direction départementale des territoires et de la mer Pas-de-Calais
EDF-LNHE	Electricité de France – Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement
Hm0	Hauteur Significative spectrale de la houle
Hs	Hauteur Significative de la houle : moyenne du tiers des vagues les plus fortes (confondue ici avec Hm0)
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
ME	Morte Eau
MNT	Modèle Numérique de Terrain
MOA	Maitre d'Ouvrage du projet
MOE	Maitre d'œuvre du projet
NGF	Nivellement Général de la France
NM	Niveau moyen
N,O,S,E	Directions : Nord, Ouest, Sud, Est
ONERC	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
PBMA	Plus Basse Mer Astronomique
PHMA	Plus haute Mer Astronomique
PM	Pleine mer
PMCO	Pôle Métropolitain Côte d'Opale
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
TN	Terrain Naturel
Tp	Période pic de la houle
Tr	Période de retour
VE	Vive Eau
ZH	Zéro Hydrographique (Zéro des cartes marines ; parfois noté CM, Cote Marine)
Zw	Niveau d'eau statique (positif)

Conventions

Le système d'unités pris en compte dans ce rapport est le système métrique international (SI).

Convention relative à la notion de direction

Direction	• du vent: direction d'où souffle le vent, • des vagues: direction de provenance des vagues, • des courants marins: direction où portent les courants
------------------	---

Systèmes de références planimétrique et vertical

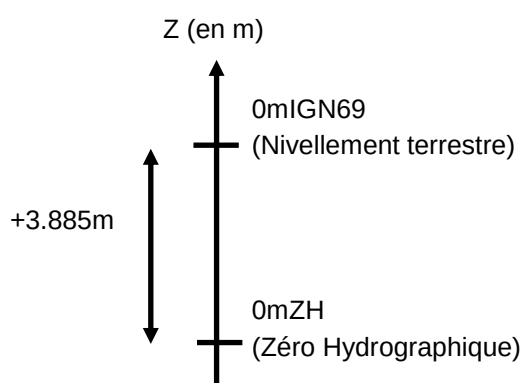
Le système de coordonnées retenu pour la présente étude est la projection RGF93 Lambert93.

Par défaut, les cotes altimétriques évoquées dans cette étude sont rapportées au zéro hydrographique (ZH), c'est-à-dire le nivellement des cartes marines, qui correspond au niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très exceptionnellement.

A Calais et Boulogne s/mer, le zéro hydrographique se situe à 3.455m et 4.384m respectivement, en dessous du zéro du nivellement terrestre (repère IGN69, assimilable au repère NGF ; cf. [D1]).

En lien avec les derniers travaux topographiques réalisés sur la commune, le référentiel altimétrique appliqué à la zone de projet considère un zéro hydrographique intermédiaire, situé 3.885m en dessous du zéro du nivellement terrestre, comme illustré sur la figure ci-dessous.

Figure 1 : Référentiel altimétrique à Wissant



1. Introduction

1.1 Zone d'étude

Située dans le Pas-de-Calais (62), la baie de Wissant s'ouvre sur la Manche (Figure 2).



Figure 2: Localisation du projet

La zone d'étude du projet représente la partie centrale de la baie de Wissant - s'étendant de part et d'autre du perré - concernée par le rechargement en sable.

Le périmètre de réensablement défini au CCTP de maîtrise d'œuvre est le suivant. Il est issu de l'étude de faisabilité de réensablement datée de 2014.

L'emprise couverte par le modèle numérique couvre quant à elle une zone plus étendue, intégrant le Banc à la Ligne, et est représentée sur la Figure 10 p.23.



Figure 3: Périmètre de réensablement défini au CCTP

1.2 Contexte de l'étude et objet du document

Dans le cadre de la mission de MOE pour le réensablement massif de la partie centrale de la baie de Wissant, des modélisations numériques ont été réalisées par EGIS afin d'étudier l'hydrodynamisme et le fonctionnement morphosédimentaire de la baie de Wissant ([P2] à [P5]).

Ces modélisations ont été réalisées à l'aide d'un modèle morphodynamique d'évolution des fonds en Baie de Wissant, mis en œuvre avec la suite logicielle open TELEMAT-MASCARET. La mise en œuvre du modèle a été expertisée par le CEREMA intervenant en tant qu'AMO.

Plusieurs configurations ont été étudiées :

- l'état de la Baie au démarrage du projet, constituant l'état de référence du projet (Scénario 0) ;
- deux scénarios d'aménagement intégrant un réensablement massif (apport d'environ 1.7Mm³ de sable réparti sur environ 3000m de linéaire côtier) seul ou accompagné d'ouvrages de protection complémentaires (Scénarios 1 et 2).

La modélisation de l'état de référence (cf. rapports [P2] et [P3]) a permis de quantifier les effets des Scénarios 1 et 2 sur le transit sédimentaire littoral et l'érosion chronique de l'estran.

La description des scénarios d'aménagement 1 et 2, et les principaux résultats obtenus sont présentés dans les rapports [P4] et [P5].

A l'issue des résultats de modélisation, et compte tenu des évaluations techniques et financières (tendance érosive non infléchie et coût prohibitif au regard de la taxe GEMAPI notamment) au stade AVP, et du résultat du bilan de la concertation (Juin-Juillet 2019), pris en délibération par la CCT2C le 25/09/2019, les suites à donner concernant ce projet consistent, pour la CCT2C et ses partenaires rappelés en début de délibération (cf. [P6]), à abandonner la solution de rechargement massif et à s'orienter vers une solution de mise en défens de la zone d'étude à court/moyen terme en attendant l'avancement des réflexions sur les solutions à plus long terme.

Parallèlement à cette réorientation des objectifs du projet, il a été demandé à Egis de réaliser des modélisations numériques complémentaires visant à étudier des solutions alternatives au rechargement massif. Ces solutions proviennent d'une demande issue de la concertation et consistent en un comblement partiel de la passe reliant le Cap Gris Nez au Banc à la Ligne à l'aide d'une digue submersible en enrochements faisant obstruction partielle au courant.

Deux variantes sont étudiées, nommées par la suite Scénarios 3 et 4, selon que la digue submersible se situe (cf. Figure 4) :

- à l'intérieur de la Baie, entre la cale de mise à l'eau d'Audinghen et les bouchots : Scénario 3 ;
- ou dans l'axe du Banc à la Ligne, enracinée au niveau du Cap Gris-Nez : Scénario 4.

Ce rapport présente les résultats de ces travaux de modélisation complémentaires.

2. Synthèse et références

Deux scénarios d'aménagement alternatifs à un réensablement massif, visant à la protection du littoral de Wissant, sont étudiés à l'aide du modèle morphodynamique d'évolution des fonds mis en œuvre sur la zone de la Baie de Wissant (cf. rapport de calage et modélisation du Scénario 0 / de référence ; [P2] et [P3]). Ces scénarios – notés Scénario 3 et Scénario 4 – consistent tous deux en un comblement partiel de la Baie de Wissant par la mise en place d'une digue submersible reliant le Banc-à-la-Ligne à la côte, en envisageant deux enracinements côtiers possibles, à l'intérieur de la Baie et au Cap-Gris-Nez respectivement. Le choix de tels scénarios repose sur l'attente d'une diminution de l'intensité et de l'asymétrie des courants dans la baie (dérive orientée vers le banc et le SO) et, par voie de conséquence, d'un rapprochement du Banc à la Ligne de la côte et d'une limitation de l'érosion et des transits sédimentaires sur le littoral de Wissant.

Les ouvrages envisagés – en enrochements – présentent un linéaire de l'ordre de 600 à 800m, reliant les isobathes -1mZH du Banc et à la côte ; leur largeur en crête est de 15m. Le maillage de calcul et le MNT ont été adaptés afin d'intégrer au mieux ces ouvrages dans le modèle numérique et représenter finement leurs effets sur l'hydrodynamisme local (raffinement sur l'emprise des ouvrages, définition d'une zone non érodable, prise en compte d'une pente de 4H:3V).

L'analyse des résultats de simulations d'évolution des fonds sur 10 ans (2016-2026), réalisées avec le modèle couplé TELEMAC-TOMAWAC-SISYPHE (de la suite open TELEMAC-MASCARET) en présence de ces ouvrages de comblement (Scénario 3 et Scénario 4), met en évidence les éléments suivants :

- L'effet de ces ouvrages sur l'hydrodynamisme est limité à leur voisinage immédiat et autour de la BM, lorsque les niveaux d'eau sont les plus faibles (ici observé en conditions de marée de VE) ; le reste du temps et partout ailleurs – en particulier devant Wissant –, leur effet est négligeable ;
 - Concernant les courants, une réduction de l'intensité des courants est effectivement constatée, mais restant limitée à l'exception de la zone d'implantation de l'ouvrage (jusqu'à 10% au point de mesure ADCP1 et 5% au droit de Wissant) ; à BM néanmoins, la vitesse de la dérive littorale remontant vers Wissant est réduite de moitié, notamment dans le cas du Scénario 3.
 - Concernant l'agitation, les hauteurs significatives des vagues sont plus affectées à niveau d'eau bas, comme pour les courants : l'interaction houle-courant induit tantôt une diminution (par houle de SO, lorsque la propagation des vagues s'oppose au courant), tantôt une augmentation (par houle de NE, de par le ralentissement des courants transversaux) de l'agitation dans la baie.
- Les transits sédimentaires moyens sont réduits au voisinage des ouvrages modélisés ainsi qu'au Nord du Banc à la Ligne, mais ne le sont pas significativement sur la zone d'estran devant Wissant (réduction de l'ordre de 5% au mieux) : les gradients de transit et par suite la tendance érosive de la zone d'étude ne sont donc pas sensiblement modifiés ; les Scénarios 3 et 4 n'atteignent pas les performances des solutions des Scénarios 1 et 2 de rechargement massif ;
- Concernant l'évolution des fonds, les scénarios 3 et 4 ont un impact très limité sur le littoral de Wissant, malgré un impact potentiellement fort sur la passe et le Banc (en particulier le Scénario 3) :

- Concernant le Banc à la ligne, le Scénario 3 présente un impact fort sur sa physionomie finale, en lien avec le contournement de la digue sous-marine (effets de bords importants) ; au Nord du banc, un segment sableux étroit se détache du segment inférieur pour cette configuration. Le Scénario 4 présente quant à lui un impact plus réduit (ancrage de l'ouvrage côté Cap GN sur une zone non érodable, et offrant une obstruction moins franche aux courants), et une légère tendance au rapprochement du Banc avec la côte, par rapport à l'état de référence ;
- Chacun des deux Scénarios induit un ensablement progressif significatif du chenal de circulation entre le Banc et le Cap, réparti de manière plus homogène pour le Scénario 4.

En conclusion, on peut retenir que :

- les modélisations complémentaires ont été réalisées dans un but de vérifier l'impact hydrosédimentaire de la mise en œuvre d'un barrage hydraulique entre le Banc à la ligne et le Gris Nez en vue d'altérer le courant de jusant ;
- l'analyse des résultats montre que les effets attendus, bien que positifs, ne sont pas significatifs, avec de possible effets négatifs sur la structure du Banc. L'impact positif espéré au niveau de Wissant au bout de 10 ans (limitation tout au plus de 5% du transit sédimentaire sur la zone dune d'aval et légère aggravation côté dune d'amont) est donc très faible au regard de l'investissement que représenterait un tel aménagement (entre 5 et 7M€ HT).

Ces modélisations complémentaires ne remettent pas en cause les conclusions quant au fonctionnement de la baie et à l'origine, multifactorielle, de la phase érosive en cours depuis plusieurs décennies.

Il est établi que le Banc, la dépression, et la bande côtière forment un système qui interagit ensemble. La position du Banc semble influencer sur la dépression et sur les zones en érosion, qui se sont déplacées au fil du temps, vraisemblablement en lien avec la position du Banc et la disponibilité des matériaux précédemment apportés au dernier rapprochement du Banc avec la Côte (début XX^{ème}), les apports en provenance du Sud s'étend raréfiés à partir de la moitié du XX^{ème} siècle.

Parmi les causes expliquant l'érosion récente du littoral de la Baie figure le fait que la configuration actuelle du Banc et de la dépression littorale favorise une dynamique d'alimentation du Banc à partir de sédiments arrachés au littoral, qui lui n'est, par ailleurs, quasiment plus alimenté par le transit littoral SO→NE lié à la houle, existant initialement.

Les scénarios modélisés visaient à étudier la faisabilité de modifier substantiellement l'hydrodynamique de la baie en induisant une perte de charge localisée, à l'image de ce qui pouvait exister par le passé aux époques où la passe entre le Cap et le Banc n'était pas aussi creusée.

Ces résultats montrent que les ouvrages envisagés, bien que déjà imposants, n'induisent pas une perte de charge suffisante pour modifier substantiellement l'hydrodynamique de la baie, et donc la dynamique sédimentaire du Banc et/ou du littoral de Wissant. Ce résultat traduit soit que les ouvrages nécessaires devraient être bien plus larges (et donc plus coûteux), soit qu'il ne s'agit pas du facteur prépondérant à l'origine de la situation présente (ou les deux à la fois).

L'importance du déficit sédimentaire en provenance du Sud sur l'évolution du Banc et l'alimentation / stabilité du littoral de la Baie est de fait vraisemblablement prépondérante.

En l'absence d'une possibilité de rétablissement à court/moyen terme du transit sédimentaire en provenance du Sud, une inversion nette de la tendance érosive actuelle ne pourrait résulter que d'un rattachement rapide du Banc à la Ligne au littoral de la Baie, à l'image de ce qui s'est déjà produit par le passé. Bien que les conditions de déclenchement de cette dynamique ne soient pas clairement identifiées, celles-ci semblent cependant elles-mêmes conditionnées par un engraissement significatif du banc, historiquement alimenté par un transit littoral Sud→Nord au Sud du Cap Gris Nez. L'éventualité d'un rattachement du Banc à la Ligne au littoral est de ce fait peu probable actuellement.

Références

Le présent rapport fait référence à la documentation suivante :

Documents de référence du projet :

[P1].	PMCO, Réensablement massif de la partie centrale de la baie de Wissant - Mission de maîtrise d'œuvre intégrant une modélisation hydrosédimentaire - Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)
[P2].	Egis, 2018. Maitrise d'œuvre en vue du réensablement massif de la partie centrale de la baie de Wissant - Modélisation hydrosédimentaire - Modélisation de la houle et courantologie – État initial MANJ02301-MOE-COT-RAP-0001_03_Wissant_HydroActuel_V3
[P3].	Egis, 2019. Maitrise d'œuvre en vue du réensablement massif de la partie centrale de la baie de Wissant - Modélisation hydrosédimentaire – Modélisation de l'évolution des fonds marins – Etat initial MANJ02301-MOE-COT-RAP-0002_03_Wissant_MorphodynActuel_V3
[P4].	Egis, 2019. Maitrise d'œuvre en vue du réensablement massif de la partie centrale de la baie de Wissant - Modélisation de la houle et courantologie – États aménagés MANJ02301-AVP-COT-RAP-0003_03_Wissant_HydroFutur_v3
[P5].	Egis, 2019. Maitrise d'œuvre en vue du réensablement massif de la partie centrale de la baie de Wissant - Modélisation hydrosédimentaire – Modélisation de l'évolution des fonds marins – Etats aménagés MANJ02301-AVP-COT-RAP-0004_03_Wissant_MorphodynFutur_v3
[P6].	Délibération de la CCT2C du 25 septembre 2019 relative au bilan de la concertation concernant le projet de réensablement massif de la partie centrale de la Baie de Wissant

Documentation et données locales

[D1].	SHOM, 2017. Références Altimétriques Maritimes - Cotes Du Zéro Hydrographique Et Niveaux Caractéristiques De La Marée
-------	---

Etudes antérieures

[A1].	Cartier A., 2011. Evaluation des flux sédimentaires sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : Vers une meilleure compréhension de la morphodynamique des plages macrotidales. Thèse, 408pp.
[A2].	Oudart, T., 2016. Dynamique morpho-sédimentaire de littoraux sableux macrotidaux à barres intertidales : modélisation numérique et expérimentations in situ, Rapport de thèse, Université Grenoble Alpes, 2016, 211 p.
[A3].	Clabaut, P. 1988. Dynamique sédimentaire dans le détroit du Pas-de-Calais (large des côtes françaises). Thèse océanologie, Université des Sciences et Techniques de Flandres-Artois, 241p.
[A4].	Ruz, M.-H., Meur-Ferec, C., 2004. Influence of high water levels on aeolian sand transport: upper beach/dune evolution on a macrotidal coast, Wissant Bay, northern France. Geomorphology, vol. 60, p.73-87.

3. Approche méthodologique

3.1 Scénario d'aménagement modélisé

3.1.1 Principe et objectifs

Les solutions proposées de comblement partiel de la passe, nommées **Scénario n°3** et **Scénario n°4**, consistent chacune en une digue submergée en enrochements. Dans ces deux scénarios, la digue relie le Banc à la Ligne au rivage :

- Scénario 3 : à l'intérieur de la baie, à l'Est de la cale de mise à l'eau d'Audinghen ;
- Scénario 4 : au voisinage du Cap Gris-Nez (voir Figure 4).

L'objectif de ces solutions est de créer une perte de charge vis-à-vis des courants de marée en vue de modifier la courantologie de la baie, de manière à réduire les courants repoussant le Banc vers le large, et limiter le transport de sédiments entre le bas estran et le Banc, et donc, l'érosion sur la zone d'étude. Outre la question de l'efficacité de ce principe d'aménagement, l'intérêt d'un tel aménagement serait de préserver les usages de l'estran, et de favoriser la biodiversité et la pêche (substrat rocheux immergé). L'impact global sur l'environnement d'un tel aménagement, et par suite les conditions d'obtention des autorisations réglementaires pour sa mise en œuvre, sont cependant très incertains et devront être étudiés en détail dans le cas où cette solution devait être retenue.

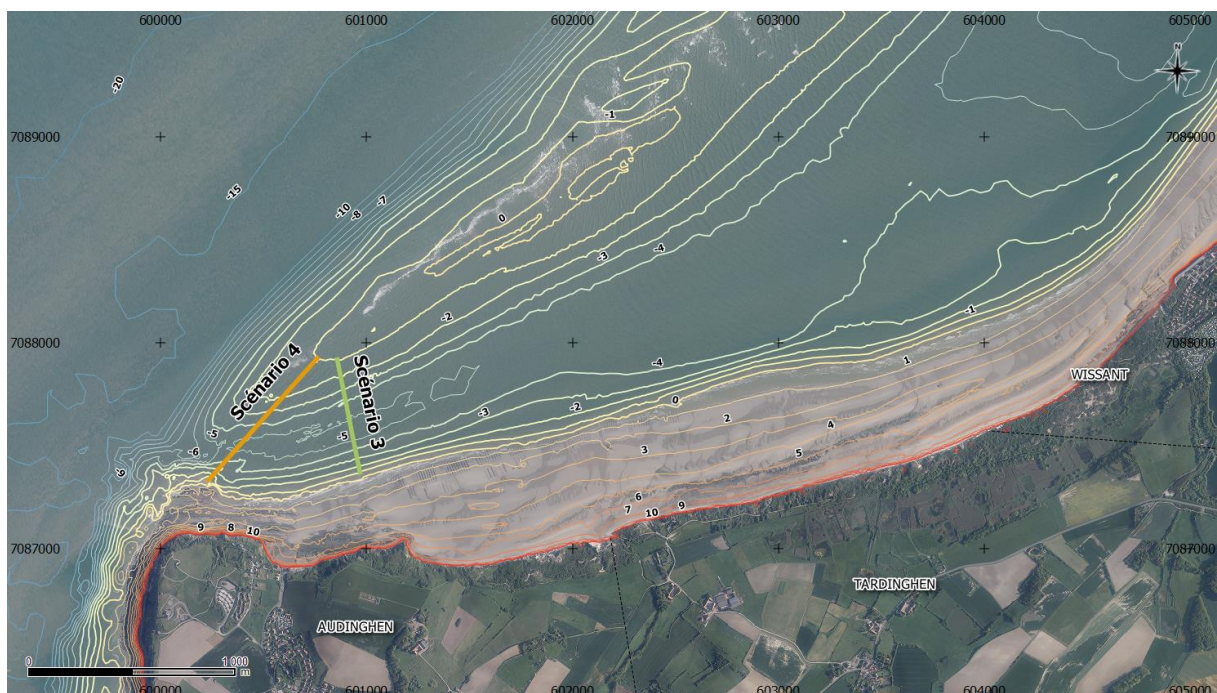


Figure 4 : Localisation des solutions de comblement partiel de la passe : de la plage d'Audinghen au Banc-à-la-Ligne (Scénario 3, vert) et du Cap Gris-Nez au Banc-à-la-Ligne (Scénario 4, orange) °

3.1.2 Caractéristiques des ouvrages

Quel que soit le Scénario considéré, la digue présente une arase à -1mZH, une largeur en crête de 15m, et des pentes de talus à 4H:3V (pente naturelle prise par les enrochements après déversement). Bien que la structure interne de l'ouvrage ne soit pas pris en compte par le modèle, celle-ci pourrait être constituée d'une carapace en blocs de 2-3t, reposant sur une sous-couche en 100-500kg.

Dans chaque cas, la digue est ancrée côté terre et côté Banc à la Ligne au niveau de l'isobathe -1mZH (arase de l'ouvrage). Sa longueur dépend ainsi de sa localisation ; elle est d'environ 570m et 810m, pour les scénarios 3 et 4 respectivement (cf. Figure 4).

Une coupe transversale de principe de l'ouvrage intégré au modèle est esquissée sur la Figure 5.

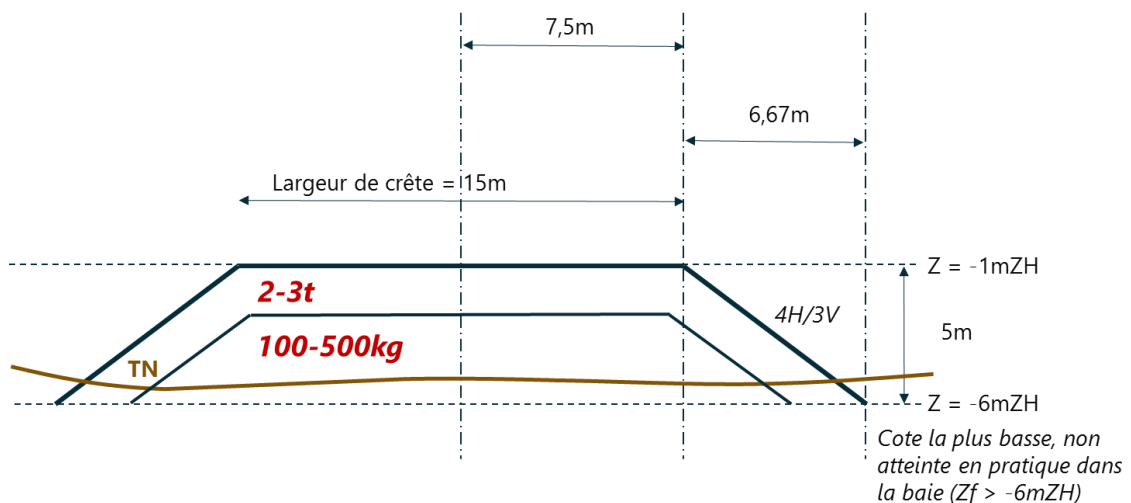


Figure 5 : Coupe de principe de la digue submergée modélisée dans le cadre des Scénarios 3 et 4

3.2 Modélisation hydrosédimentaire moyen terme de l'évolution de l'estran

3.2.1 Suite logicielle utilisée et phénomènes modélisés, paramétrisation

Le système de modélisation mis en œuvre pour la simulation de l'évolution morphologique de la baie de Wissant est le système **open TELEMAC-MASCARET** (<http://www.opentelemac.org/>), comprenant – entre autres – les trois codes couplés suivants : TELEMAC2D, TOMAWAC, SISYPHE.

Le modèle courantologique (niveaux d'eau et courants) permet de prendre en compte les phénomènes :

- de marée astronomique,
- d'entraînement lié au vent,
- de dérive et surcote liées au déferlement de la houle.

La configuration et paramétrisation du couplage houle-courant est présentée en détail dans les rapports de l'état de référence, relatifs à l'hydrodynamique [P2], et à l'évolution des fonds [P3].

3.2.2 Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Pour chaque scénario considéré, la digue sous-marine est intégrée au MNT précédemment utilisé pour les simulations morphodynamiques de l'état de référence, décrit plus en détail dans le rapport [P3].

Les MNT ainsi mis en œuvre pour chacun des Scénarios 3 et 4, sont illustrés sur les Figure 7 à Figure 6 ci-après.

De même que pour les précédents scénarios simulés, la référence temporelle – état initial T0 – attribuée à chacun des MNT des scénarios 3 et 4 est Décembre 2016 (cf. [P3]).

Les coupes transversales et longitudinales de la digue telle qu'intégrée dans le modèle numérique pour chacun des Scénario 3 et 4, sont données sur la Figure 9 ci-après.

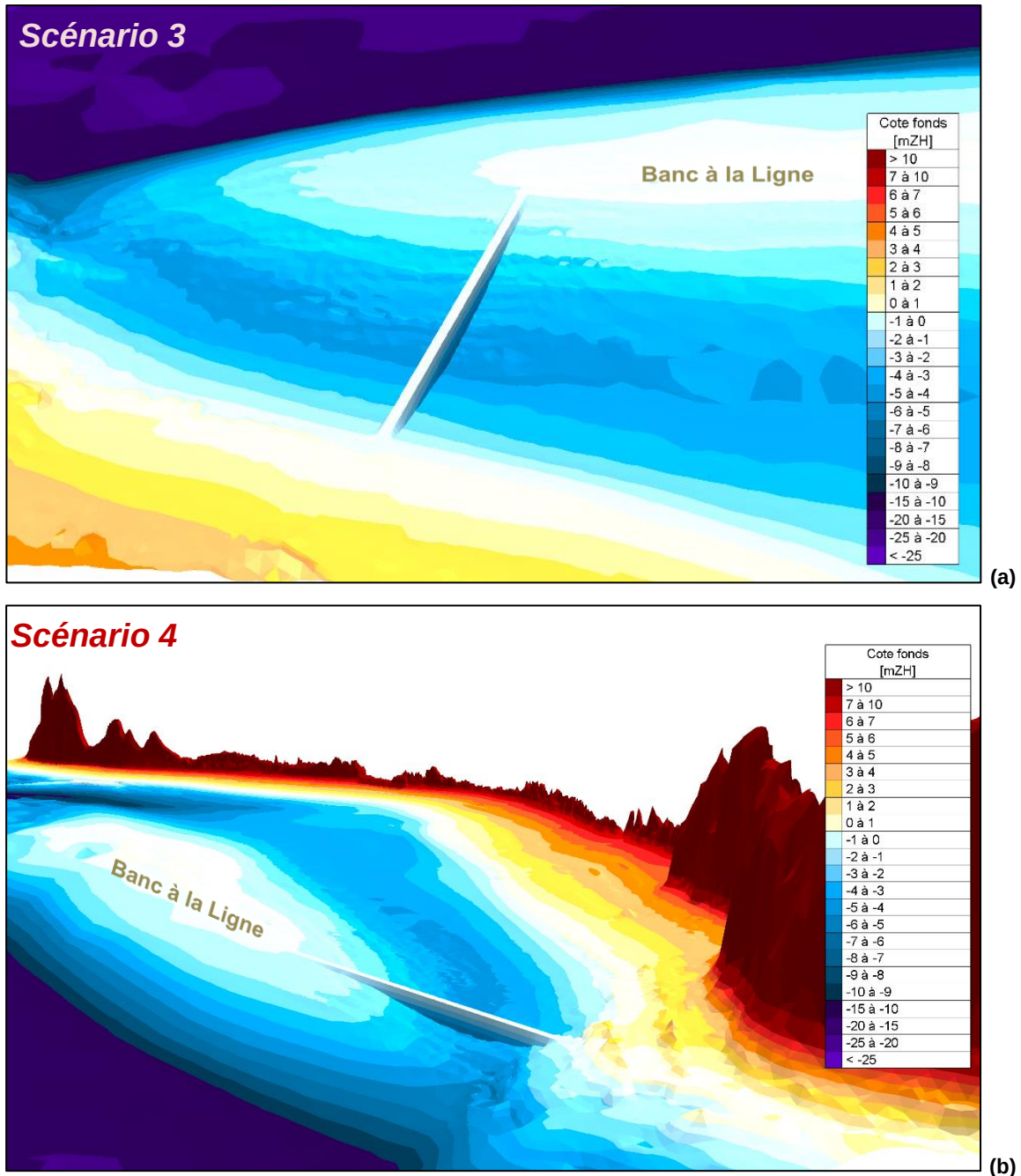


Figure 6: Vue 3D du MNT mis en œuvre pour les Scénario 3 (a) et Scénario 4 (b) (exagération verticale : x 10)

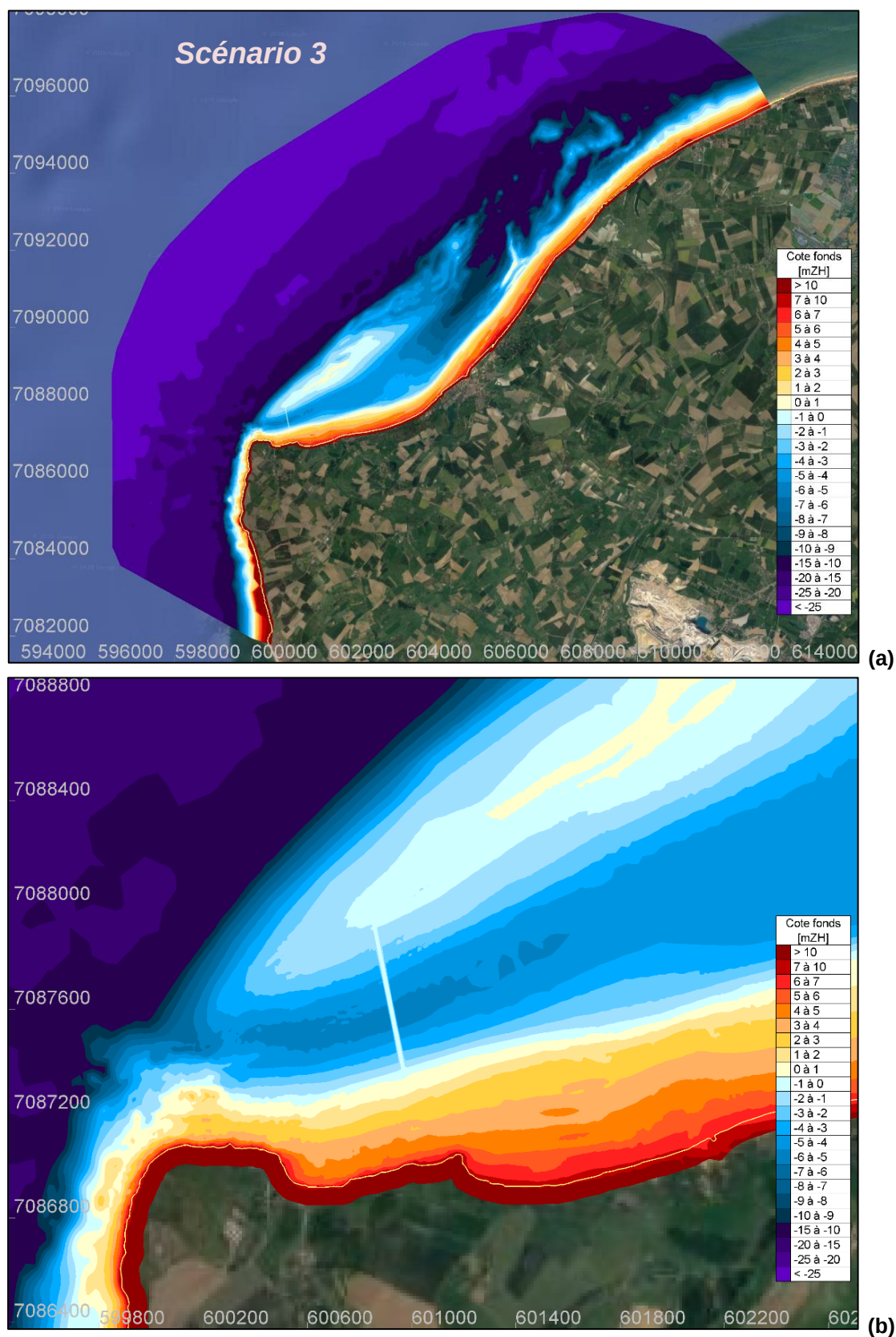


Figure 7 : MNT du modèle pour le Scénario n°3 – Vue d'ensemble (a) et au niveau de l'ouvrage (b)

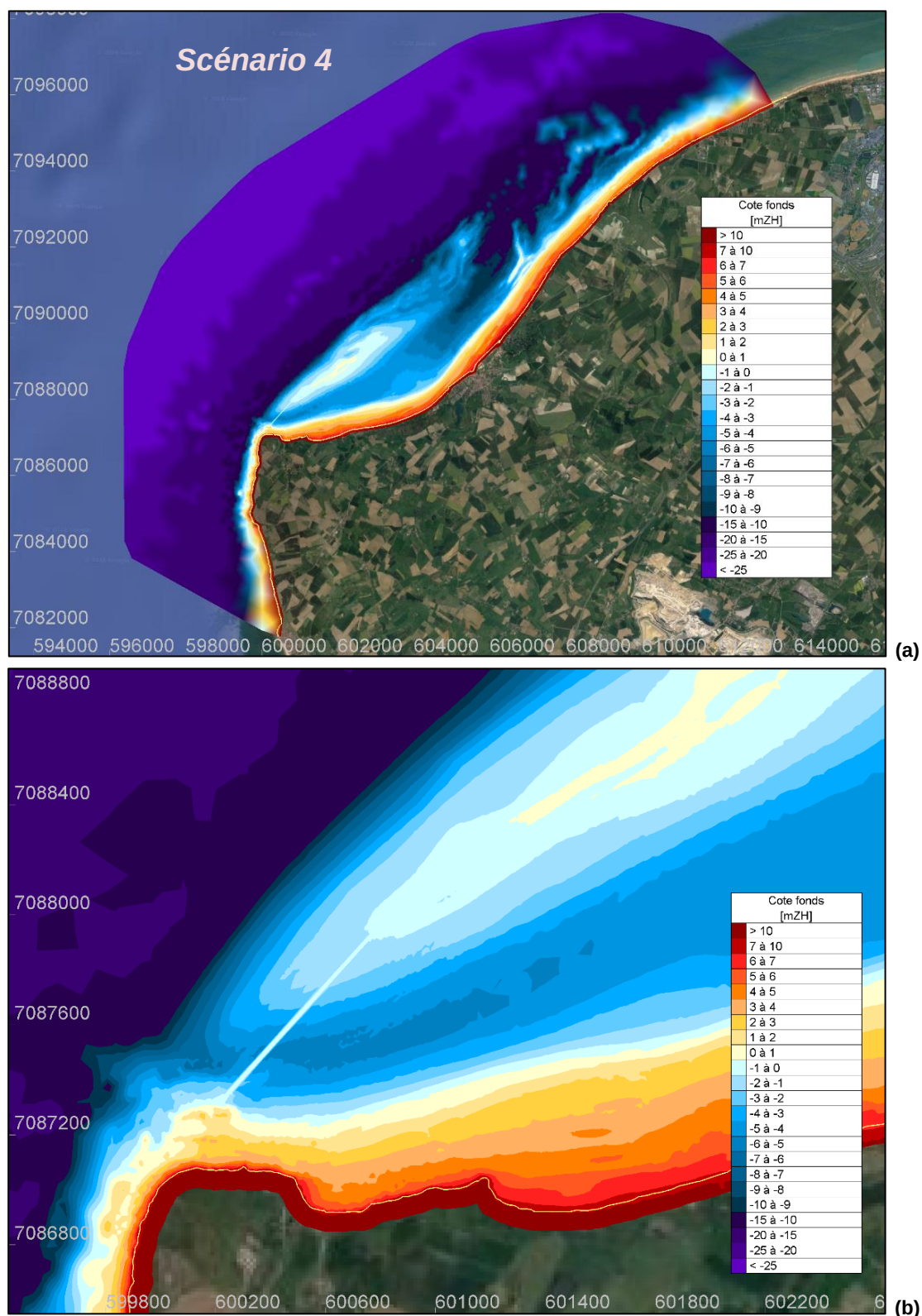


Figure 8 : MNT du modèle pour le Scénario n°4 – Vue d'ensemble (a) et au niveau de l'ouvrage (b)

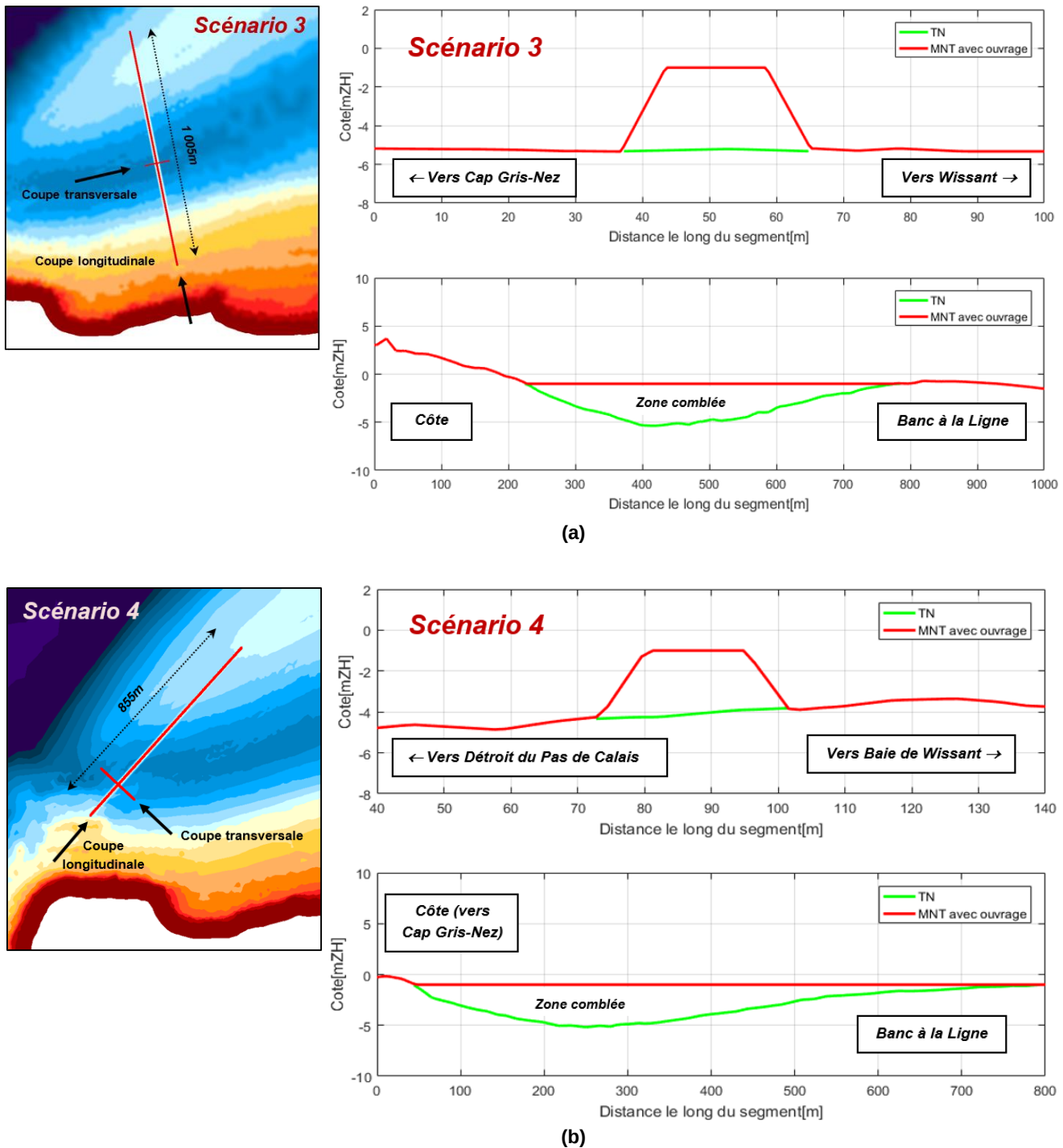


Figure 9 : Coupes transversales (haut) et longitudinales (bas) de la digue sous-marine modélisée pour les Scénarios 3 (a) et 4 (b), avec figuration du Terrain Naturel (TN) à l'état de référence

3.2.3 Maillage

Le maillage utilisé pour les scénarios 3 et 4 est identique en terme de résolution à celui des simulations courantologiques et morphodynamiques à l'état actuel [P4], à l'exception de la zone d'aménagement, pour laquelle un raffinement local du maillage a été rendu nécessaire pour la bonne intégration de la digue sous-marine dans le modèle.

La largeur de crête de la digue (enrochements) étant fixée à 15m, une résolution proche de 7m est imposée sur son emprise (tandis que la résolution locale est d'environ 15m dans le maillage de l'état de référence). Les arêtes de crête et pied de l'ouvrage sont utilisées comme lignes de contraintes pour le maillage.

L'impact sur le nombre de nœuds de calcul est relativement limité, passant d'environ 76 100 pour l'état de référence, à 76 700 pour le Scénario 3, et 76 800 pour le Scénario 4.

Le raffinement réalisé et la nouvelle topographie autour des ouvrages sont illustrés sur la Figure 11.

NB : Il est important de noter que l'adaptation du maillage sur la zone d'aménagement (résolution plus fine et intégration de nouvelles lignes de contraintes) induit *de facto* des artefacts dans les comparaisons des résultats des Scénarios 3 et 4 avec ceux de l'état de référence. L'ensemble des points de calcul vont en effet être légèrement déplacés de leur position initiale. Sur les zones maillées finement, cela n'aura pas ou peu d'impact sur l'attribution de la cote bathymétrique initiale aux points de grille (la projection du MNT est faite par interpolation sur les nœuds de la grille de calcul), mais pour les zones maillées grossièrement (à l'extérieur de la baie essentiellement) le résultat de l'interpolation de la bathymétrie peut présenter des écarts significatifs (l'erreur à l'échelle globale de la zone étant néanmoins négligeable). Ces écarts initiaux peuvent ainsi induire des écarts dans les résultats, dont l'origine est intrinsèque à l'intégration des aménagements.



Figure 10 : Emprise et maillage du modèle - Vue générale (similaire pour les 2 scénarios à cette échelle)

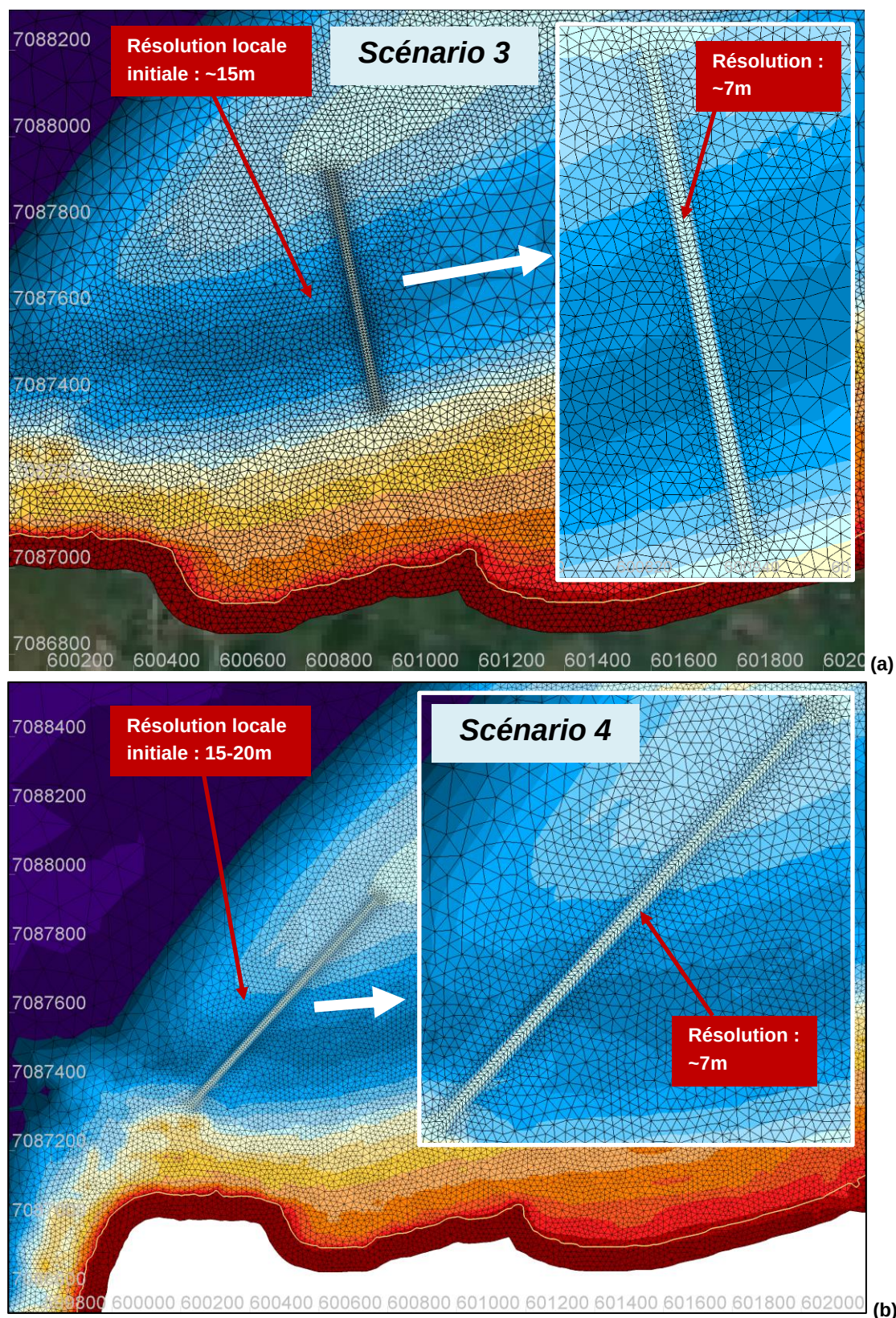


Figure 11 : Maillage non structuré du modèle au niveau de l'ouvrage (avec détail) des Scénarios 3 (a) et 4 (b) ; la résolution locale est d'environ 7m sur l'emprise de l'ouvrage et 15-20m à son voisinage immédiat

3.2.4 Erodabilité de la zone comblée

Les ouvrages étant constitué d'enrochements, une condition de non-érodabilité est déclarée sur leur emprise dans le modèle morphosédimentaire, au même titre que les zones d'affleurements rocheux, tourbeux, graviers et cailloutis précédemment définis pour l'état de référence (cf. rapport [P4]). La zone non érodable modifiée pour chacun des scénarios 3 et 4 est illustrée sur la figure ci-dessous.

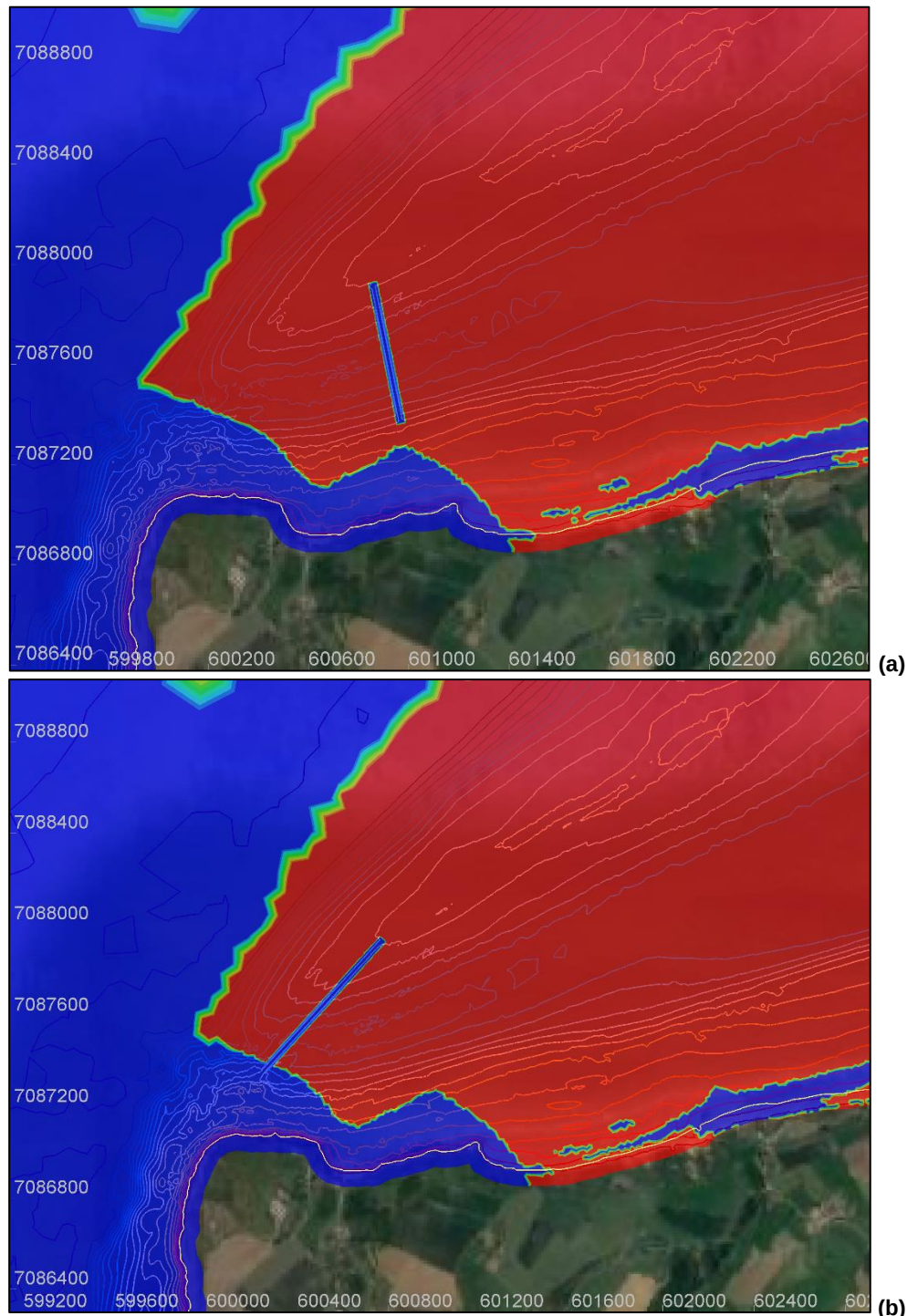


Figure 12 : Zones non érodables définies dans le modèle numérique (en bleu) avec prise en compte du nouvel ouvrage dans le cadre des Scénarios 3 (a) et 4 (b) ; la zone en rouge correspond à une zone sableuse (érodable)

3.2.5 Forçages hydrodynamiques

Les forçages hydrodynamiques retenus à l'issue du calage de l'état de référence (config.2A ; cf. [P3]) sont utilisés pour la modélisation des états aménagés des Scénarios 3 et 4.

Pour rappel, la méthodologie retenue correspond à la définition de cycles hydrodynamiques morphogènes (cycles de marée Morte Eau / Vive Eau), fondée sur des houles morphogènes usuelles (de SO et NE, alternativement) sans contribution directe d'événements exceptionnels (tempêtes), et d'un facteur d'allongement (MOFAC). La justification de la méthodologie et les tests réalisés sont décrits en détail dans le rapport de calage de l'état de référence [P3].

3.2.6 Rappel des limitations du modèle

Du fait des limitations, soit intrinsèques au modèle, soit inhérentes à l'échelle spatiale des phénomènes considérés, les phénomènes suivants ne sont pas pris en compte par le modèle mis en œuvre :

- **Transport éolien** : celui-ci est potentiellement important sur la zone d'étude, et participe théoriquement à la morphogénèse dunaire. Néanmoins, des mesures réalisées par Ruz et Meur-Ferec [A4] sur la zone de Dune d'Aval ont montré que cette composante est actuellement très réduite du fait de l'état particulièrement érodé de l'estran, limitant la disponibilité de sable sec mobilisable par le vent. Bien que ce ne soit pas mentionné par ces auteurs, les résurgences d'eau sur l'estran limitent aussi vraisemblablement la capacité de transport sédimentaire par le vent.
- **Apports du bassin versant** :
 - Trois **cours d'eau** débouchent sur la zone : le ruisseau des Anguilles entre la dune du châtelet et la baraque Fricot, le ruisseau d'Herlen au nord du perré de Wissant, et le ruisseau des Nains au nord de la dune d'Amont. Seul l'Herlen présente un débit pérenne. La résolution du modèle ne permet cependant pas de représenter correctement le débouché du cours d'eau, et les apports sédimentaires sont vraisemblablement limités. De ce fait, aucun cours d'eau n'a été inclus dans le modèle.
 - Par ailleurs, des **résurgences** sont régulièrement observées le long de la zone d'étude, en connexion hydraulique possible avec les retenues situées dans les terres. Aucune étude cependant n'est disponible, permettant d'établir des points de résurgence récurrents associés à des valeurs de débits caractéristiques, ni d'évaluer leur influence sur le bilan sédimentaire de la zone.
- **Variabilité de la nature des sédiments du fond** : les fonds réels sont caractérisés par une granulométrie étendue, variable spatialement, horizontalement et verticalement (entraînant même une variabilité saisonnière, comme cela a été mis en évidence par Clabaut [A3]). Par ailleurs, des affleurements de tourbe sont observés localement, aux caractéristiques rhéologiques particulières. Ces conditions modulent le transport sédimentaire sur la zone, et sont également représentatives d'un équilibre atteint en réponse aux forçages hydrodynamiques en jeu sur la zone. La prise en compte de cette complexité (granulométrie étendue, multicouche, cohésive et non cohésive) nécessiterait cependant un jeu de données particulièrement exhaustif, non disponible actuellement, et un temps d'intégration et de calage complémentaire du modèle non prévu à ce stade. Dans la présente étude, compte tenu de la relative homogénéité de la taille des sédiments sur la zone d'étude, cette simplification de la réalité, consistant à considérer une classe unique de matériaux non cohésifs, est considérée acceptable pour la représentation d'une évolution moyenne de la zone.

- **Représentation de la dynamique en zone de déferlement et d'équilibre du front dunaire :** les phénomènes de surélévation liés au battement de déferlement (*surf beat*), ou de courants de retour sur le fond (*undertow*) ne sont pas représentés par le modèle. Seul le *wave setup* est pris en compte dans le calcul des niveaux d'eau maximum à la côte, et le courant induit par la houle au déferlement est considéré homogène sur la verticale. La représentation de la houle à la côte est par ailleurs incertaine avec ce type de modèle dès lors que l'on se situe en eau peu profonde (environ $<1/25$ de la longueur d'onde de la houle au large, soit p.ex. 4m pour $T=8s$), et le modèle ne tient pas compte des pentes d'équilibre du front dunaire (phénomène d'avalanching).
Concernant la représentation des courants d'*undertow*, les analyses réalisées dans le cadre des travaux de thèse de Cartier [A1] et Oudart [A2] mettent en évidence des vitesses et taux de transports instantanés significatifs et souvent supérieurs à la composante longitudinale. Ils rappellent néanmoins que les phénomènes longitudinaux (*longshore*) sont prédominants sur les phénomènes transversaux (*crossshore*) à l'échelle de la journée ou plus. Cette simplification semble de ce fait raisonnable ici.
- **Représentation des chenaux de vidange :** sur la zone d'étude, une redistribution significative des sédiments dans le sens transversal est opérée par des chenaux de vidange reliant deux ou trois bâches entre elles. Ces chenaux, dont la largeur varie d'environ 1m à 10m sur la zone, se créent au gré des évolutions et migrations des barres. Du fait de la résolution du modèle de l'ordre de 10m au minimum, les principaux chenaux sont représentés. Une résolution complète de ces formes du fond nécessiterait en revanche une taille de maille d'ordre métrique ou submétrique sur l'ensemble de l'estran, ce qui rendrait impraticable l'exécution du code de calcul.

4. Résultats de la modélisation hydrosédimentaire

L'ensemble des résultats graphiques du modèle morphodynamique mis en œuvre pour les deux scénarios 3 et 4 de comblement partiel de la passe située entre le Cap Gris-Nez et le Banc à la Ligne sont présentés en Annexe I (§5) de ce rapport.

4.1 Aspects hydrodynamiques

L'analyse des résultats développée ci-après montre que l'effet des ouvrages modélisés sur l'hydrodynamisme de la baie est limité à leur voisinage immédiat et autour de la BM, lorsque les niveaux d'eau sont les plus faibles (ici observé en conditions de marée de VE) ; partout ailleurs – en particulier devant Wissant –, leur effet est négligeable.

4.1.1 Effet de l'aménagement sur les courants

On retiendra concernant les courants, que les ouvrages modélisés :

- ont un effet limité à l'échelle de la baie de Wissant, quels que soient le Scénario et l'instant de la marée considérés ;
- induisent une réduction de l'intensité des courants, particulièrement ressentie au voisinage et au passage de l'ouvrage, plus limitée au-delà, de l'ordre de 10% au point de mesure ADCP1 et 5% au droit de Wissant ;
- à BM, la vitesse de la dérive littorale remontant vers Wissant est réduite de moitié, notamment dans le cas du Scénario 3 ;
- au niveau des ouvrages, la perte de charge induite par la réduction de la profondeur d'eau localement ralentit le fluide à son passage ; aux extrémités de la digue, une accélération est plutôt observée, favorisant des affouillements locaux là où les fonds le permettent (cf. paragraphe suivant).

Les courants simulés en marée de VE (coefficient proche de 90) par houle de SO et NE pour les Scénarios 3 et 4 sont illustrés en Annexe au §5.1.1 sur les figures :

- A l'échelle de la baie, toutes les 2h autour de l'instant de PM : Figure 20 à Figure 23 pour le Scénario 3, et Figure 26 à Figure 29 pour le Scénario 4 ;
- Au niveau de la zone d'implantation de la digue sous-marine, aux instants de marée où l'effet des ouvrages sur les courants est le plus significatif, c'est-à-dire autour de BM, soit PM-6h, PM-4h et PM+4h : Figure 24 et Figure 25 pour le Scénario 3, et Figure 30 et Figure 31 pour le Scénario 4.

Dans chaque cas, les résultats du Scénario 0 sont présentés en parallèle pour apprécier l'effet des Scénarios d'aménagement 3 et 4.

De façon générale, la courantologie en Baie de Wissant et a fortiori au niveau de Wissant, n'apparaît pas significativement modifiée par la présence de l'ouvrage, quels que soient le Scénario et l'instant de la marée considérés.

Quel que soit le scénario considéré, les effets de l'ouvrage sur les courants restent locaux, au voisinage de la digue, et sont d'autant plus prononcés que le niveau d'eau est bas, autour de BM, lorsque les courants dans la baie portent vers le Cap Gris-Nez. En effet, plus le niveau d'eau est bas, plus l'épaisseur de la lame d'eau passant sur l'ouvrage est fine (de l'ordre de 2m en BM de VE), et son écoulement modifié par l'ouvrage. A l'inverse, plus le niveau d'eau est élevé, plus l'épaisseur de la lame d'eau est importante (de l'ordre de 9m en PM de VE) et moins l'écoulement est perturbé par la présence de l'ouvrage.

Sur les Figure 24 et Figure 25 pour le Scénario 3, et Figure 30 et Figure 31 pour le Scénario 4, le ralentissement du courant au passage des ouvrages est bien identifiable. Autour de BM les courants sont encore dirigés vers le Cap Gris-Nez (vidange de la baie) et le ralentissement est alors particulièrement visible en aval de chaque ouvrage. Un ralentissement en amont, à l'Est des ouvrages, est également visible. Dans le cas du Scénario 3 un contournement de l'ouvrage à ses extrémités (côté terre et Banc) est également identifié autour de BM, la vitesse du courant étant plus élevée aux extrémités (sup. à 0.5m/s) qu'au centre de l'ouvrage (inf. à 0.5m/s).

Enfin, à PM-4h par houle de SO, une diminution de la dérive littorale remontant vers Wissant (de 0.5m/s à 0.25m/s) est observée, notamment pour le Scénario 3.

Afin de préciser les effets de l'ouvrage sur les courants en baie de Wissant, les signaux de module et direction du courant sont extraits en deux points d'intérêt reportés sur la figure suivante :

- le site de mesure « ADCP 1 » de la campagne de mesures in situ de 2016, situé dans la dépression littorale entre le Banc à la Ligne et le littoral (cf. rapport [P2]),
- et un point situé au droit de Wissant, à la cote -2mZH.

Les signaux extraits sont illustrés sur la Figure 14. La direction des courants apparaît peu modifiée, et une réduction de la vitesse maximale (pics de flot et jusant) inférieure à 10% à l'ADCP1 et inférieure à 5% au droit de Wissant est observée. L'impact des ouvrages (ralentissement des courants) est surtout observable au site ADCP1 sur la phase de jusant.

Il est précisé que ces observations sont réalisées sur le 1^{er} cycle de marée ME/VE morphogène ; aucun changement majeur n'a été observé, toutefois, sur les autres cycles (mêmes ordres de grandeur pour les vitesses), en dépit de l'évolution morphologique de la baie.

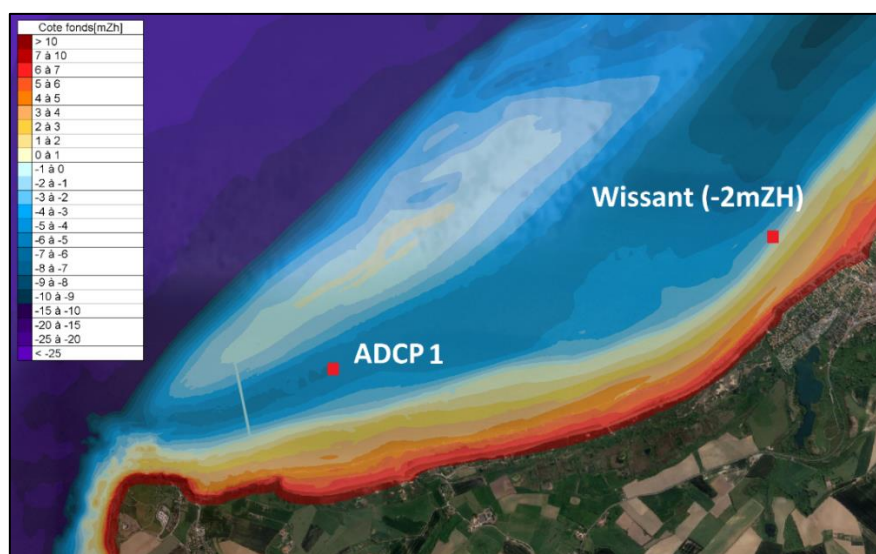


Figure 13 : Localisation des points de contrôle de vitesse (ADCP n°1 et zone Wissant à la cote -2mZH), illustrée ici sur le MNT du Scénario 3

Les roses de courant correspondantes sont présentées sur la Figure 15. Leur analyse indique /confirme :

- l'absence d'effet significatif des aménagements sur les régimes de courant au droit du perré de Wissant,
- la modification légère de l'écoulement en jusant au niveau du point de mesure ADCP 1, avec une légère réduction des vitesses pour le Scénario 3, et une légère déviation du courant vers l'O pour les deux scénarios,
- sur les deux sites, le régime de flot reste peu modifié, en dehors d'une léger ralentissement des courants.

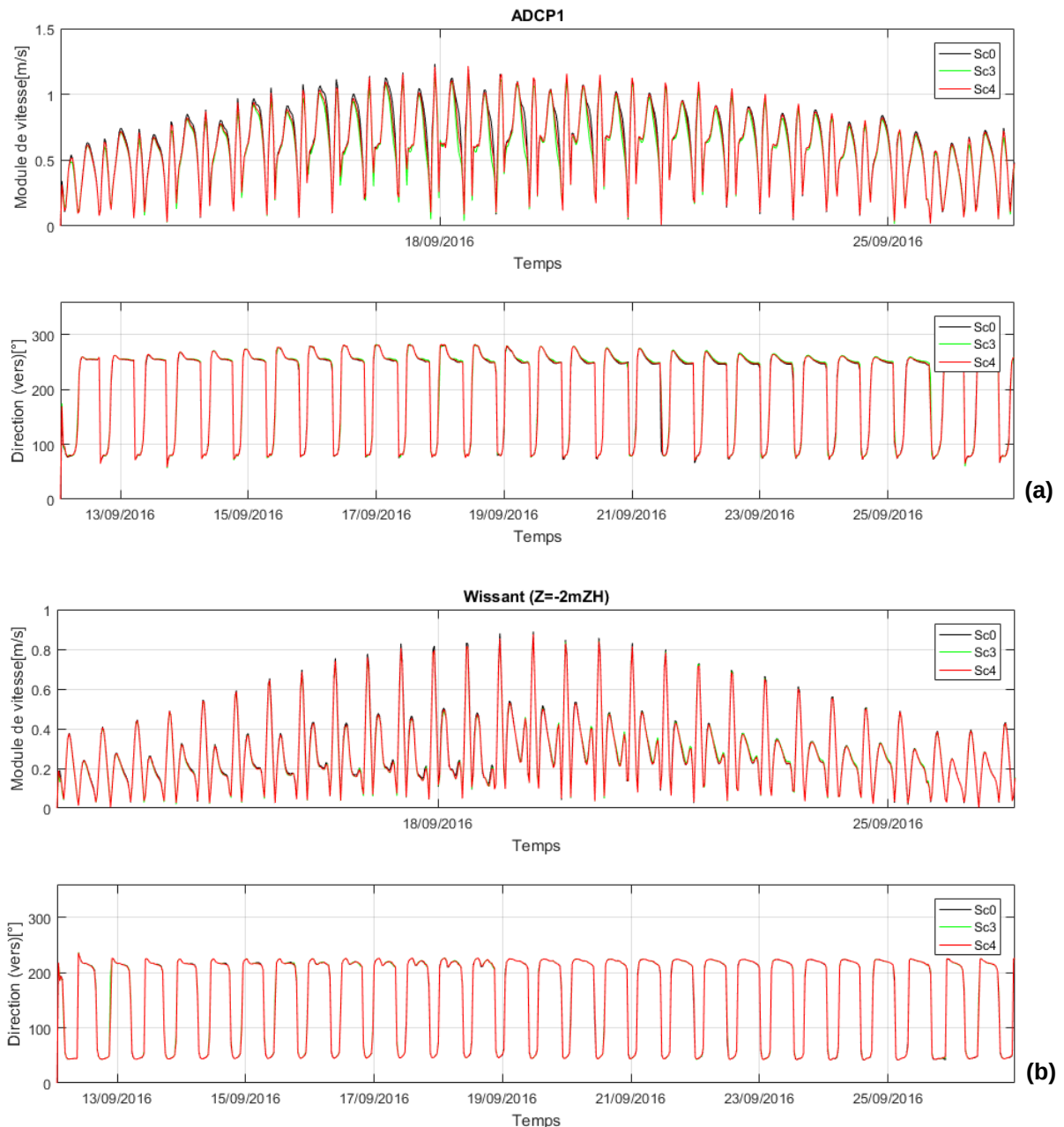


Figure 14 : Module et direction (vers) de la vitesse 2D du courant au niveau de la station de mesure ADCP n°1 (Géo-Transfert, 2016) et au droit de la ville de Wissant à la cote -2mZH (signaux obtenus sur le premier cycle de marée) pour les Scénarios 3 et 4 comparés au Scénario 0

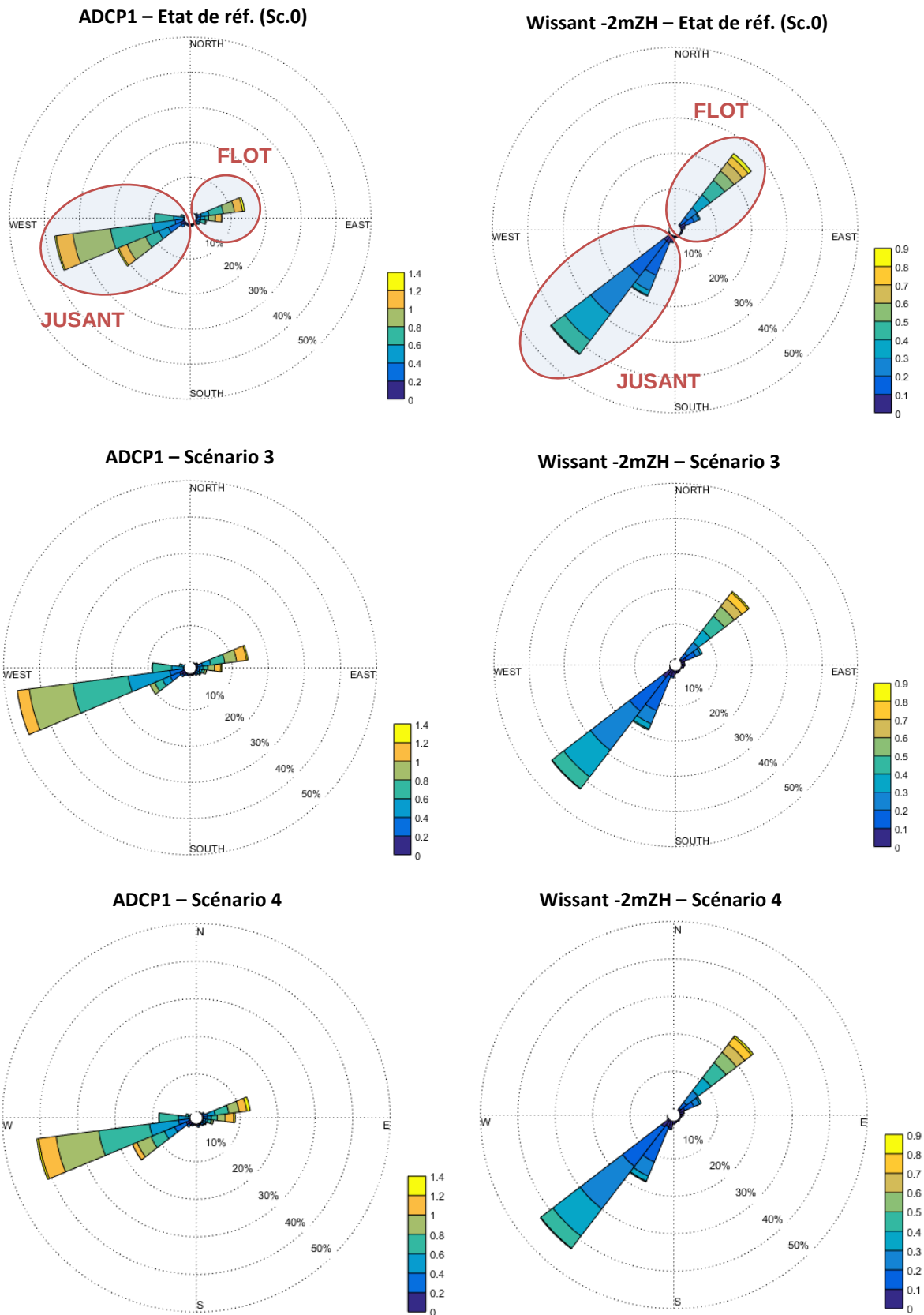


Figure 15 : Roses des courants (direction « vers » ; vitesse) aux points ADCP 1 (gauche) et Wissant -2mZH (droite) pour les Scénarios 0 (haut), 3 (milieu) et 4 (bas), obtenues sur le premier cycle de marée

4.1.2 Effet de l'aménagement sur l'agitation dans la Baie

Les hauteurs significatives et directions moyennes de houle associées au cycle de marée décrit au paragraphe précédent (coeff. ~ 90 ; conditions de houles morphogènes de NO et de SE) sont illustrées en Annexe au §5.1.2, de la Figure 32 à la Figure 35 pour le Scénario 3, et de la Figure 36 à la Figure 39 pour le Scénario 4.

Quel que soit le Scénario considéré, l'effet des aménagements sur l'agitation est plus marqué en conditions de houles de secteur SO, à travers principalement l'effet de l'ouvrage sur les courants. L'effet des interactions houle-courant est ainsi particulièrement visible par houle de SO en début de flot (courant encore opposé à la houle), au voisinage des digues. En effet, l'intensification du Hm0 en amont houle de l'ouvrage est moins marquée qu'à l'état de référence, en raison de la réduction de la vitesse du courant opposé à la houle de SO en présence de l'ouvrage.

Par houle de NE, l'effet des interactions houle-courant est moins notable en raison de l'incidence perpendiculaire de la houle par rapport aux courants de marée (sur la zone d'implantation de l'ouvrage). Néanmoins, la réduction des vitesses de courant autour de BM induit une légère augmentation du Hm0 et une légère déviation des houles dans la baie. Inversement, on observe au cours du flot une augmentation locale de l'agitation. Rappelons que, l'analyse de la houle de NE portant sur la seconde moitié du cycle de marée ME/VE morphogène, des évolutions bathymétriques plus avancées et divergentes entre les scénarios peuvent également contribuer aux écarts observés.

On retiendra concernant l'agitation, que les hauteurs significatives des vagues sont plus affectées à niveau d'eau bas, comme pour les courants : l'interaction houle-courant induit tantôt une diminution (par houle de SO, lorsque la propagation des vagues s'oppose au courant), tantôt une augmentation (par houle de NE, de par le ralentissement des courants transversaux) de l'agitation dans la baie.

4.2 Aspects sédimentaires

4.2.1 Transit littoral

4.2.1.1 Impact de l'aménagement sur le transit simulé sur la zone d'étude

Des cartes du transit sédimentaire potentiel moyen en Baie de Wissant (vue générale et zone de Wissant) sont proposées en Annexe au §5.2, Figure 40 à Figure 45, pour les deux scénarios de comblement, qui présentent :

- le transit potentiel moyen en conditions de houles de SO et NE : Figure 40 et Figure 41 pour le Scénario 3, Figure 43 et Figure 44 pour le Scénario 4 ;
- le transit potentiel moyen résultant, calculé par pondération avec le taux d'occurrence de chaque état de mer de secteurs SO et NE : Figure 42 et Figure 45 pour les Scénarios 3 et 4 respectivement.

Ces résultats sont présentés conjointement avec ceux du Scénario 0 à des fins de comparaison avec l'état de référence.

La diminution des transits moyennés par rapport à l'état de référence est identifiable au voisinage des ouvrages sous-marins, ainsi qu'au N du Banc à la Ligne. Le ralentissement des courants au niveau du Cap Gris-Nez peut être à l'origine de cette diminution au N du Banc.

Au niveau de Wissant, les écarts sont moins visibles, car très limités, tel que mis en évidence par le calcul présenté ci-après des transits intégrés sur plusieurs profils au niveau de la bande littorale.

4.2.1.2 Impact de l'aménagement sur le transit simulé au droit de Wissant

Comme pour les scénarios précédents, le transit sédimentaire moyen (sur un cycle ME/VE) – ramené à une valeur de transit annuel – simulé par le modèle morphosédimentaire a été calculé le long de trois profils transversaux représentés sur la figure suivante : Dune d'Aval, Perré, et Dune d'Amont. Ces calculs sont réalisés sur le premier cycle ME/VE de la simulation morphodynamique. Les résultats sont reportés dans le Tableau 1 ci-après, où les résultats des Scénarios 0 (état de référence), 1 (rechargement) et 2 (rechargement + épis) sont également reproduits pour comparaison.

Il est rappelé qu'il s'agit de valeurs de "transit potentiel", celui-ci étant en réalité nul en zones non érodables (représentées par des aplats mauves sur les figures de transits ; Figure 40 à Figure 45).

Pour rappel, par rapport à l'état de référence (Scénario 0), les Scénarios 1 et 2 montraient des valeurs de transits annuels réduits sur les secteurs Dune Aval (de 13 à 20%) et Perré (de 6 à 16%). Sur le secteur Dune d'Amont en revanche, un maintien du transit, voire une légère augmentation (pour le Scénario 2, de l'ordre de 2%), étaient constatés, aboutissant à une accentuation du gradient de transit entre le perré et Dune d'Amont, et donc également de la tendance érosive sur le secteur Dune d'Amont.

Dans le cas des Scénarios 3 et 4, on retrouve une tendance à la réduction du transit moyen sur les secteurs Dune d'Aval et Perré, et un maintien ou très faible réduction sur le secteur Dune d'Amont. Ces effets sont néanmoins beaucoup plus limités.

Dans le cas du Scénario 3, la réduction des transits est inférieure à 7% et 4%, respectivement, sur Dune Aval et Perré ; et un maintien sur Dune Amont est observé, avec une diminution inférieure à 1%.

Dans le cas du Scénario 4, la réduction des transits est encore plus faible, inférieure à 4% sur Dune Aval et Perré ; et un maintien sur Dune Amont est également observé, avec une diminution inférieure à 1%.

Quel que soit le Scénario considéré, les effets des aménagements sur le transit résultant, et par suite sur l'érosion des fonds, sont limités à l'échelle de la zone d'étude :

- Pour rappel, les Scénarios d'aménagement 1 et 2 permettaient de réduire les gradients de transit potentiel sur le segment Dune Aval – Centre du Perré de 9 et 18% resp. par rapport au Sc0, au détriment du segment Centre du Perré - Dune d'Amont, sur lequel ce gradient était accru de 12 et 35% resp. par rapport au Sc0.
- Les Scénarios 3 et 4 permettent quant à eux de réduire le gradient de transit sur le segment Dune Aval – Centre du Perré de l'ordre de 5 et 3% respectivement par rapport au Sc0, au détriment du segment Centre du Perré - Dune d'Amont, sur lequel ce gradient s'accroît de 5 et 4% resp. par rapport à l'état de référence.

La diminution du gradient de transit potentiel entre Dune d'Aval et le perré permet de limiter les départs de matériaux sur ce secteur sensible, situé sur une zone de divergence du transit résultant (induit par l'action conjuguée de la houle et de la marée).

A contrario, l'augmentation du gradient de transit potentiel entre le perré et Dune d'Amont induit logiquement un départ accru de matériaux en direction du NE, ce que confirment les résultats d'évolution des fonds présentés dans le paragraphe suivant.

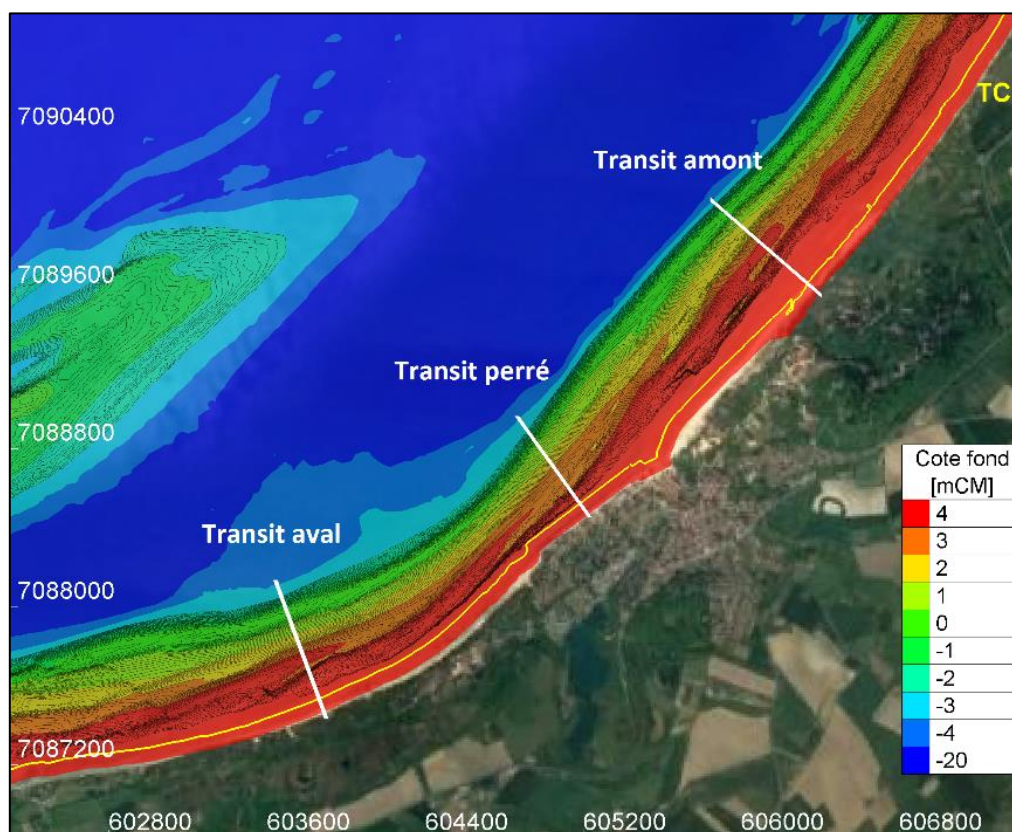


Figure 16 : Localisation des profils transversaux pour le calcul du transit annuel moyen sur la zone de Wissant (ici, le profil "Transit aval" signifie "Transit au niveau de la Dune Aval" etc.)

Tableau 1 : Transits moyens annuels (>0 vers le NE) calculés sur les trois profils de la figure précédente, pour tous les scénarios modélisés, par houles moyennes (1^{er} cycle)

Transit moyen potentiel en m ³ /an	Transit Dune Aval	Transit perré	Transit Dune Amont
Scénario 0 (Etat de référence)	-30 683 (+1 975 -32 658)	+36 756 (+36 933 -178)	+58 308
Scénario 1 (Rechargement)	-26 735 (+1 493 -28 228)	+34 524 (+34 630 -105)	+58 564
Scénario 2 (Rechargement + épis)	-24 409 (+1 710 -26 120)	+30 700 (+30 813 -112)	+59 696
Scénario 3 (Comblement de la passe)	-28 635 (+2 430 -31 066)	+35 291 (+35 771 -480)	+57 980
Scénario 4 (Comblement de la passe)	-29 747 (+2 051 -31 798)	+35 434 (+35 613 -179)	+57 786

4.2.2 Évolution des fonds à échéance 10 ans

Les résultats de la simulation des Scénarios 3 et 4 à une échéance de 10 ans sont illustrés en Annexe 1 (§5.3) par :

- des cartes de la bathymétrie finale – décembre 2026 (T0+10 ans) : **Figure 46 à Figure 48** (Scénario 3) et **Figure 56 à Figure 58** (Scénario 4) ;
- des comparatifs d'évolution des fonds par rapport à l'état de référence (Scénario 0) : **Figure 49 à Figure 52** (Scénario 3) et **Figure 59 à Figure 62** (Scénario 4) ;
- des cartes de différentiel de la bathymétrie finale simulée à 10 ans pour les deux scénarios par rapport au Scénario 0 : **Figure 53 et Figure 54** (Scénario 3) et **Figure 63 et Figure 64** (Scénario 4) ;
- des graphiques de l'évolution de plusieurs profils transversaux suivis par la DDTM62, pour les deux scénarios et le scénario de référence : **Figure 55** (Scénario 3) et **Figure 65** (Scénario 4).

Pour rappel, la DDTM62 réalise périodiquement (tous les six mois) un relevé des profils de plage sur le littoral autour de Wissant. La localisation des profils P440, P460, P480, P510 et P540, utilisée pour l'analyse des résultats du modèle morphologique sur les **Figure 55** (Scénario 3) et **Figure 65** (Scénario 4), est rappelée sur la Figure 17ci-dessous :

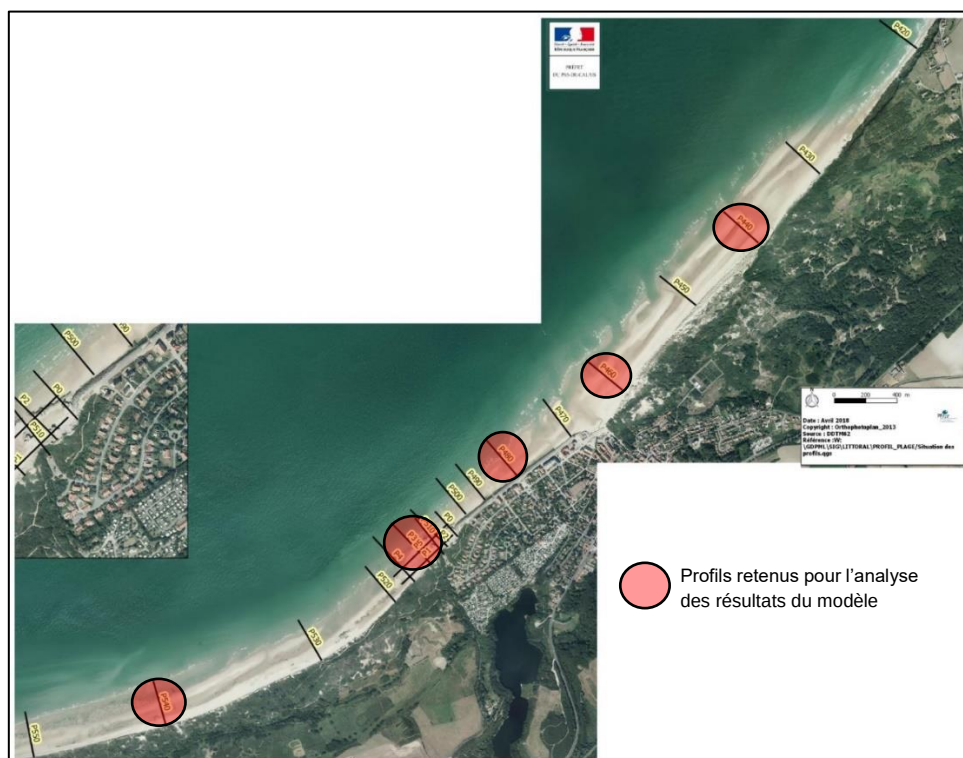


Figure 17 : Localisation des profils transversaux en baie de Wissant suivis par la DDTM62

L'analyse des résultats de modélisation à échéance 10 ans montre que les scénarios 3 et 4 étudiés ont un effet marqué sur une zone relativement restreinte au voisinage de l'implantation de la digue sous-marine :

- A proximité de l'ouvrage sous-marin implanté entre la côte et le Banc à la Ligne :
 - Les scénarios de comblement (le Scénario 3, notamment) conduisent à une accrétion de part et d'autre de la digue, plus importante à l'Ouest de l'ouvrage (dans une moindre

mesure à l'Est), de par la réduction de l'intensité des courants au passage de la digue sous-marine, favorisant les dépôts. Le dépôt le plus important apparaît dans le cas du scénario 3, à l'Ouest de l'ouvrage, entre le Cap Gris-Nez et la racine du Banc, et atteint à 10 ans une cote proche de 0mZH (soit quasi affleurant en BM par grands coefficients de marée).

- A l'inverse, une érosion est constatée autour de chaque extrémité de la digue lorsque les fonds le permettent (hors zone non érodable ; en particulier pour le Scénario 3), accentuée au cours du temps / de l'érosion, du fait du frottement sur le fond devenant plus réduit que sur la digue (hauteur d'eau plus faible au passage de la digue) ; cet affouillement est moins marqué dans le cas du Scénario 4 que dans le cas du Scénario 3, du fait de l'obstruction moins frontale induite par l'ouvrage dans le cas du Scénario 4.
- Concernant le Banc, celui-ci présente une physionomie légèrement différents à celle obtenue pour le Scénario 0 (pour rappel, le Scénario 0 induit globalement un rapprochement du Banc de la côte et une incurvation marquée vers le NO) ; l'impact du Scénario 3 est par ailleurs beaucoup plus marqué que pour le Scénario 4 :
 - Quel que soit le Scénario considéré, la base du Banc, qui était globalement orientée SO-NE, est réorientée selon un axe plutôt O-E, en lien avec les effets de bord au Nord de l'ouvrage sous-marin. Cette différence d'orientation se traduit dans les comparaisons avec le Scénario 0 par une forte accrétion sur le flanc externe de la base du Banc (cf. Figure 53 et Figure 63).
Dans le cas du Scénario 3, la racine du Banc est raccourcie et déplacée vers le N, formant une langue contournant la digue par le NO (en forme de « S ») ; le chenal de circulation entre le Banc et le Cap s'ensable progressivement, se limitant à un étroit corridor près du Cap.
Dans le cas du scénario 4, un effet similaire – mais plus atténué – est observé autour de la digue : l'ensablement à l'O de l'ouvrage est plus homogène sur toute sa longueur, et aucun chenal particulier ne se dessine.
 - Le déplacement du Banc vers la côte, identifiable par la position du flanc interne du Banc, semble légèrement ralenti dans le cas du Scénario 3 par rapport au Scénario 0 (déplacement relatif du massif sableux inférieur d'environ 60m constaté pour le Scénario 3 ; cf. Figure 18), et équivalent ou légèrement accéléré dans le cas du Scénario 4.
 - Le Banc à l'issue de la simulation est légèrement plus incurvé et orienté au Nord pour sa partie supérieure ; cet effet est plus marqué pour le Scénario 3 que pour le Scénario 4 (déplacement vers le N de la partie supérieure du Banc de 100m pour le Sc.4, et 200m pour le Sc.3).
 - Enfin, le Scénario 3 induit une dislocation progressive du Banc en deux parties distinctes, plus marquée que pour les Scénarios 0 et 4 ;
- Au niveau de Wissant, aucune modification significative n'est constatée par rapport au Scénario 0 ; les ouvrages sous-marins modélisés ont vraisemblablement un impact négligeable sur la dynamique hydro-sédimentaire de la baie à distance de leur zone d'implantation :
 - Les cartes d'évolution et de différentiel bathymétriques (Figure 52 et Figure 54, Scénario 3 ; Figure 62 et Figure 64, Scénario 4), de même que les comparaisons de profils bathymétriques ne montrent pas de différences à cet égard – aux artefacts numériques près (particulièrement en haut estran). Il est intéressant de remarquer que

- les évolutions morphologiques constatées à la racine du Banc à la Ligne, pourtant significatives, n'ont pas d'impact particulier sur l'évolution de la plage de Wissant.
- Les profils extraits sur les profils transversaux suivis par la DDTM62 confirment les observations précédentes, à savoir que l'écart entre les scénarios 3 ou 4 et le scénario de référence sont négligeables en termes d'évolution des fonds (en dehors d'une bande littorale de transition haut estran/dune d'une centaine de mètres où des artefacts numériques induisent des écarts non interprétables ; cf. Figure 55 et Figure 65) ;
 - Enfin, les cubatures calculées pour les Scénarios 3 et 4 sur les évolutions de l'altimétrie de l'estran sont présentées sur la Figure 19 ci-après, en lien avec celles du Scénario 0. On rappelle que ces cubatures sont calculées sur 6 zones d'analyse de l'évolution bathymétrique utilisées pour le calage du modèle morphodynamique (cf. rapport [P3]), et correspondant environ à l'emprise du rechargement prévu au démarrage de la mission de MOE. L'écart obtenu sur l'ensemble des 6 zones pour les Scénarios 3 et 4 par rapport au Scénario 0 est respectivement de $-1\,143\text{m}^3$ et $-4\,832\text{m}^3$ sur 10 ans d'évolution, pour un volume total érodé d'environ $489\,000\text{m}^3$, soit un écart relatif de -0.2 et -1% respectivement de volume de sable non érodé. L'effet des scénarios 3 et 4 bien que plutôt favorable (en faveur d'un maintien des sédiments en place), s'avère être négligeable. Les zones où l'érosion est ralentie par rapport au Scénario 0 sont les zones 1 (Dune Aval haut estran), 2 (Perré haut estran) et 6 (Dune amont, bas estran) ; les autres zones sont le siège d'une érosion légèrement accélérée en présence de la digue sous-marine (Sc.3 ou Sc.4).

Finalement on peut retenir que les évolutions du fond simulées pour les Scénarios 3 et 4, bien que significativement différentes de celles du Scénario 0 au niveau de la racine du Banc sur l'horizon temporel considéré, n'entraînent pas de modification significative de l'hydrodynamisme et de la tendance érosive au niveau de la plage de Wissant.

4.2.3 Incertitudes associées aux résultats d'évolution des fonds

Il convient de rappeler qu'une incertitude indicative de l'ordre de $+30\%$ à $+35\%$ (borne haute) est à envisager sur le volume d'érosion simulé avec le modèle morphodynamique au niveau de la zone envisagée initialement pour le rechargement (6 zones délimitées ; cf. rapport [P3]).

Par ailleurs, l'effet des ouvrages de maintien en haut estran est peu/mal représenté par le modèle du fait d'une part de sa capacité limitée à reproduire la dynamique de haut de plage (jet de rive), d'autre part, de la non prise en compte des transferts éoliens entre l'estran et les massifs dunaires, favorisés par la présence d'une plage sèche minimale en haut estran.

Les résultats des Scénarios 3 et 4 sont de ce fait à considérer avec précaution, compte tenu de ces sources d'incertitudes. Néanmoins, les effets décrits de ces scénarios sur leur impact (effet local marqué et potentiellement négatif pour le Banc, et effet positif mais négligeable sur la tendance érosive de l'estran au niveau de Wissant), peuvent être retenus du fait de la comparaison réalisée avec les résultats du Scénario 0, soumis aux mêmes incertitudes.

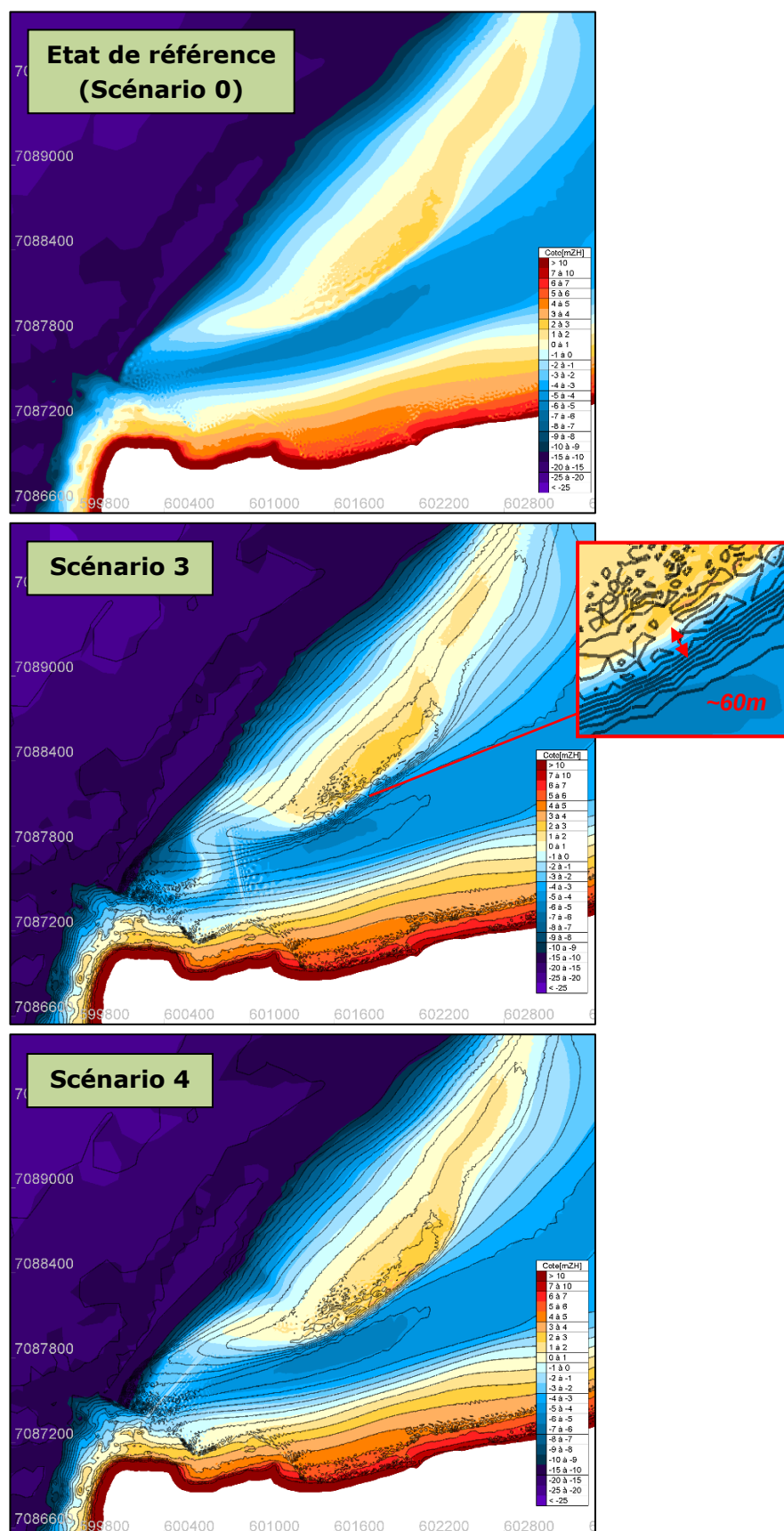


Figure 18 : Etat bathymétrique final (T0+10ans) des scénarios 0, 3 et 4, avec lignes de niveaux de la bathymétrie finale sans aménagement (Sc. 0)

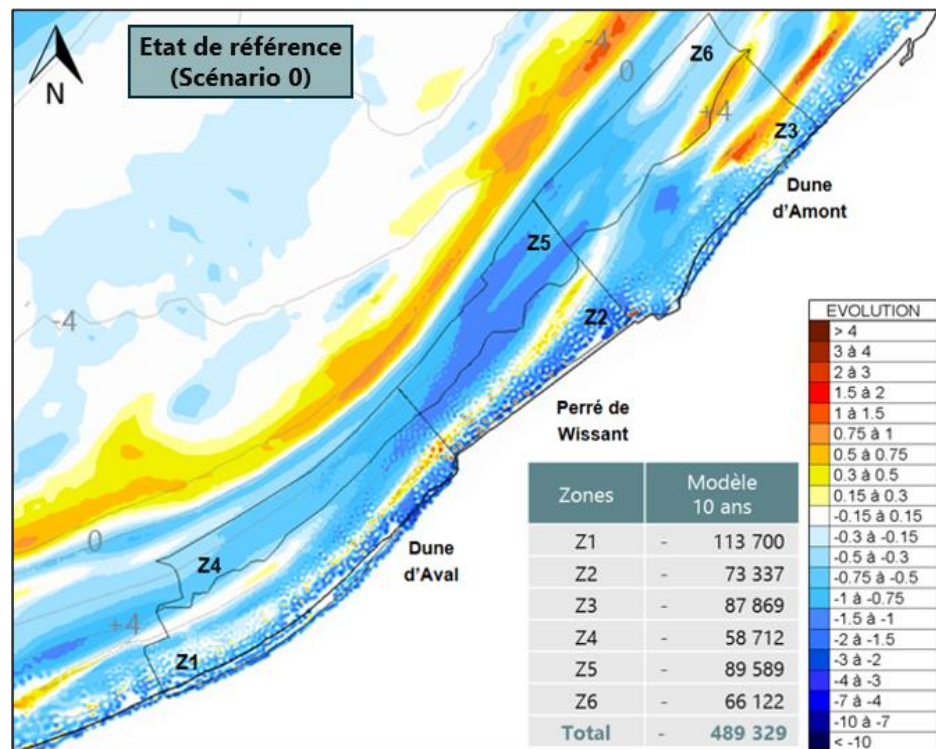
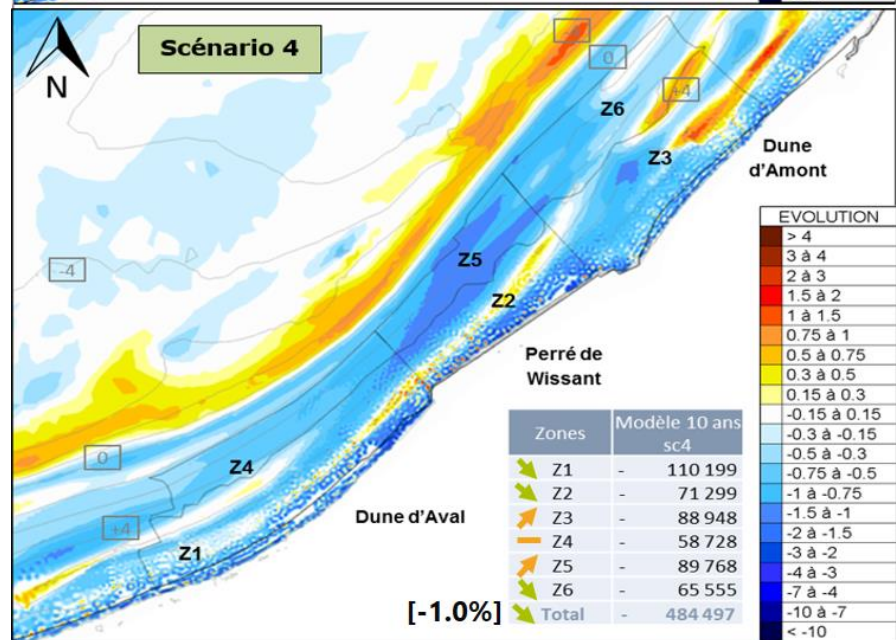
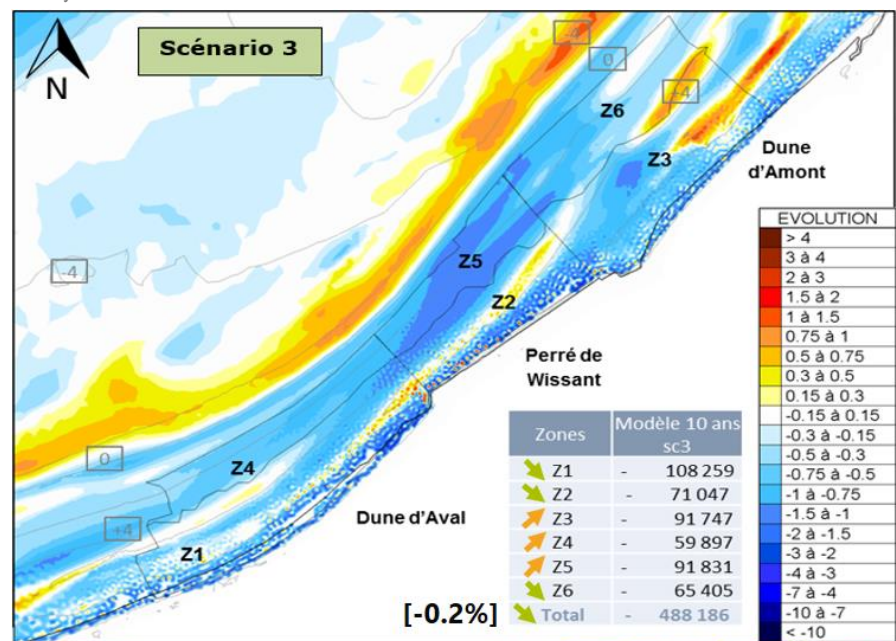


Figure 19: Evolution des fonds au niveau de la zone de Wissant pour le Scénario 0 de référence (au-dessus), Scénario 3 (en haut à droite) et Scénario 4 (en bas à droite) à l'issue de la simulation d'évolution morphologique sur 10 ans (de 12-2016 à 12-2026) et cubatures [m3] associées (tableau ; les tendances d'évolution vers un ralentissement de l'érosion sont représentées par une flèche verte, et orange en cas d'accélération de l'érosion)



5. Annexe 1 : Résultats du modèle morphodynamique moyen terme TELEMAC

5.1 Courantologie

5.1.1 Courants dans la baie

5.1.1.1 Scénario 3

Les figures suivantes présentent successivement :

- La courantologie 2D en Baie de Wissant toutes les 2h de PM-6h à PM+4h, en conditions de VE avec houles de SO puis NE, illustré pour les Scénarios 0 et 3, sur les Figure 20 à Figure 23 ;
- Un zoom de la courantologie 2D au voisinage de l'ouvrage sous-marin modélisé, à PM-6h, PM-4h et PM+4h, en conditions de VE avec houles de SO puis NE, illustrée pour les Scénarios 0 et 3, sur les Figure 24 et Figure 25.

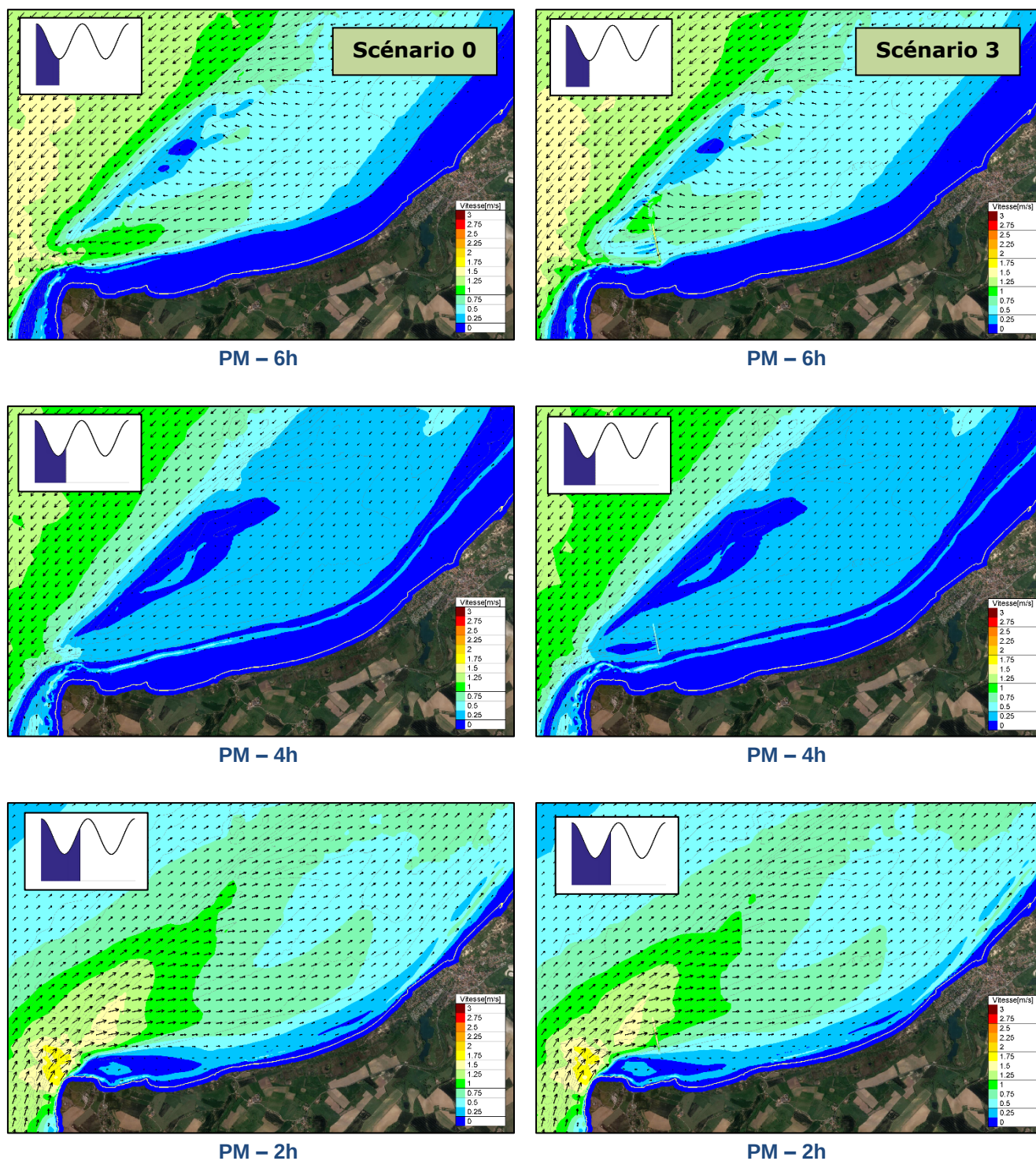


Figure 20 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

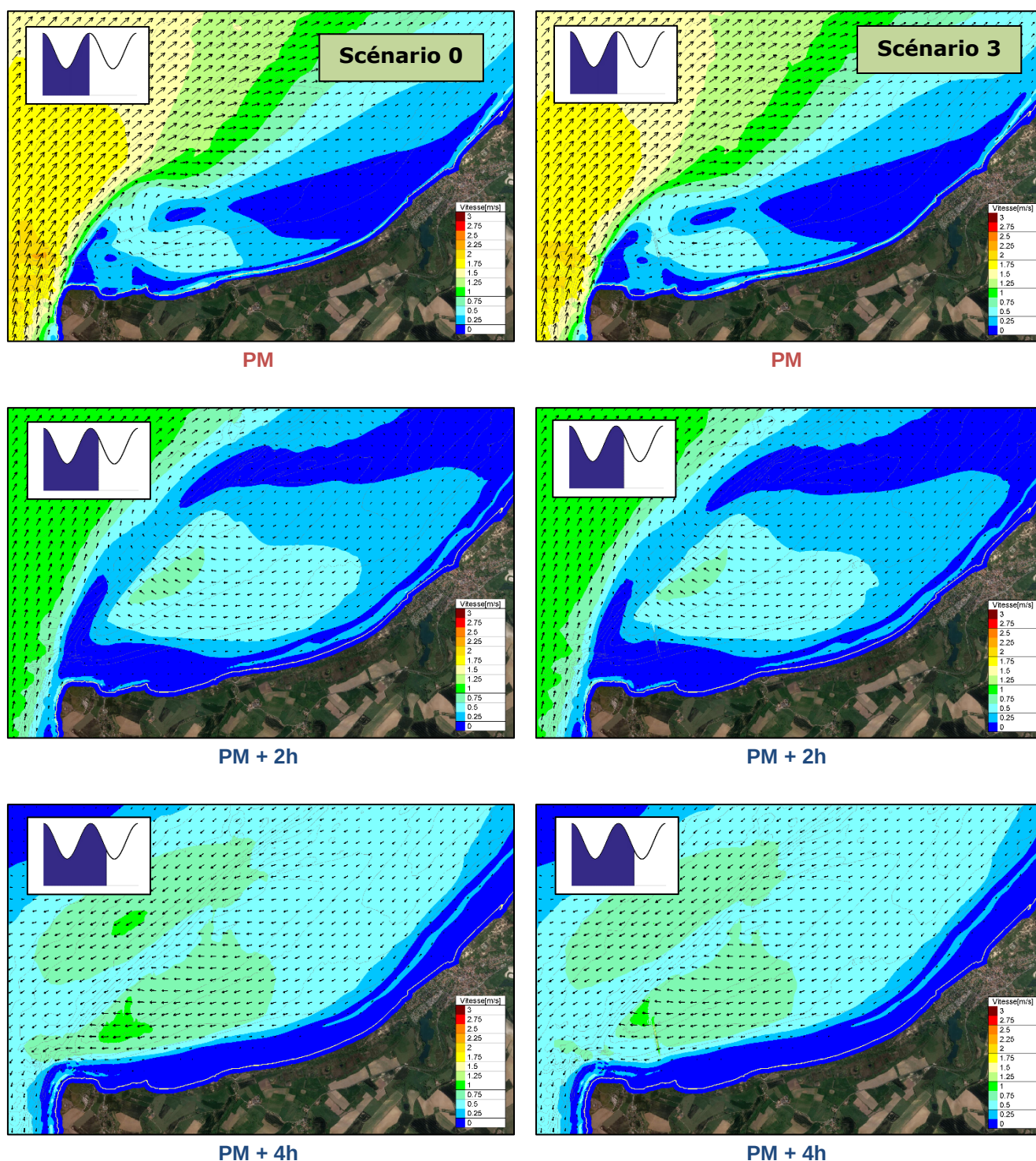


Figure 21 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

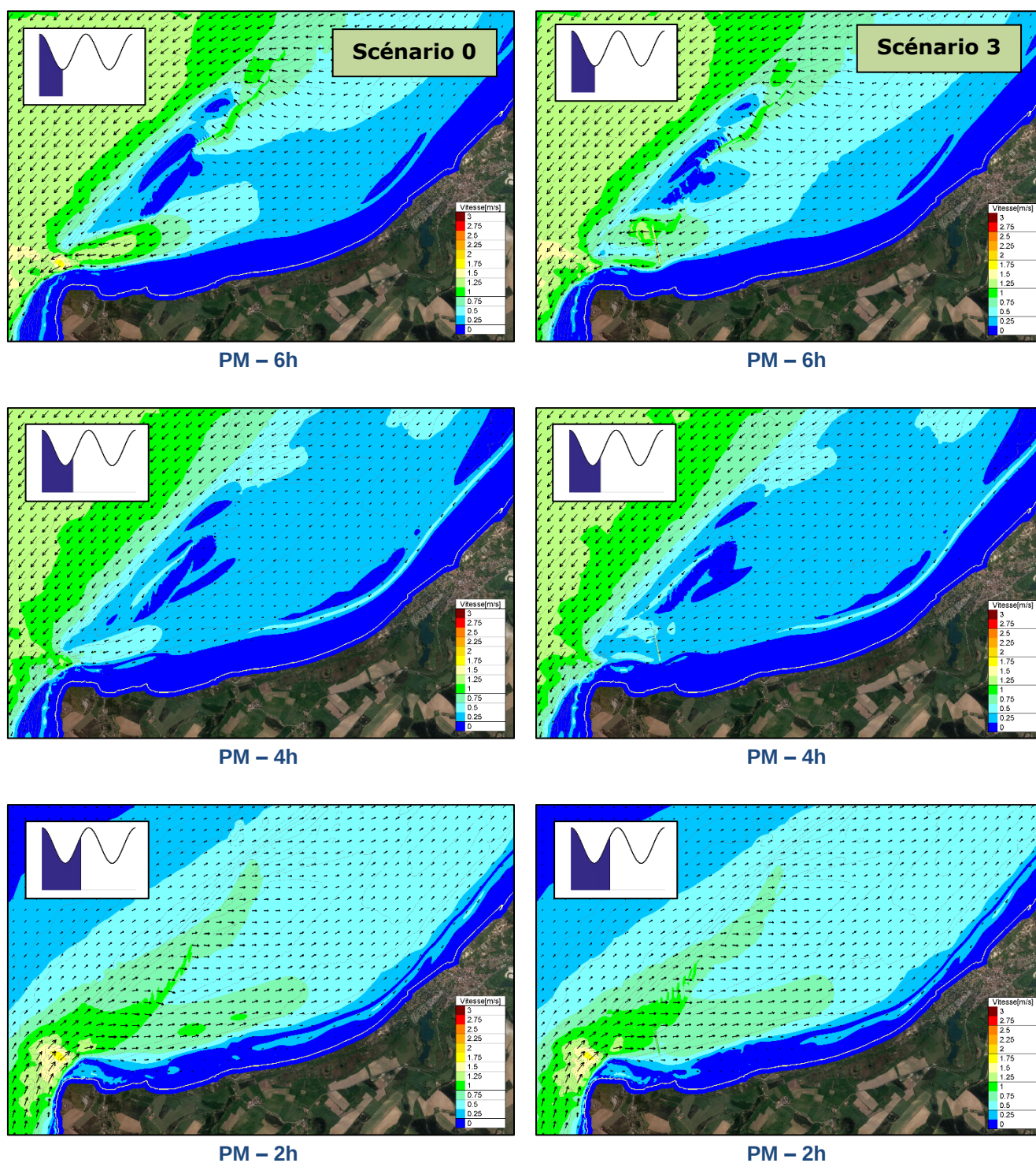


Figure 22 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

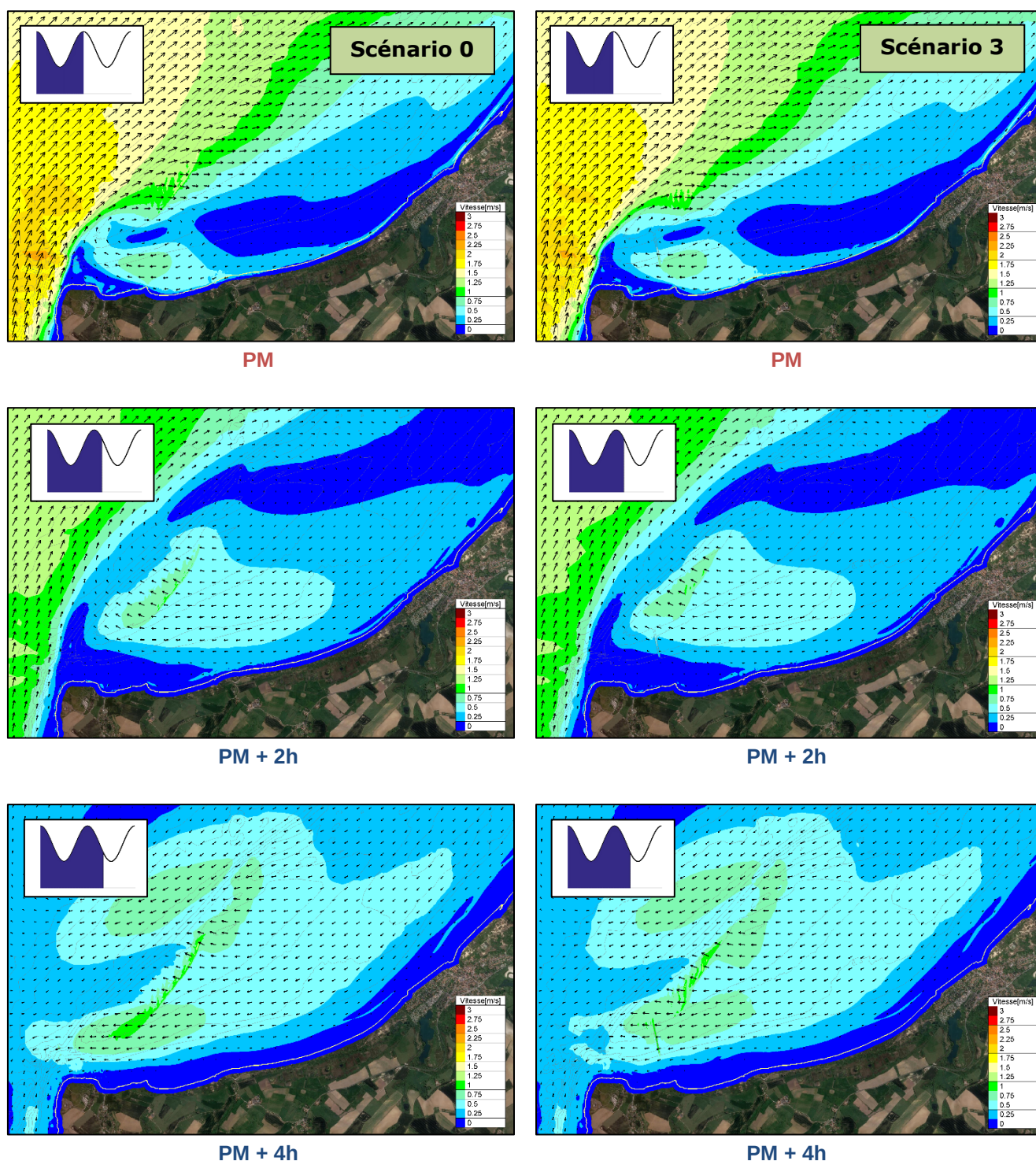


Figure 23 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

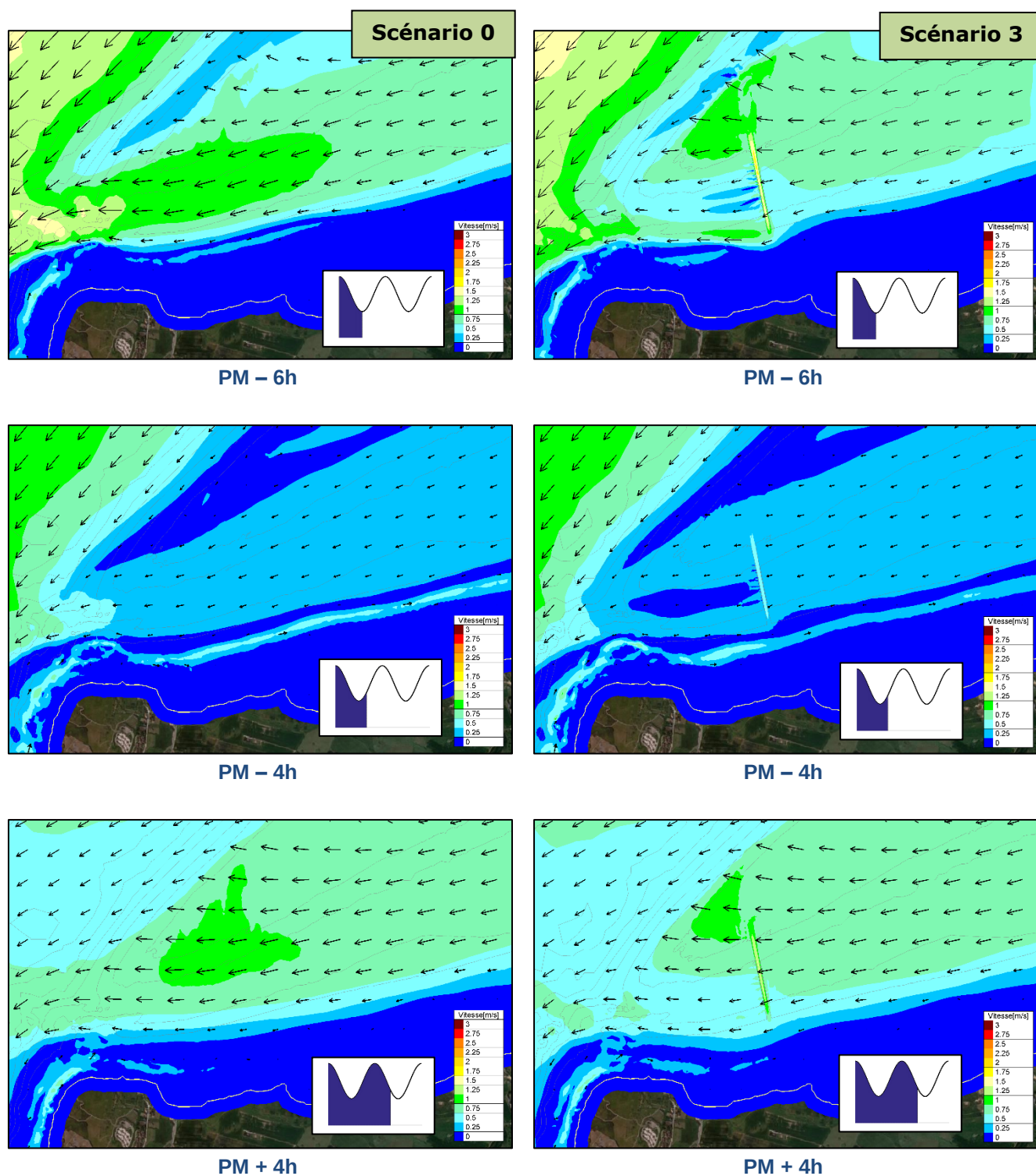


Figure 24 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

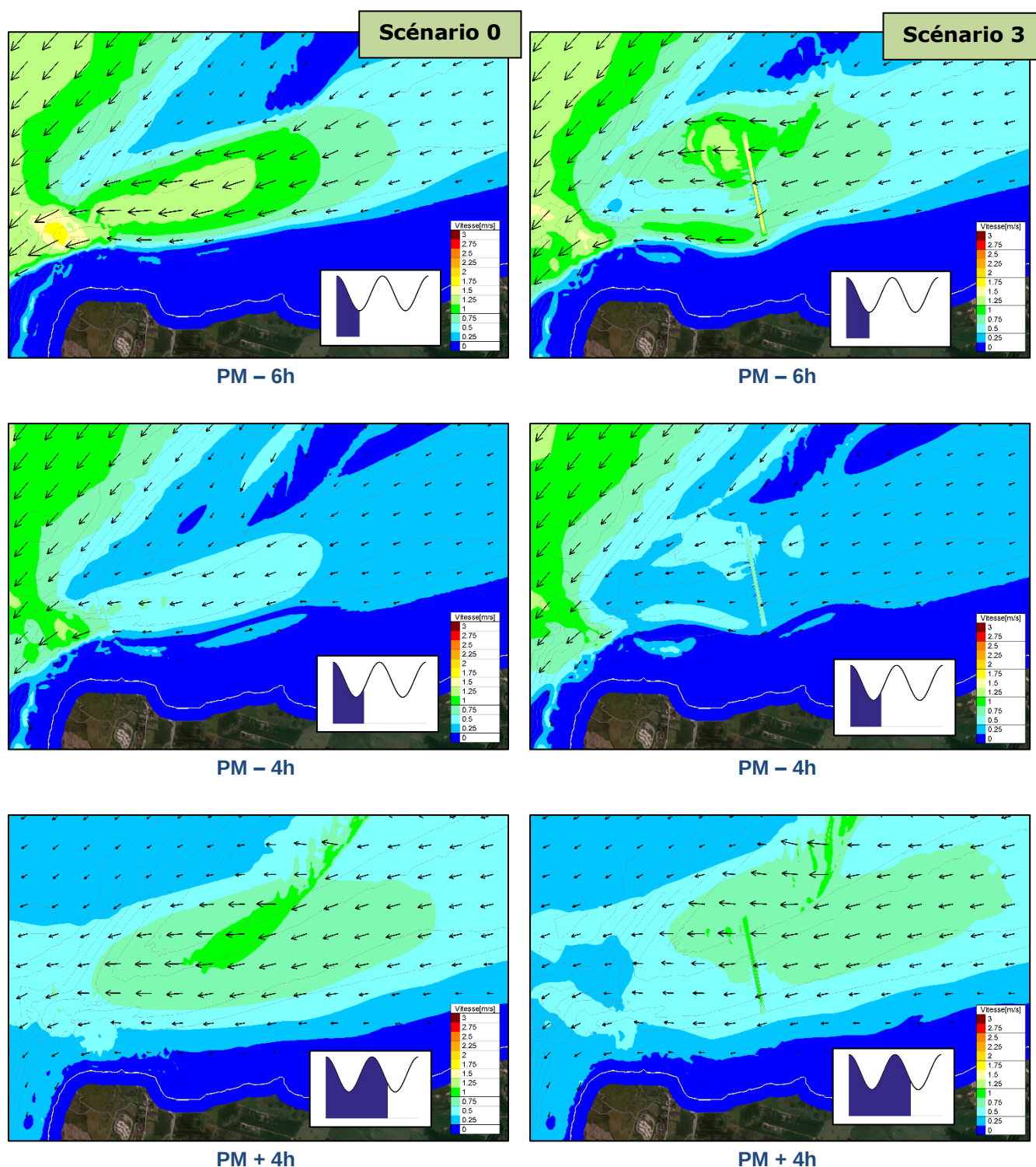


Figure 25 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

5.1.1.2 Scénario 4

Les figures suivantes présentent successivement :

- La courantologie 2D en Baie de Wissant toutes les 2h de PM-6h à PM+4h, en conditions de VE avec houles de SO puis NE, illustré pour les Scénarios 0 et 4, sur les Figure 26 à Figure 29 ;
- Un zoom de la courantologie 2D au voisinage de l'ouvrage sous-marin modélisé, à PM-6h, PM-4h et PM+4h, en conditions de VE avec houles de SO puis NE, illustrée pour les Scénarios 0 et 4, sur les Figure 30 et Figure 31.

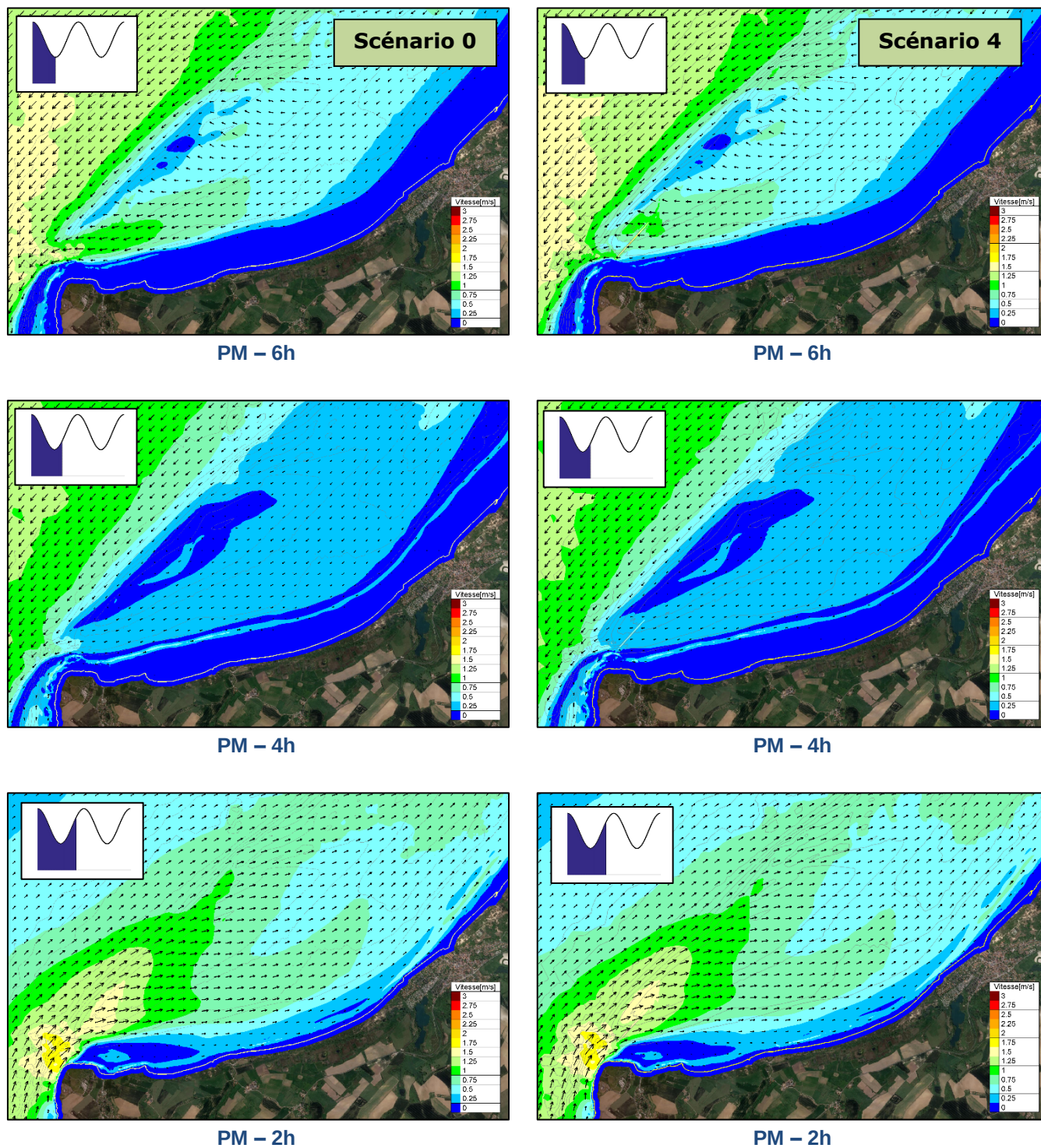


Figure 26 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

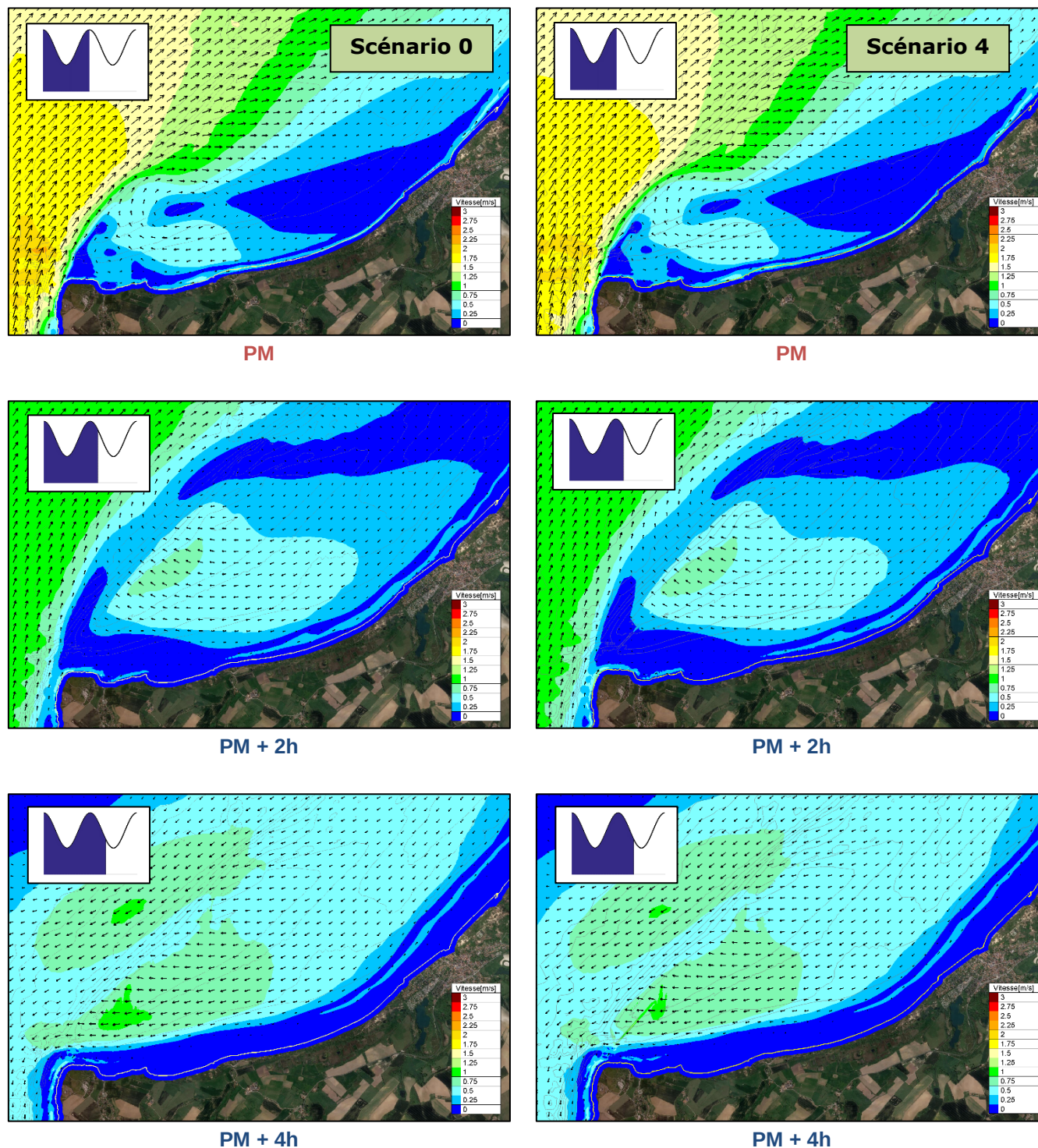


Figure 27 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

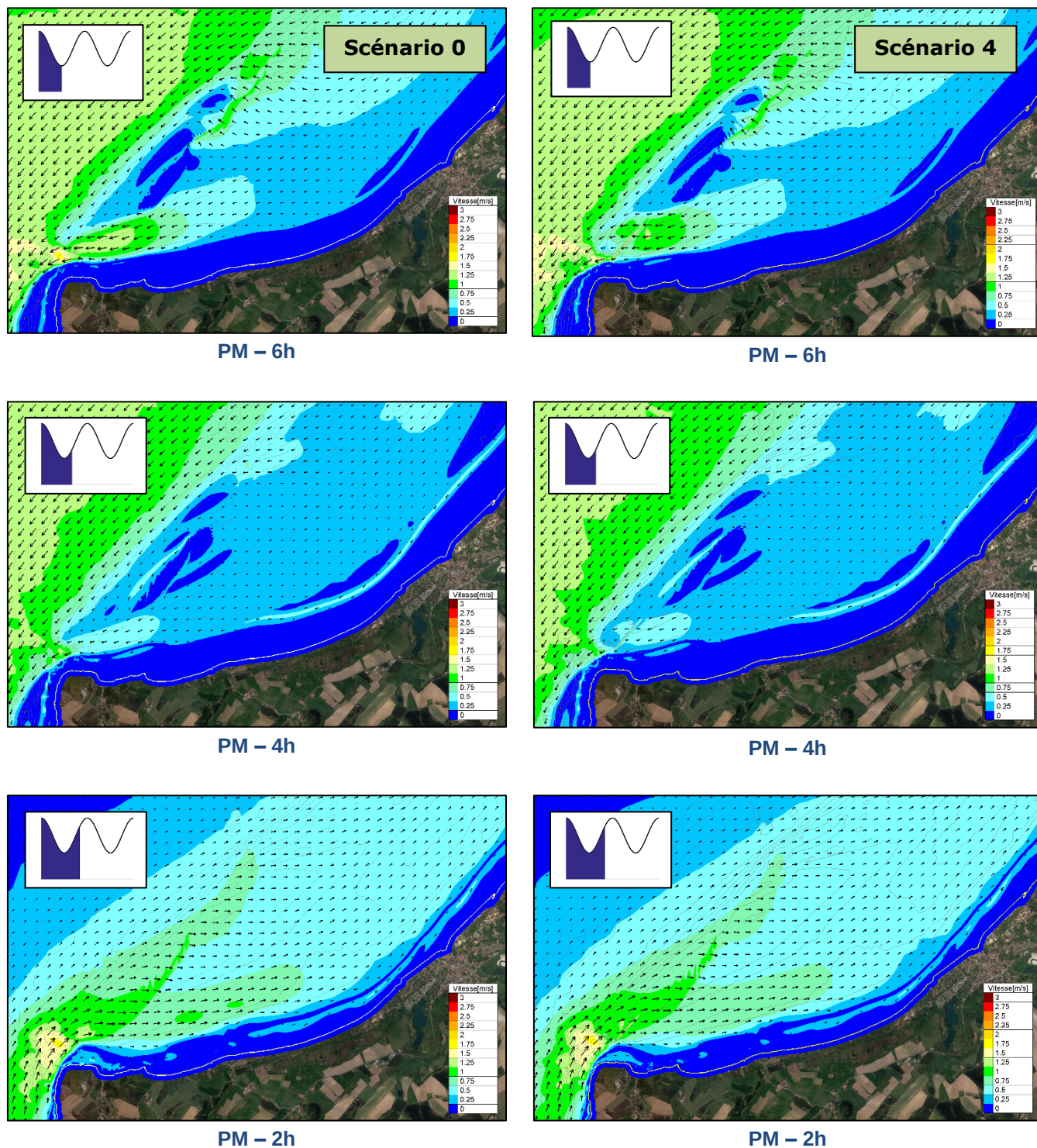


Figure 28 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

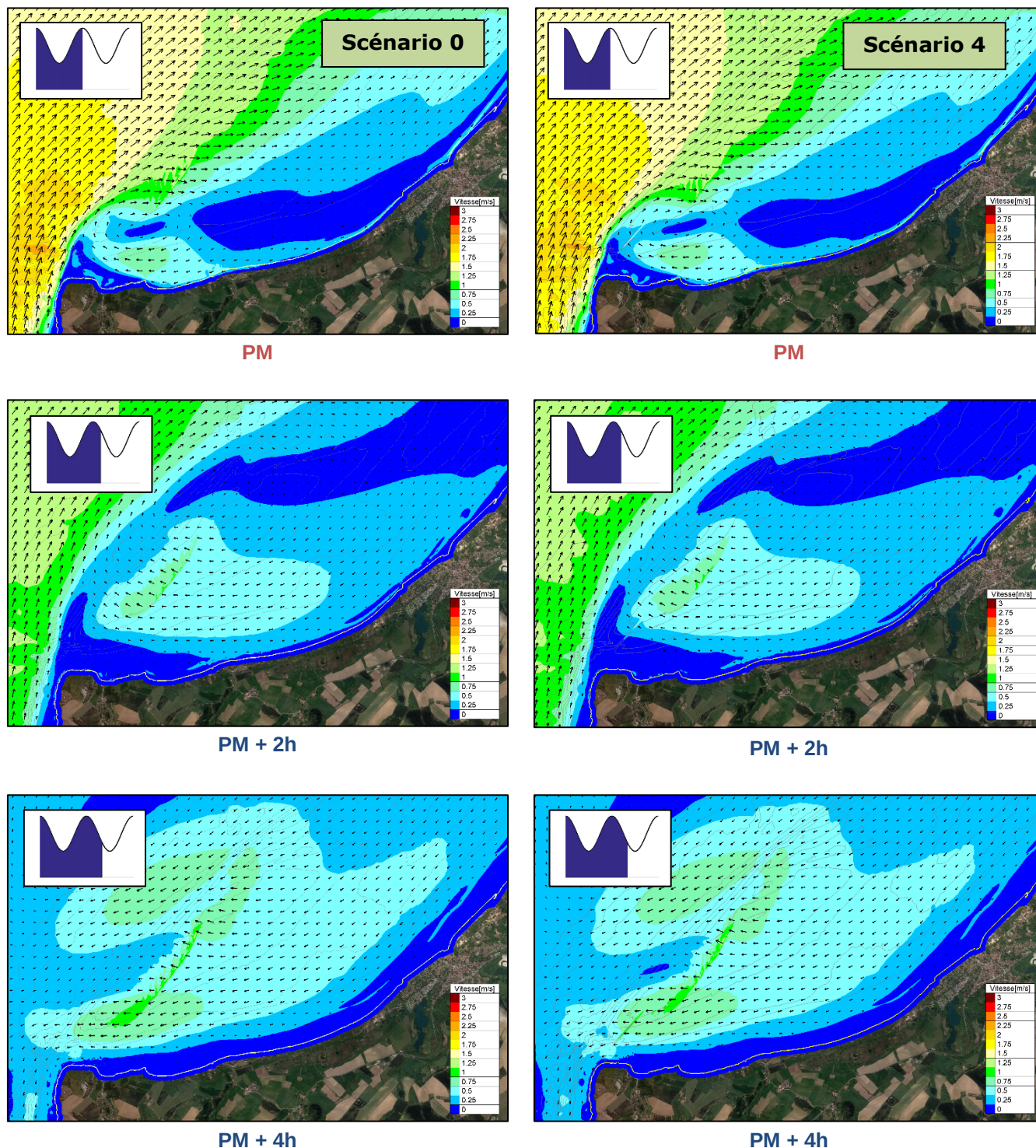


Figure 29 : Courantologie en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

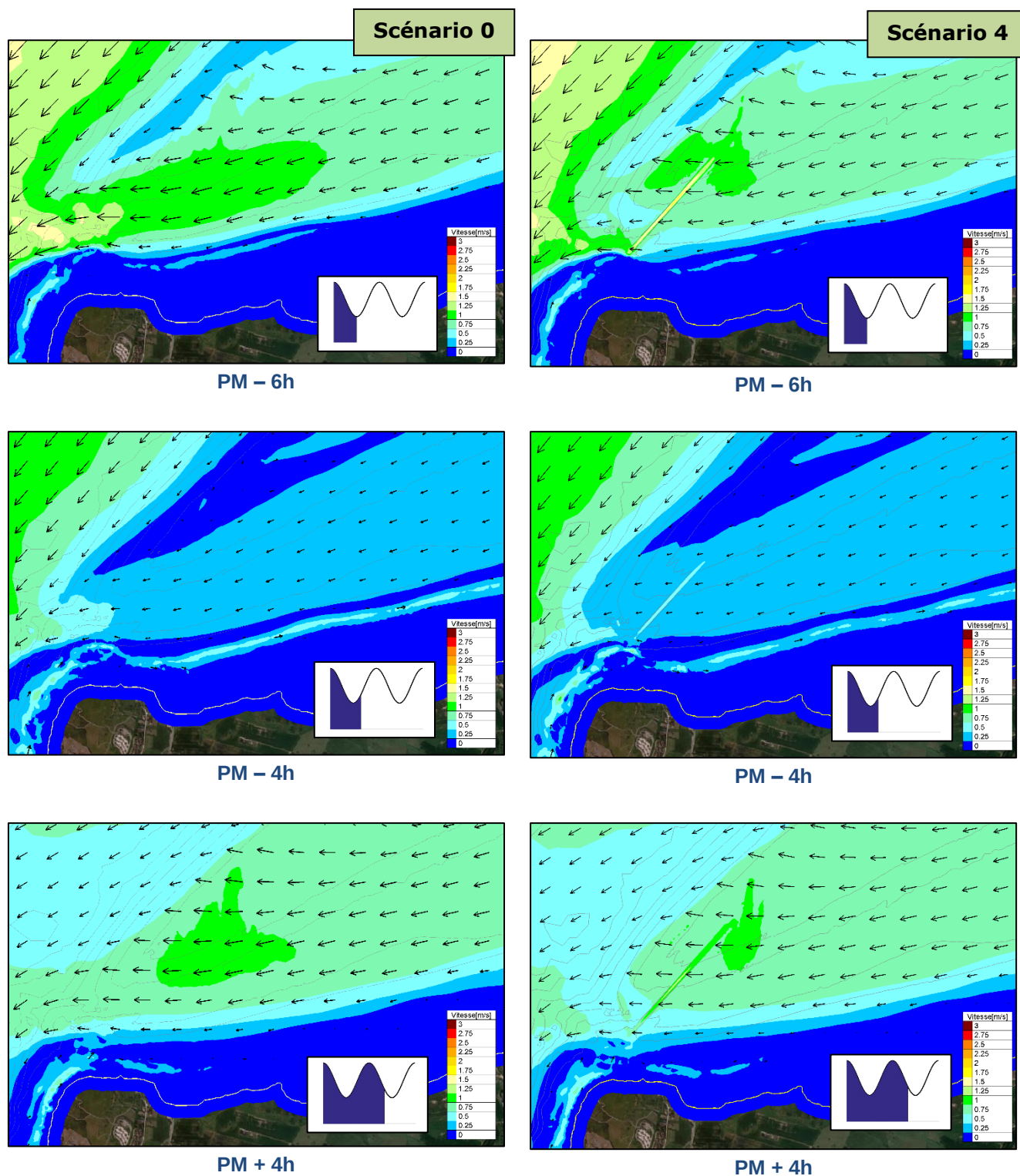


Figure 30 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

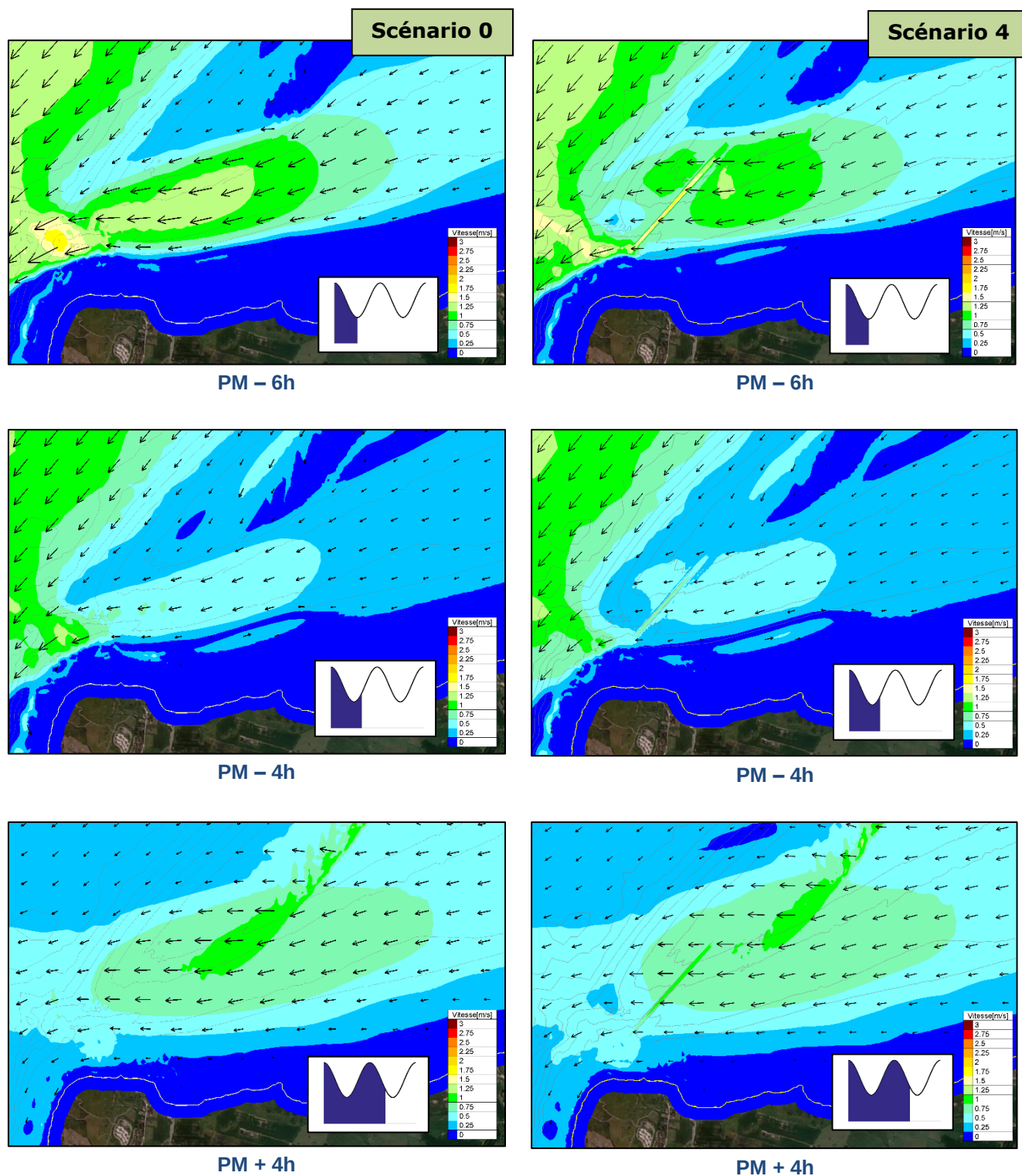


Figure 31 : Courantologie au voisinage de l'ouvrage de comblement sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) à PM-6h, PM-4h et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

5.1.2 Agitation dans la baie

5.1.2.1 Scénario 3

Les figures suivantes présentent l'agitation en Baie de Wissant, toutes les 2h de PM-6h à PM+4h, en conditions de VE, successivement :

- avec houles de SO, illustrée pour les Scénarios 0 et 3, sur les Figure 32 et Figure 33 ;
- avec houles de NE, illustrée pour les Scénarios 0 et 3, sur les Figure 34 et Figure 35.

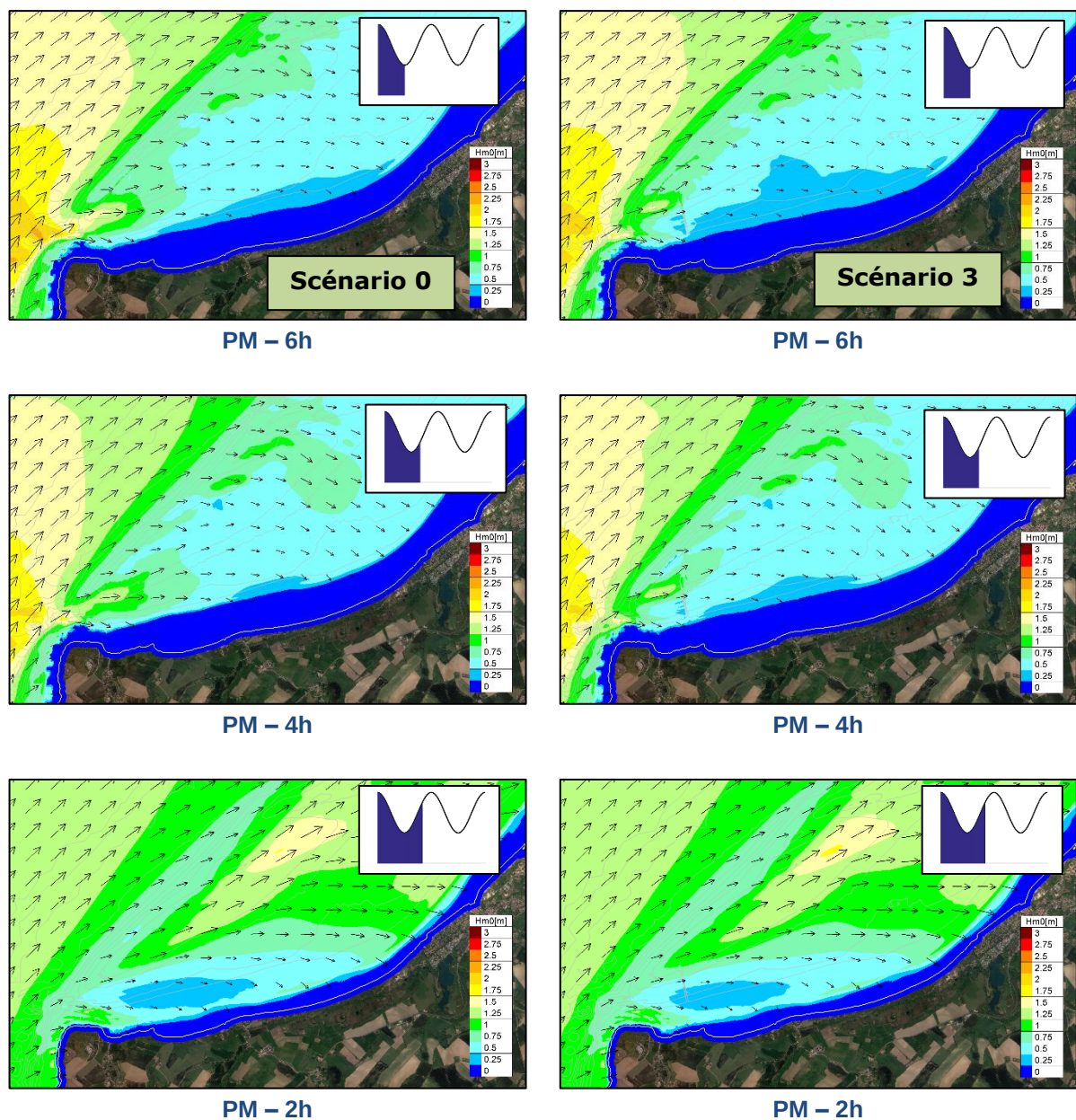


Figure 32 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

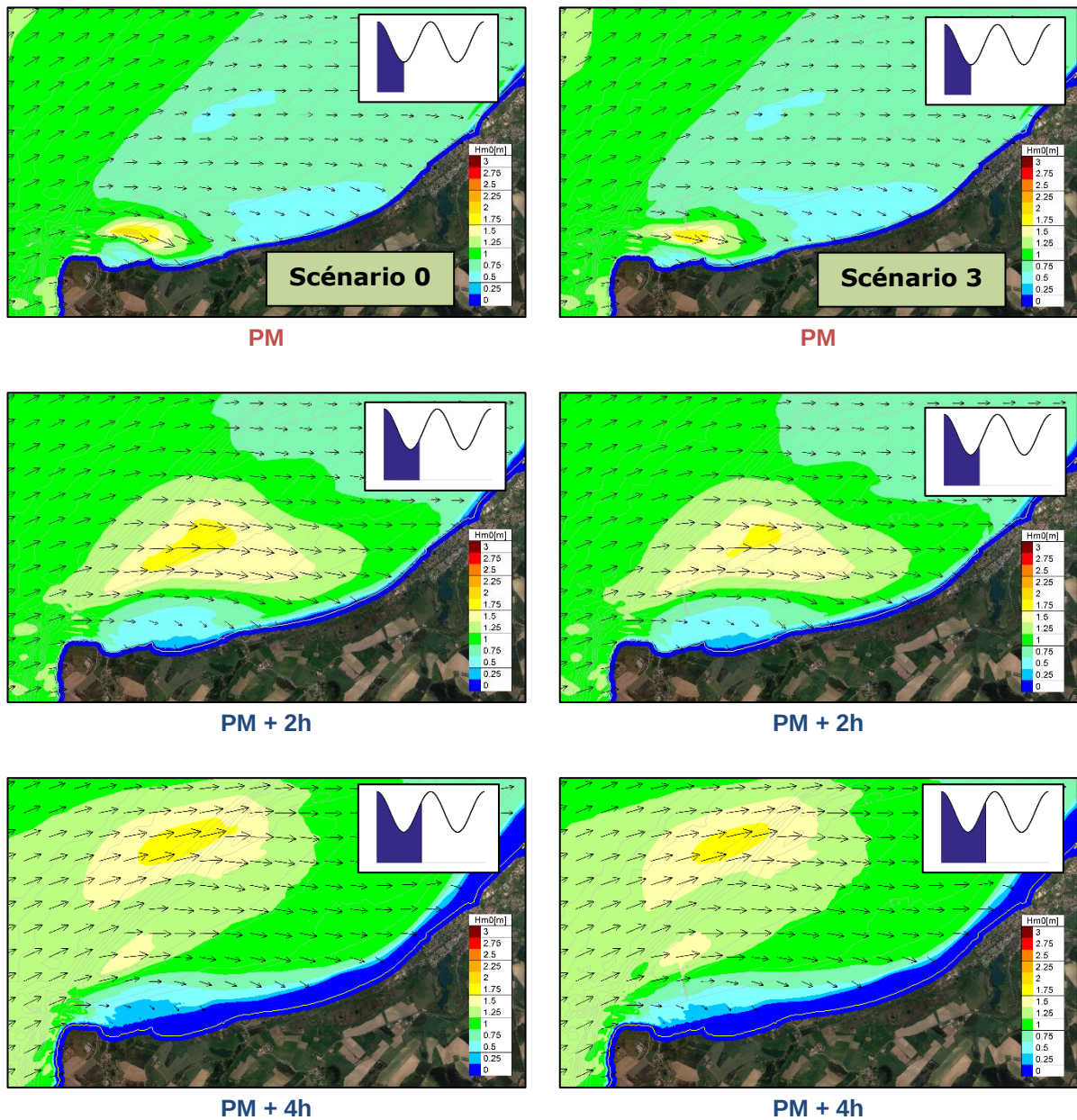


Figure 33 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

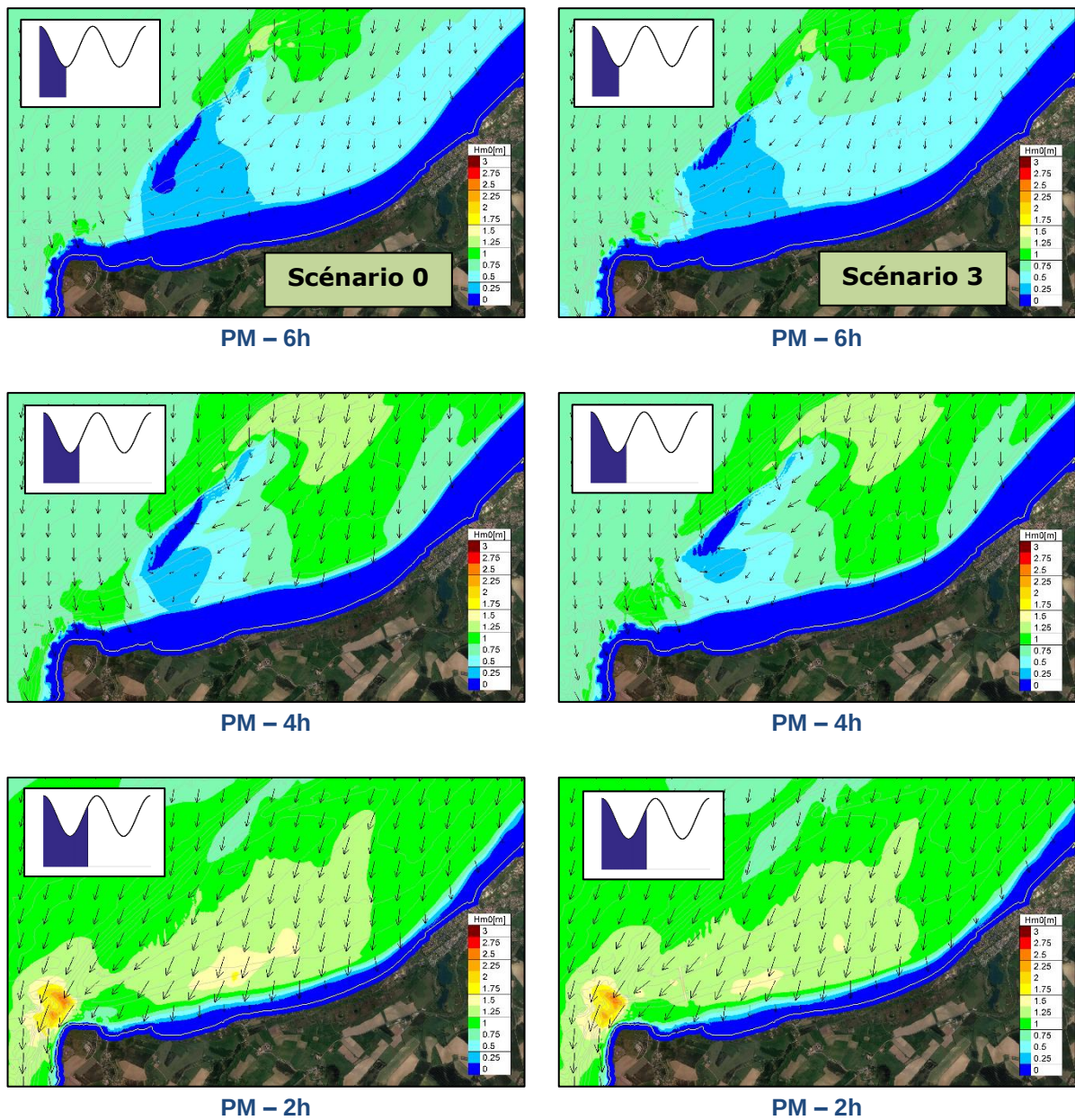


Figure 34 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

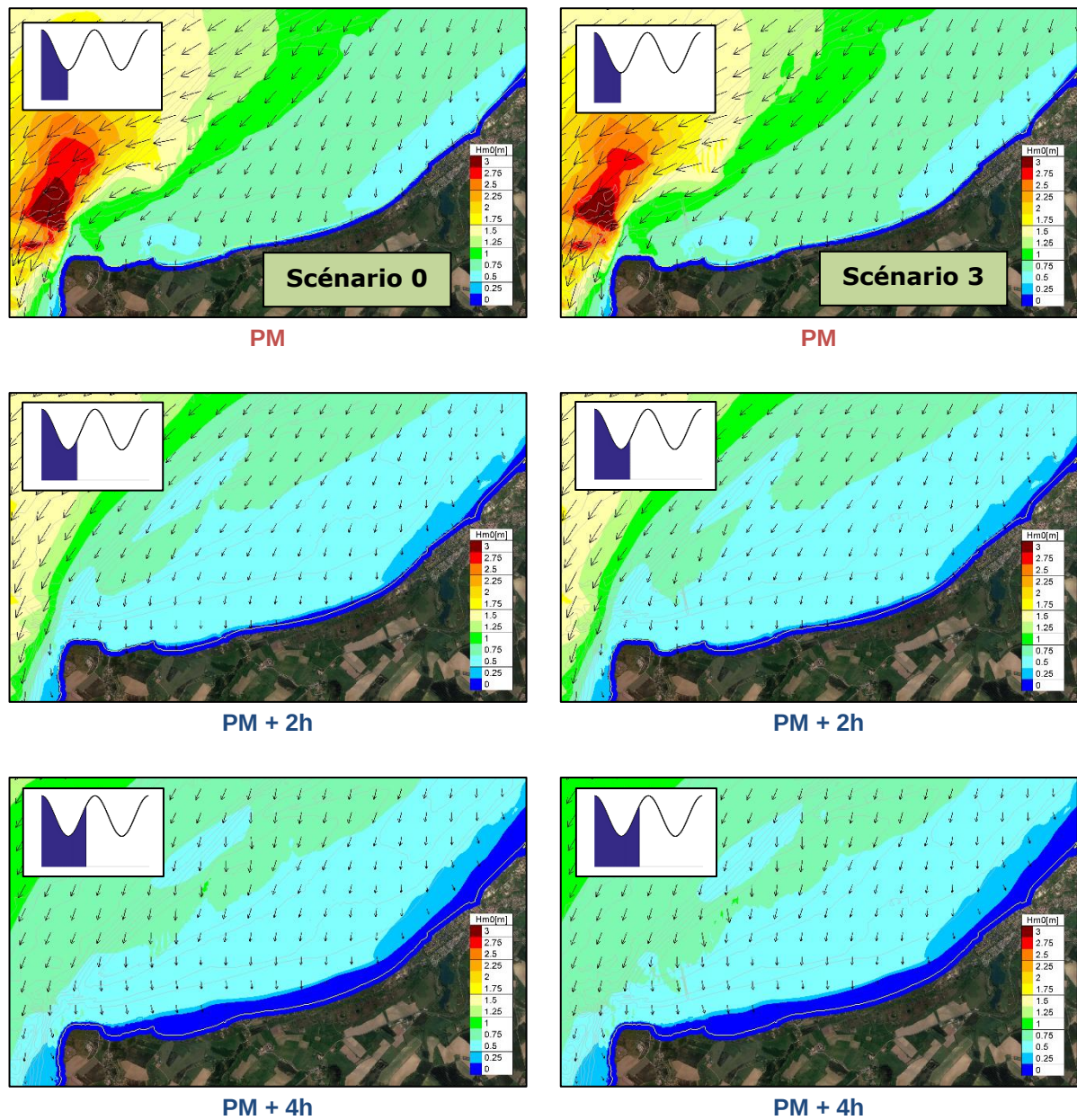


Figure 35 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 3 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

5.1.2.2 Scénario 4

Les figures suivantes présentent l'agitation en Baie de Wissant, toutes les 2h de PM-6h à PM+4h, en conditions de VE, successivement :

- avec houles de SO, illustrée pour les Scénarios 0 et 4, sur les Figure 36 et Figure 37 ;
- avec houles de NE, illustrée pour les Scénarios 0 et 4, sur les Figure 38 et Figure 39.

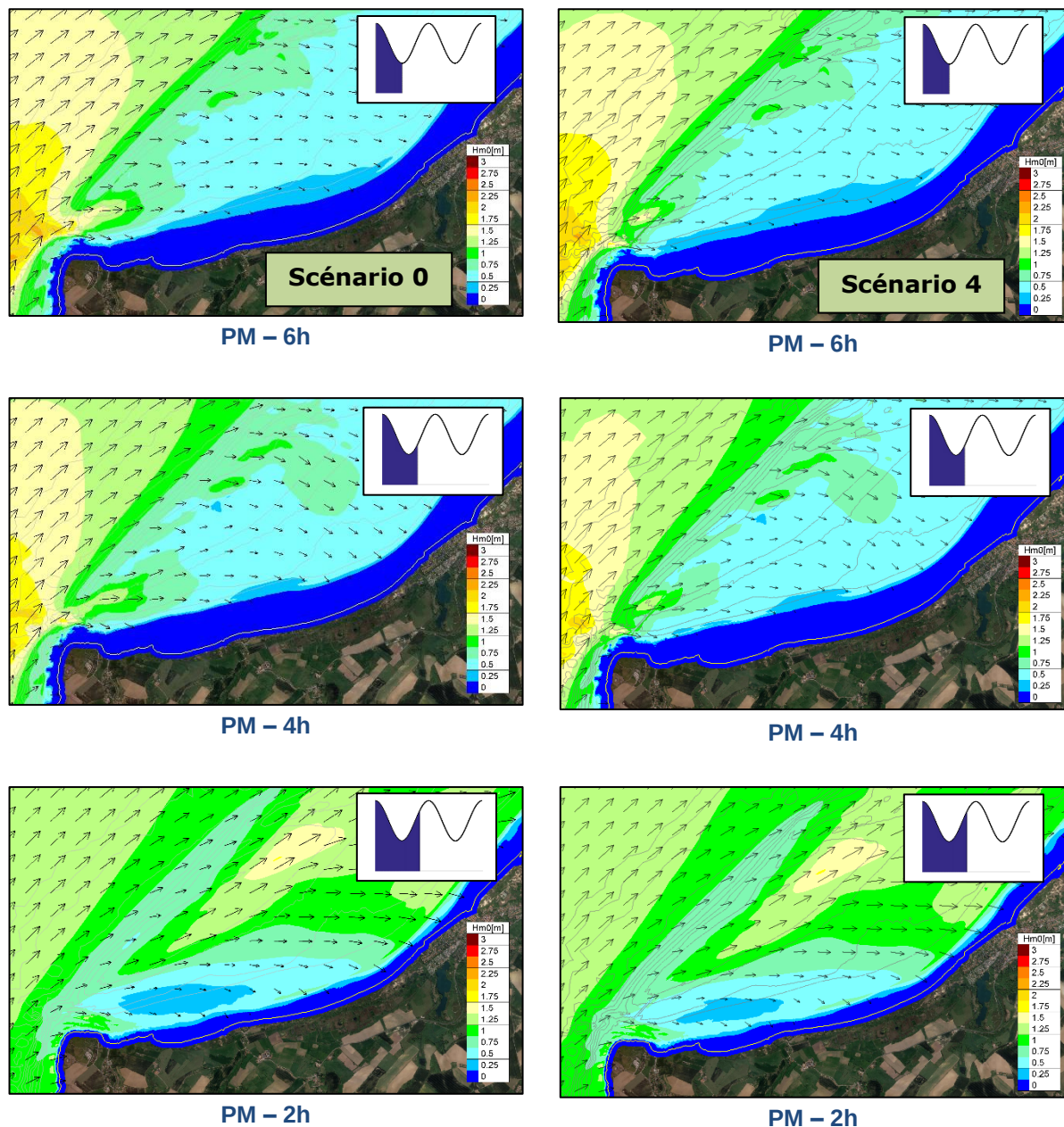


Figure 36 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

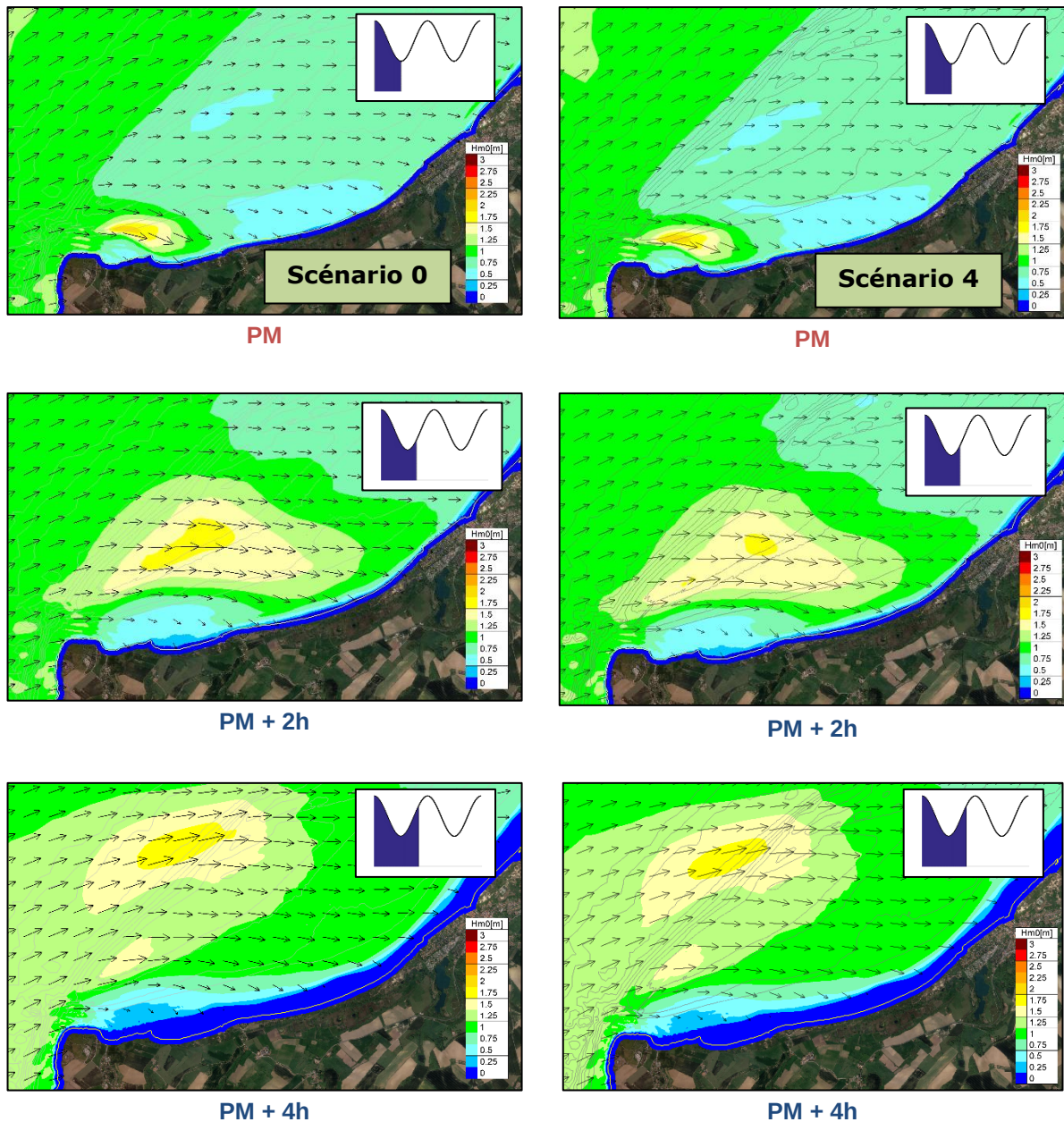


Figure 37 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~90) entre PM et PM+4h par houle de SO pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

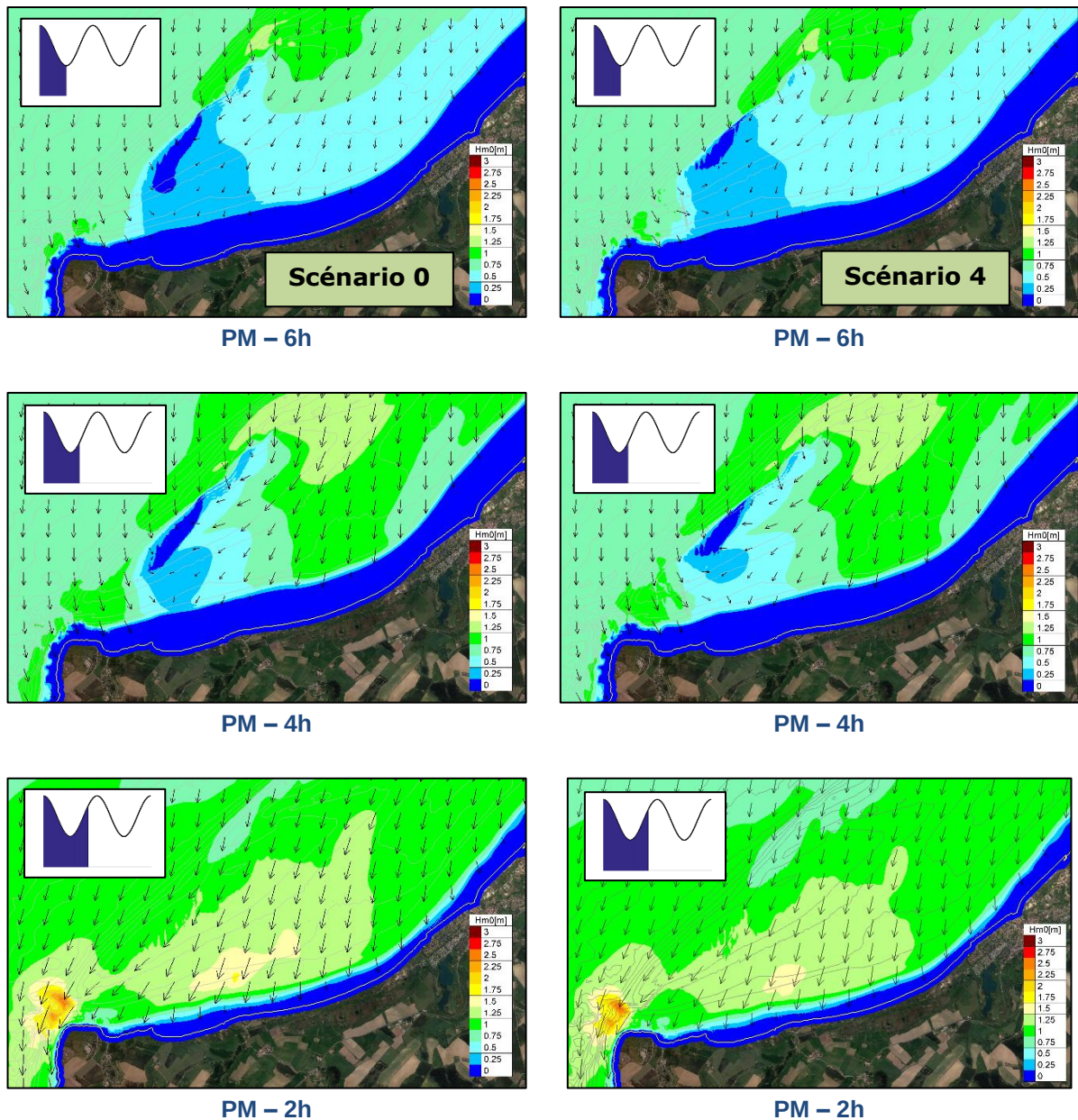


Figure 38 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM-6h et PM-2h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

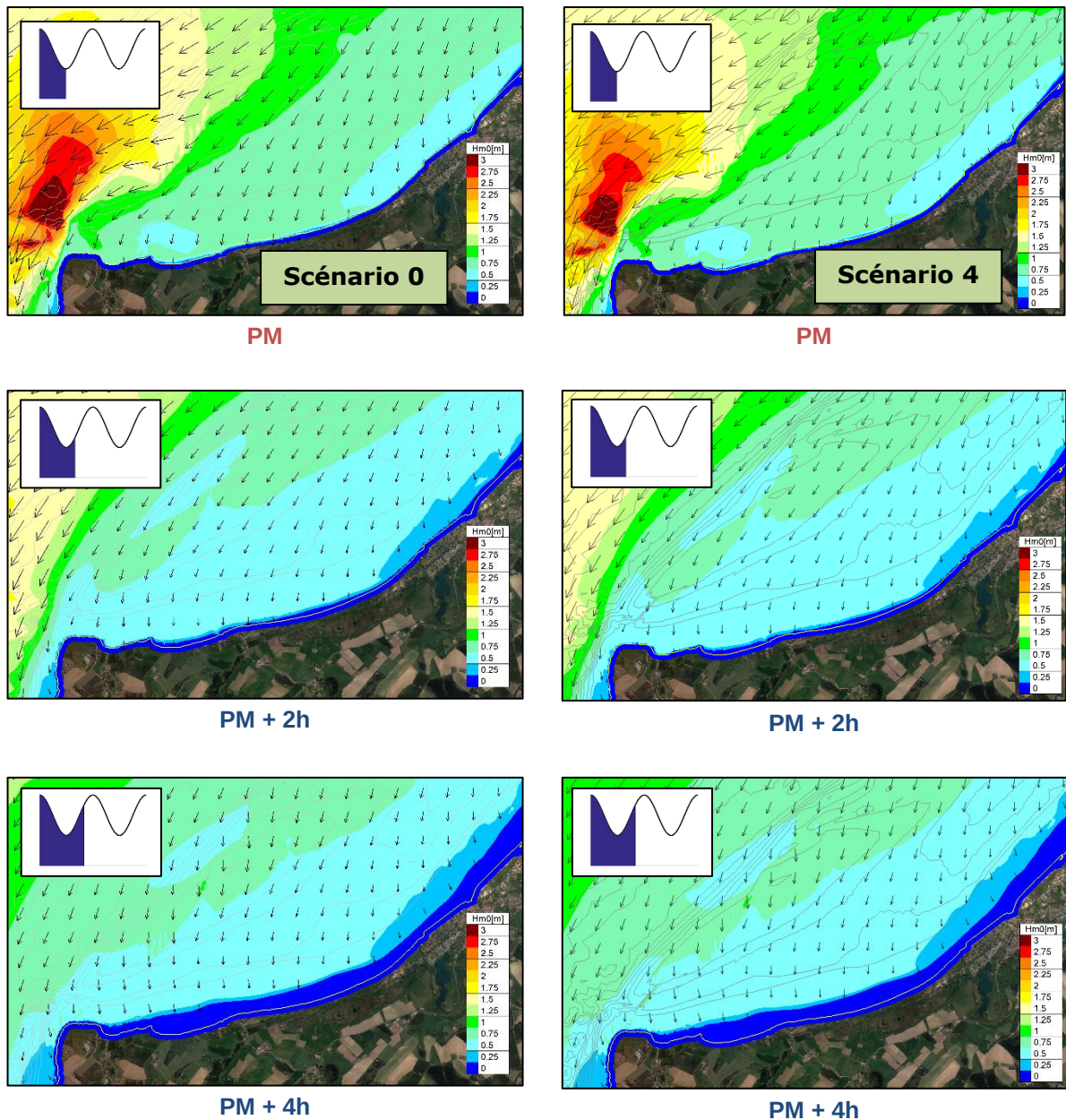


Figure 39 : Agitation en Baie de Wissant sur un cycle de marée de VE (coeff. ~ 90) entre PM et PM+4h par houle de NE pour le Scénario 0 (gauche) et le Scénario 4 (droite) (extrait de la simulation morphosédimentaire sur le premier cycle de marée)

5.2 Transit littoral

5.2.1 Scénario 3

Les figures suivantes présentent successivement :

- Le transit potentiel moyen en conditions de houles de SO et NE, illustré sur les Figure 40 et Figure 41, respectivement ;
- le transit potentiel moyen résultant, calculé par pondération avec le taux d'occurrence de chaque état de mer de secteurs SO et NE, représenté sur la Figure 42.

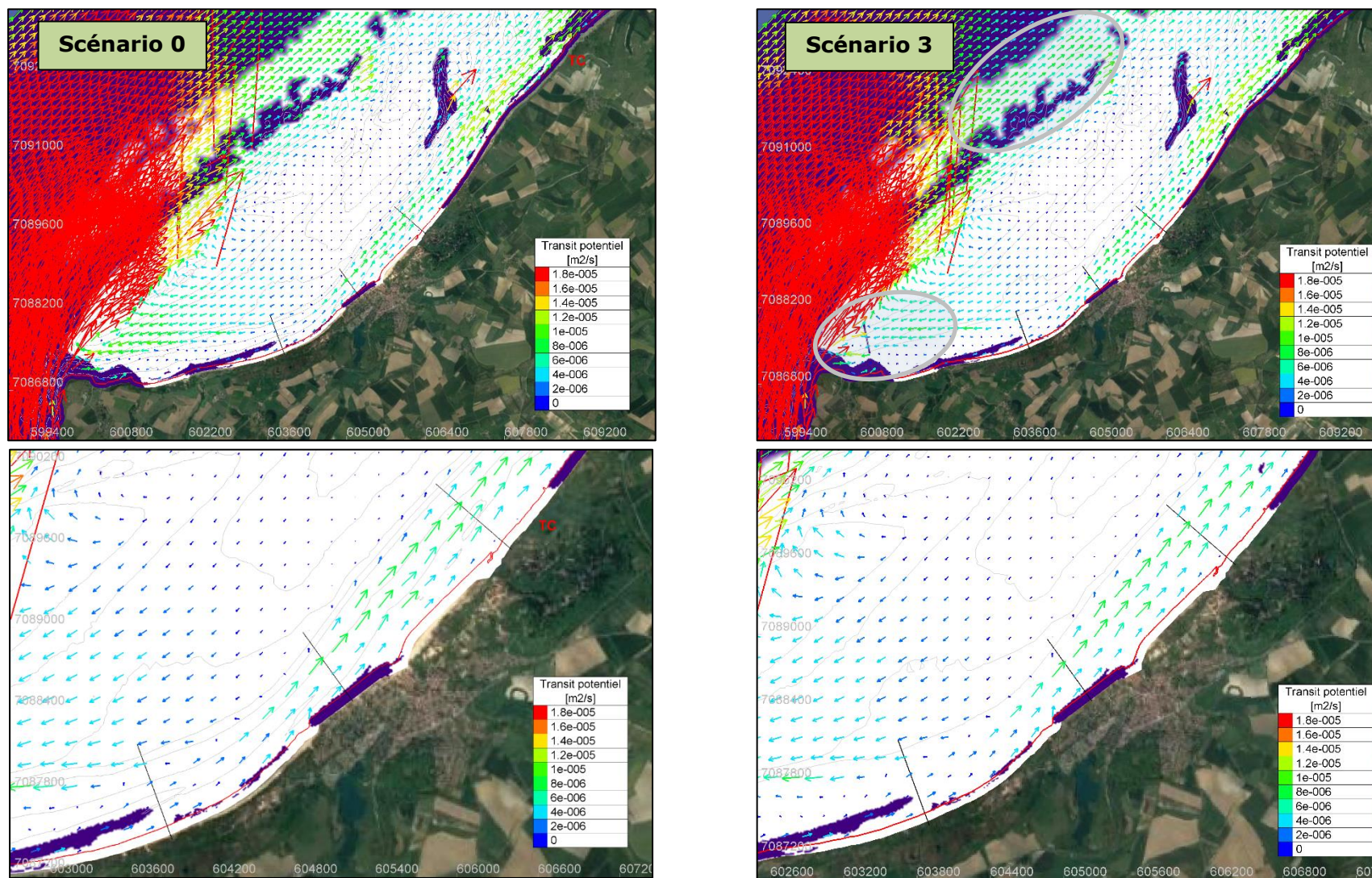


Figure 40 : Transit potentiel [m2/s] moyenné sur le demi-cycle de marée (~7j) de houle de SO : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 3 (les zones entourées indiquent une réduction des transits par rapport à l'état initial)

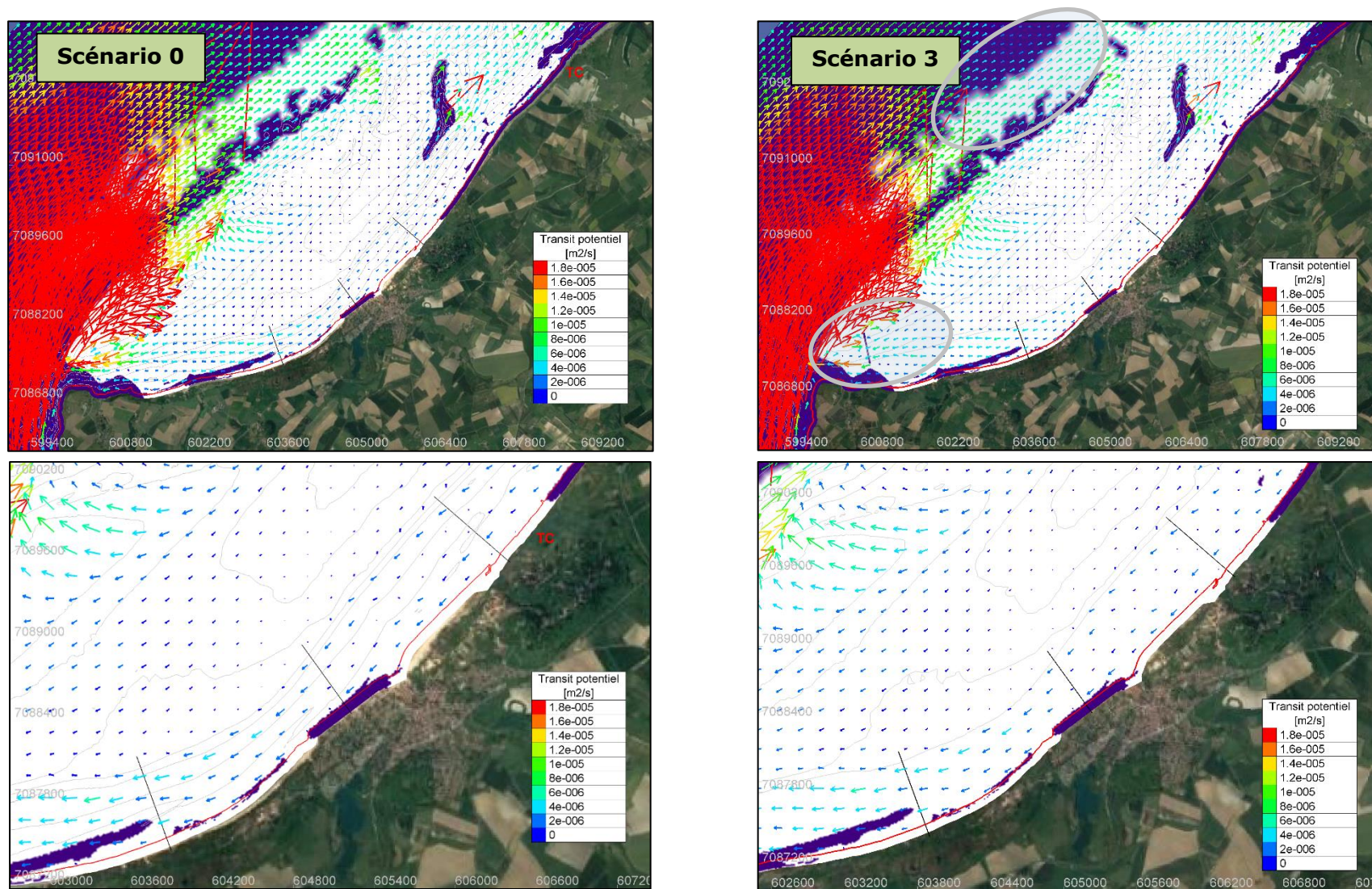


Figure 41 : Transit potentiel [m2/s] moyenné sur le demi-cycle de marée (~7j) de houle de NE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 3 (les zones entourées indiquent une réduction des transits par rapport à l'état initial)

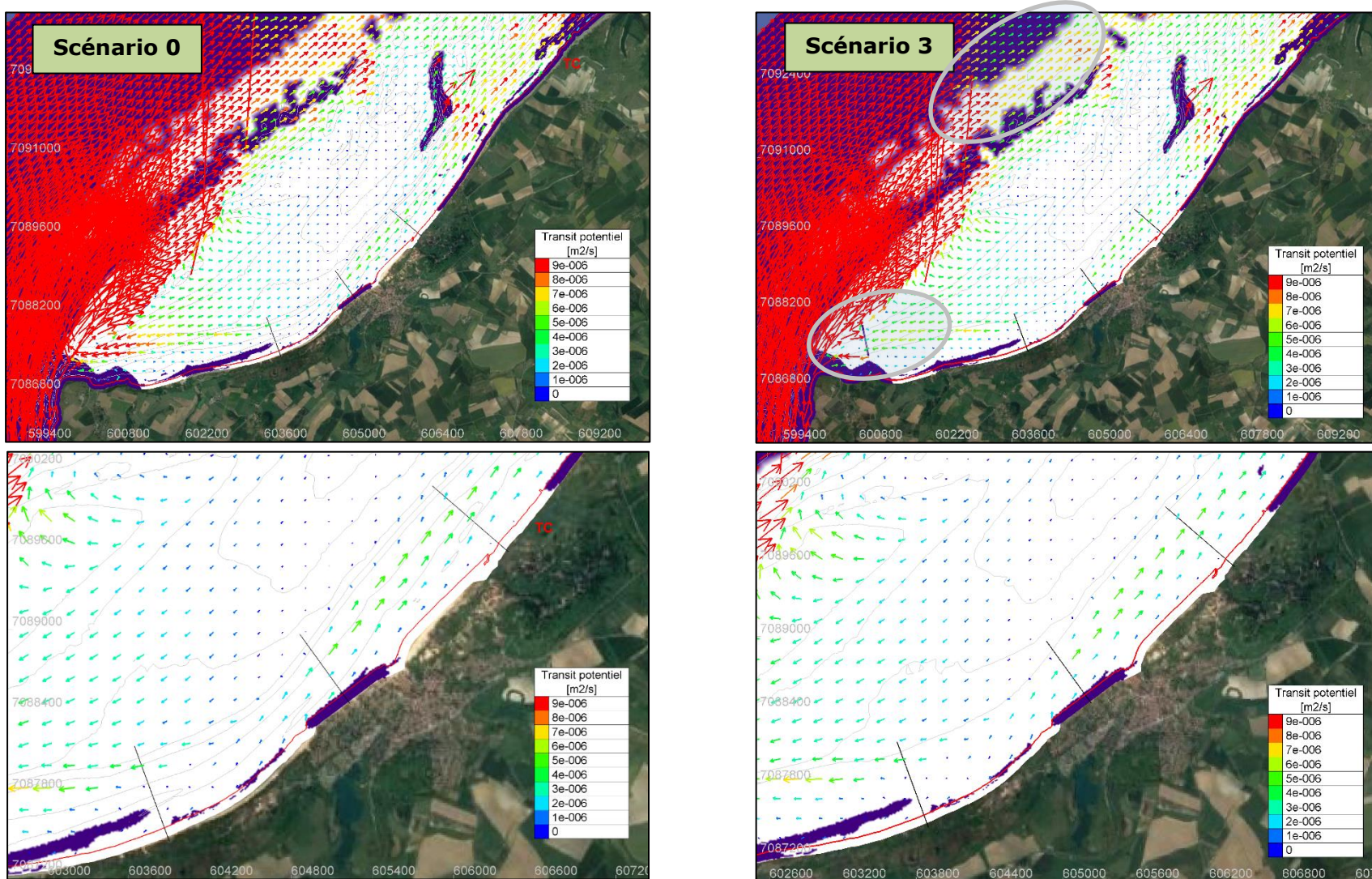


Figure 42 : Transit potentiel [m2/s] résultant (SO+NE pondéré) sur le cycle de marée ME/VE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 3 (les zones entourées indiquent une réduction des transits par rapport à l'état initial)

5.2.2 Scénario 4

Les figures suivantes présentent successivement :

- Le transit potentiel moyen en conditions de houles de SO et NE, illustré sur les Figure 43 et Figure 44, respectivement ;
- le transit potentiel moyen résultant, calculé par pondération avec le taux d'occurrence de chaque état de mer de secteurs SO et NE, représenté sur la Figure 45.

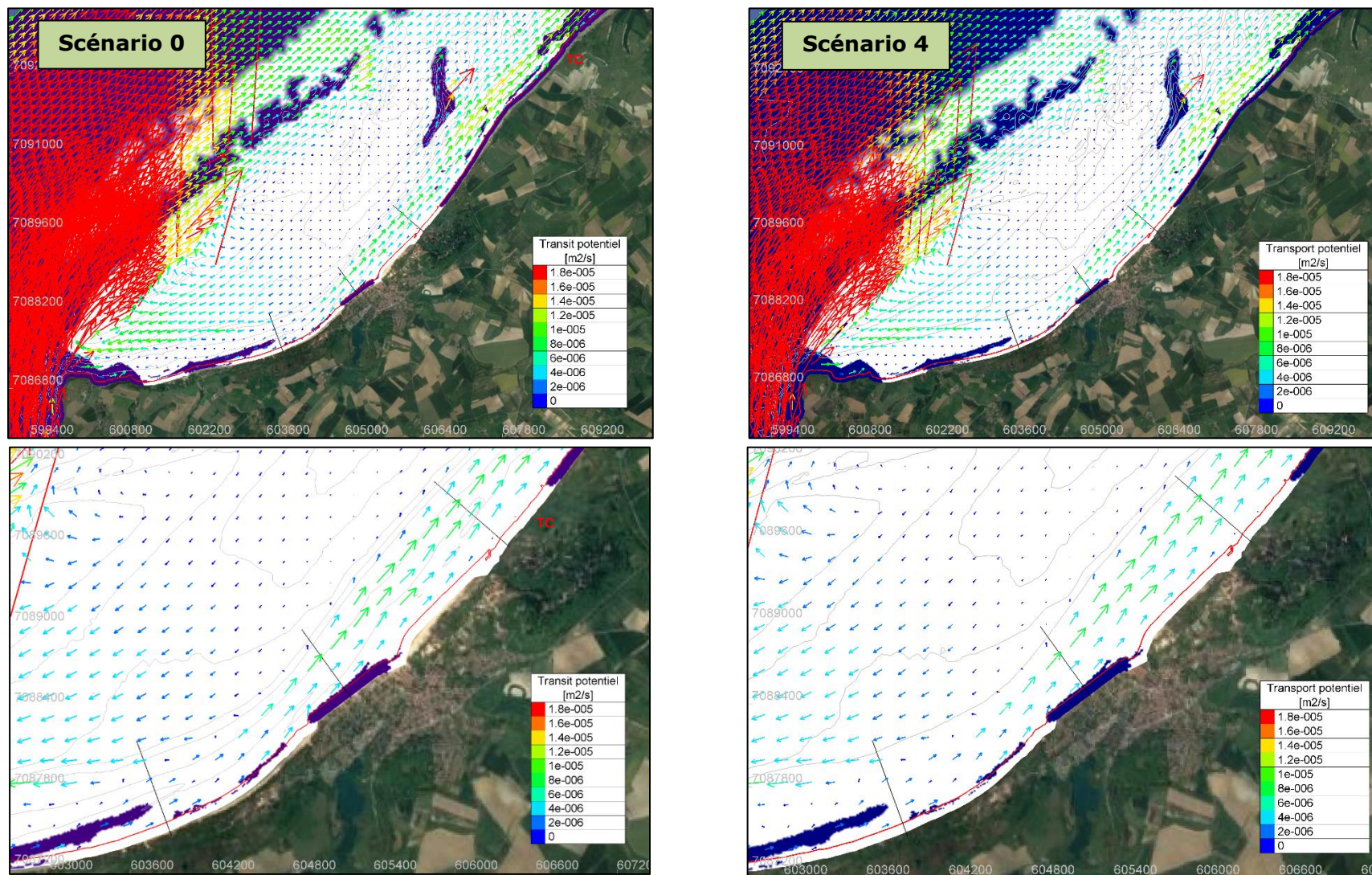


Figure 43 : Transit potentiel [m2/s] moyenné sur le demi-cycle de marée (~7j) de houle de SO : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 34

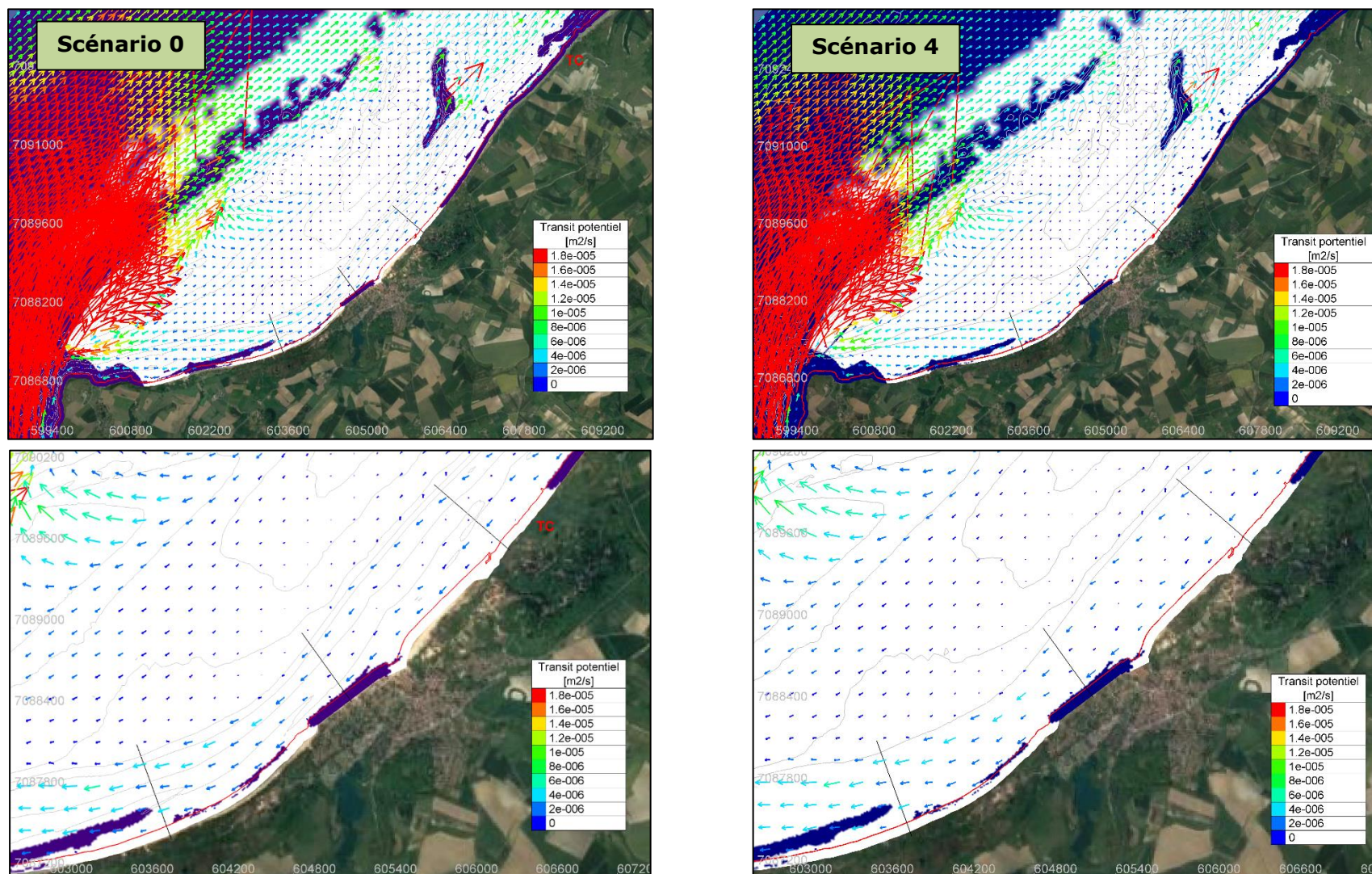


Figure 44 : Transit potentiel [m2/s] moyenné sur le demi-cycle de marée (~7j) de houle de NE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 4

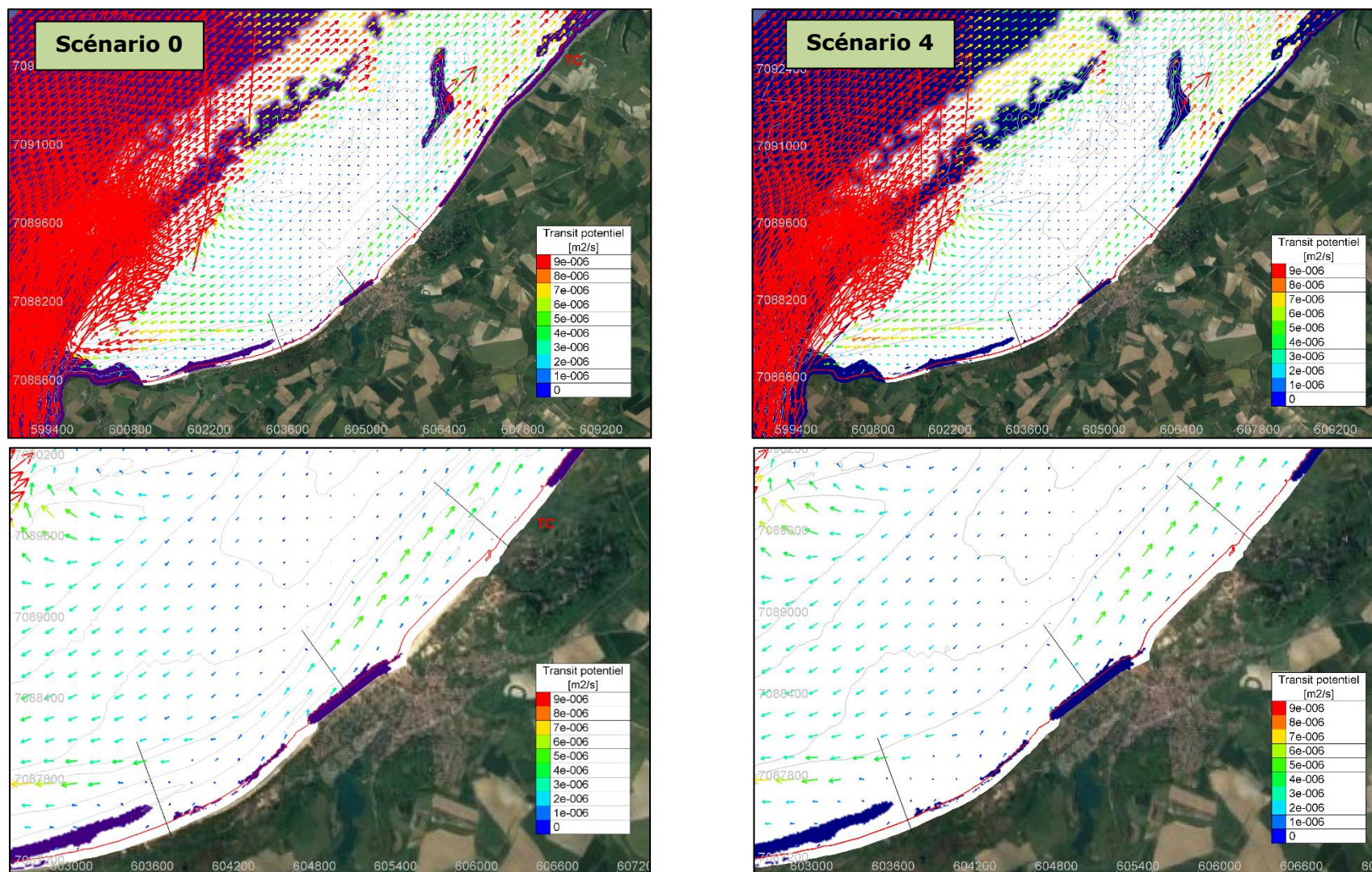


Figure 45 : Transit potentiel [m2/s] résultant (SO+NE pondéré) sur le cycle de marée ME/VE : (haut) vue d'ensemble de la baie, (bas) zone de Wissant ; Gauche : Scénario 0 (état de référence), Droite : Scénario 4

5.3 Évolution des fonds

5.3.1 Scénario 3

Les résultats de la simulation du Scénario 3 à échéance 10 ans sont illustrés à différentes échelles spatiales par :

- des cartes de la bathymétrie finale et de l'évolution des fonds sur la période décembre 2016 – décembre 2026 (état initial T0 à final T0+10 ans) : Figure 46 à Figure 52 ;
- des cartes de comparaison de la bathymétrie finale simulée à 10 ans pour le Scénario 3 par rapport au Scénario 0 : Figure 53 à Figure 54 ;
- des graphiques de l'évolution de plusieurs profils transversaux suivis par la DDTM62, pour le scénario 3 et le scénario de référence : Figure 55.

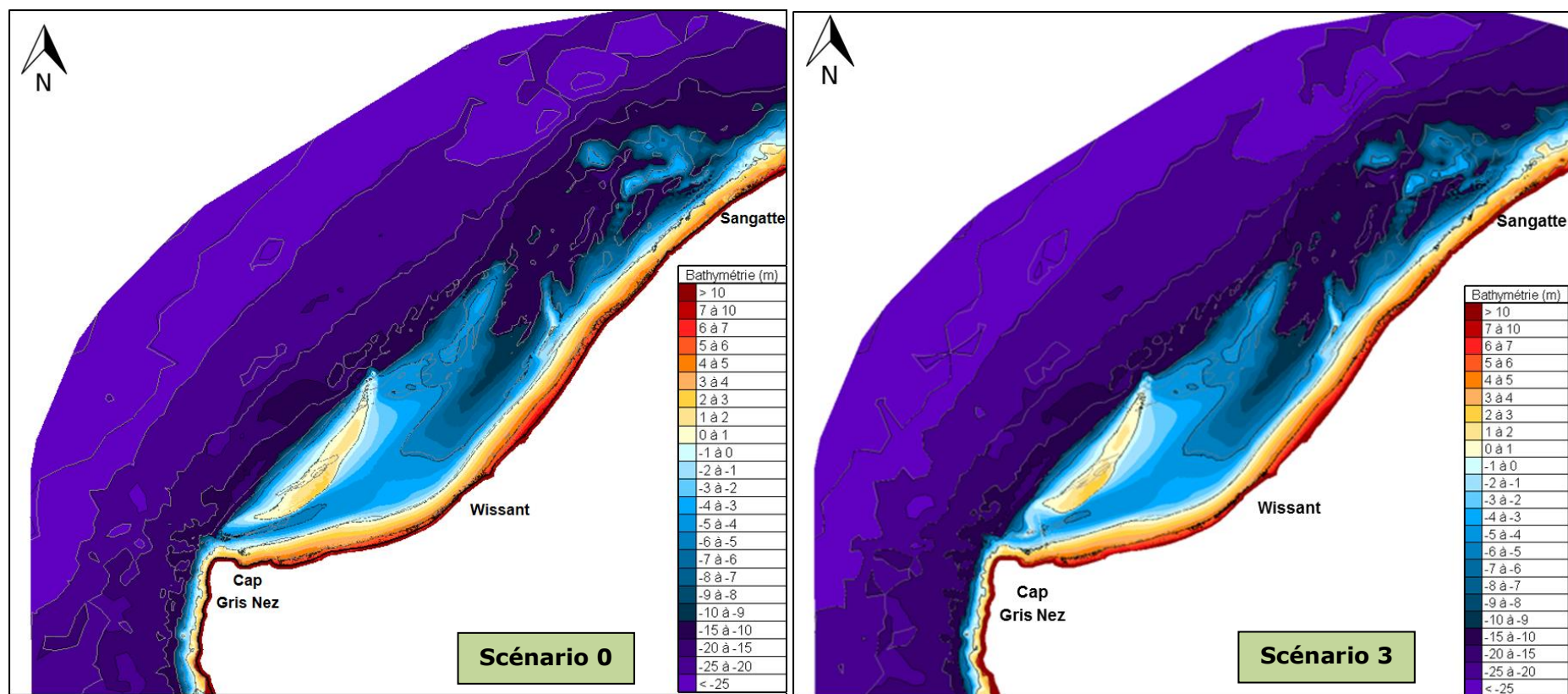


Figure 46 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 3 (droite) / Vue d'ensemble

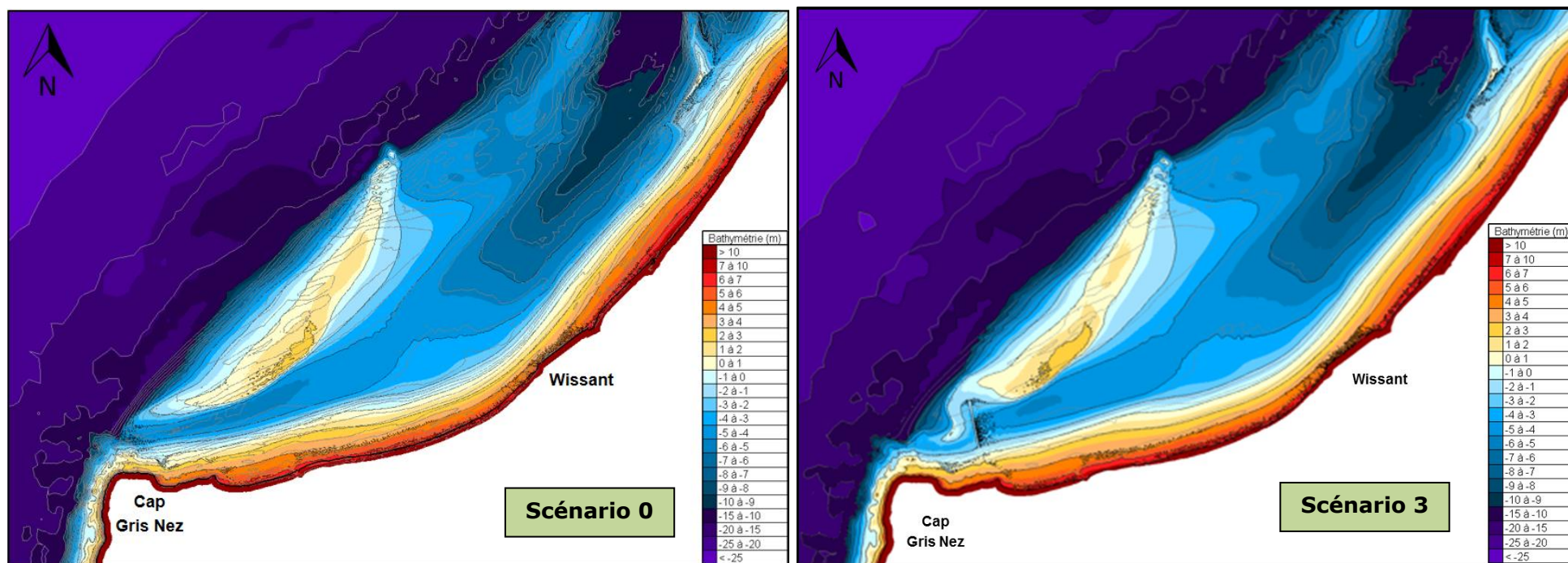


Figure 47: Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 3 (droite) / Baie de Wissant et Banc à la Ligne

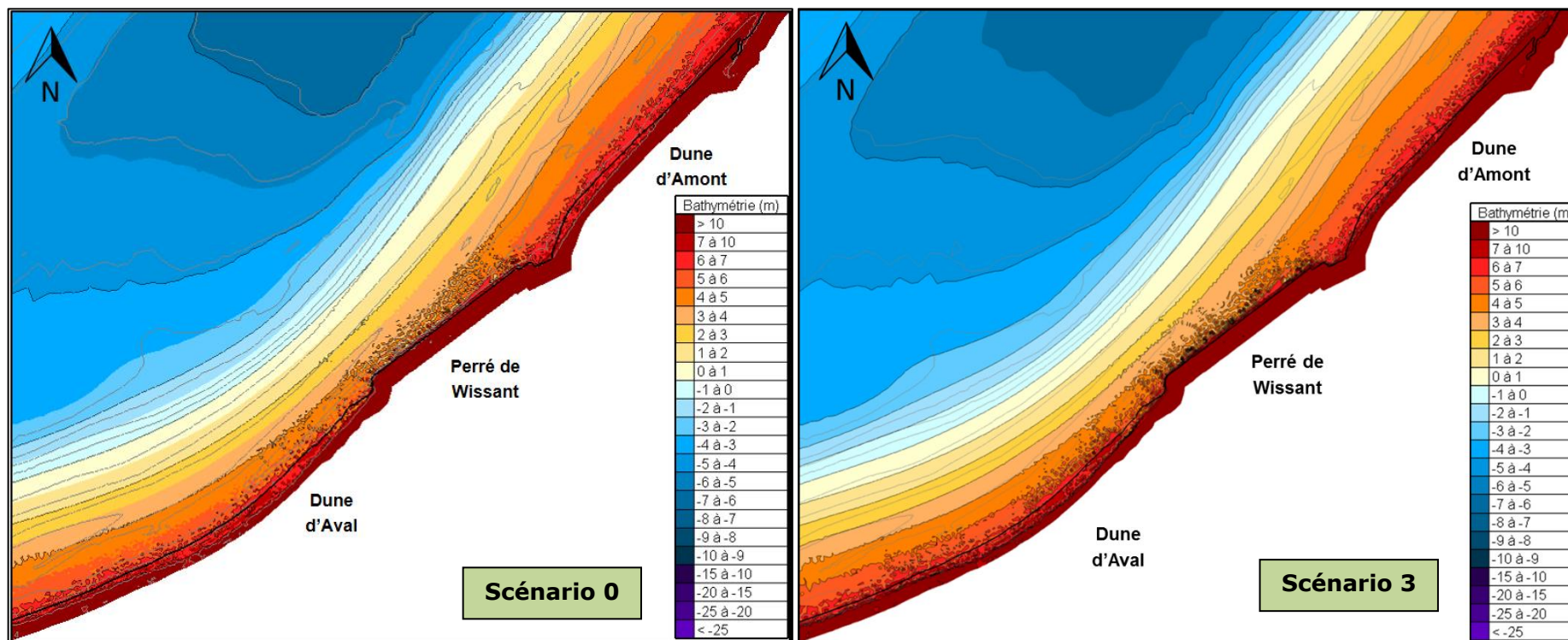
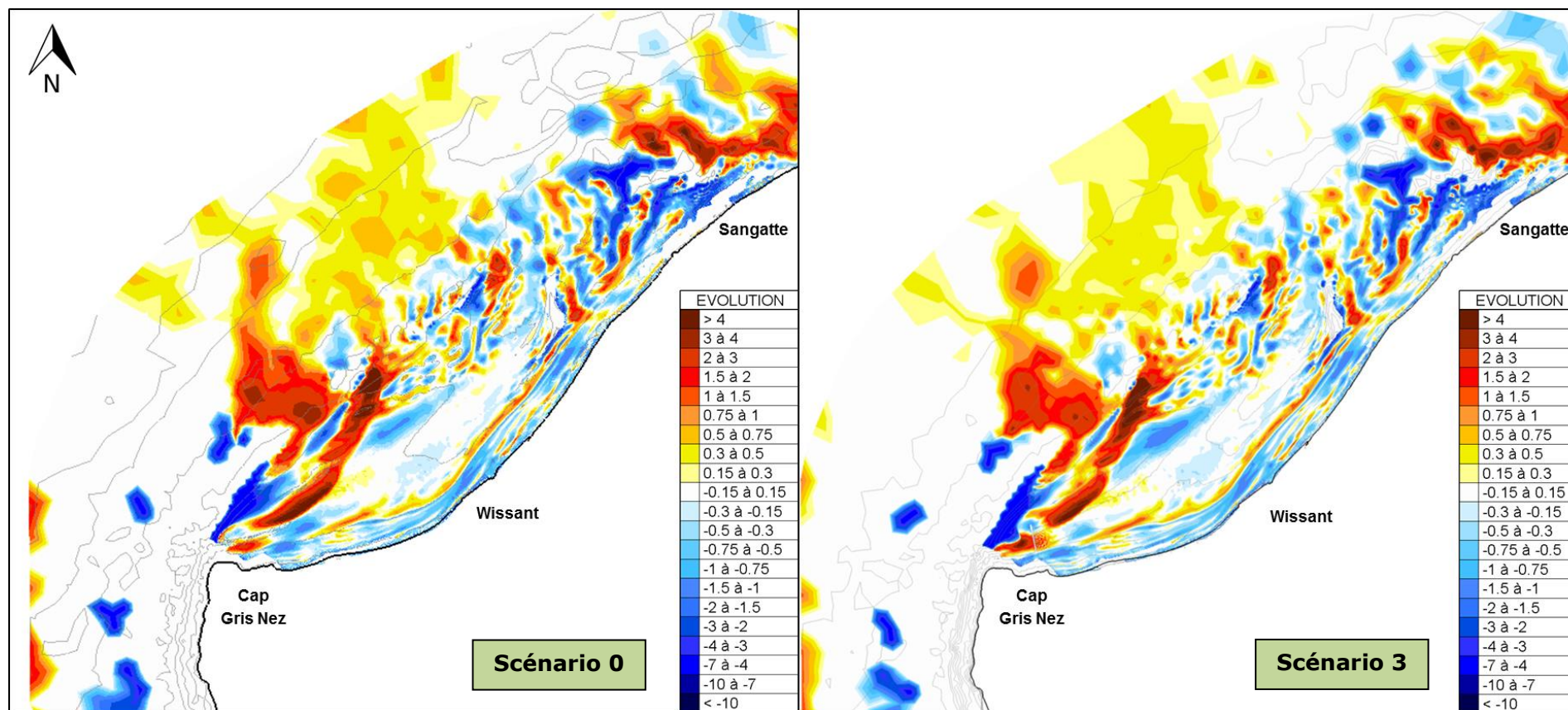


Figure 48 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 3 (droite) / Wissant



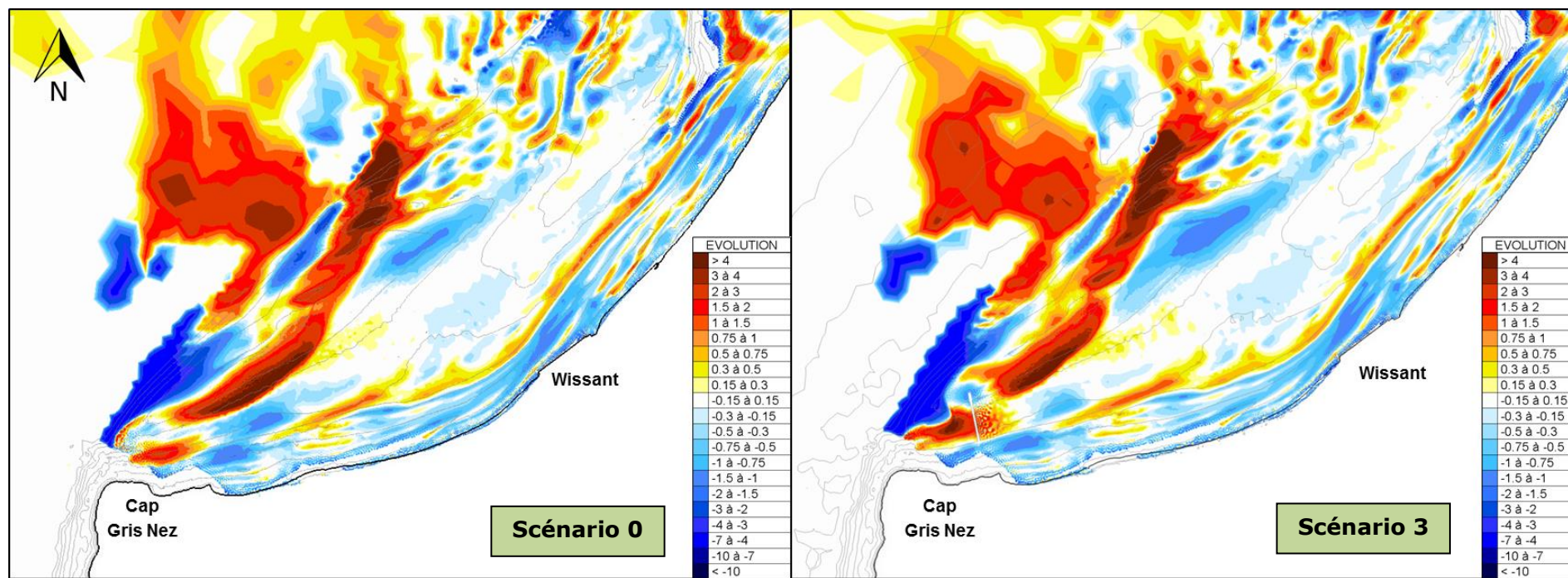


Figure 50 : Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Baie de Wissant et Banc à la ligne

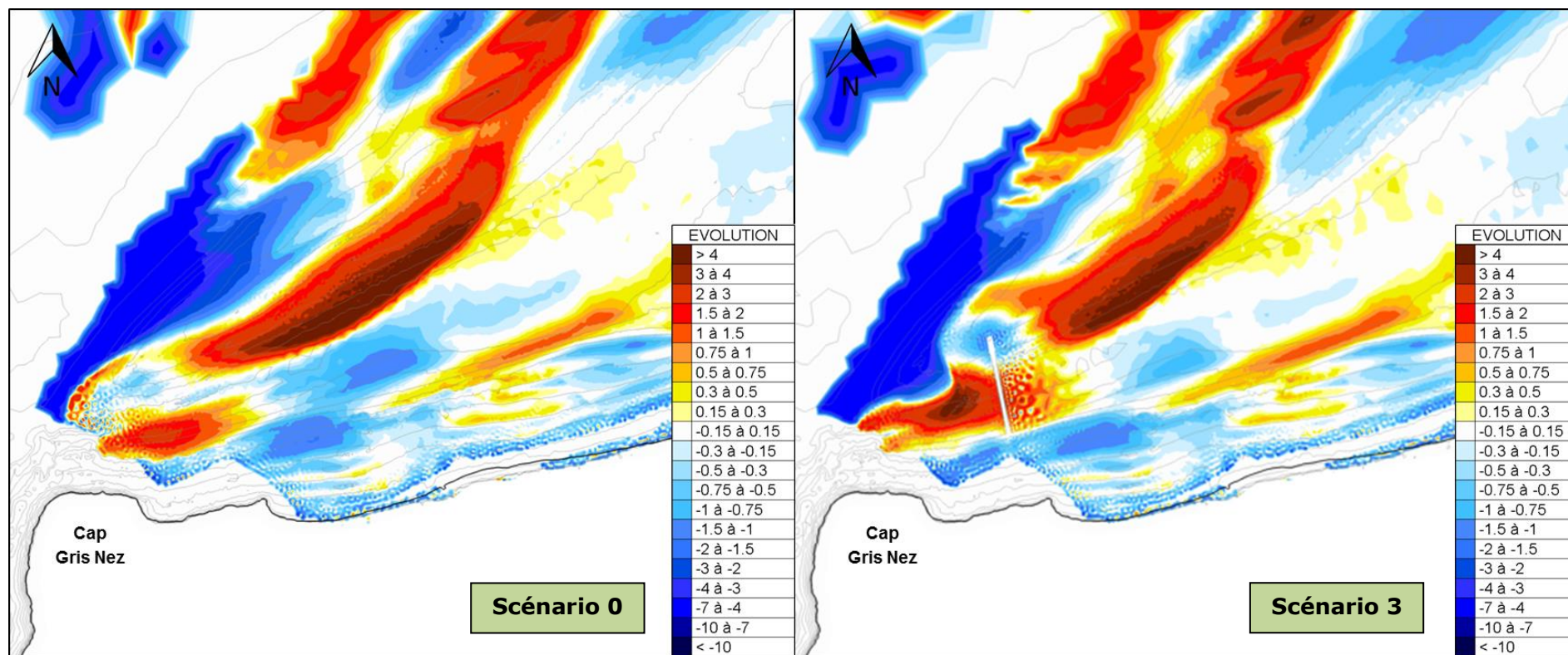


Figure 51: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Zone ouvrage de comblement et Banc à la Ligne

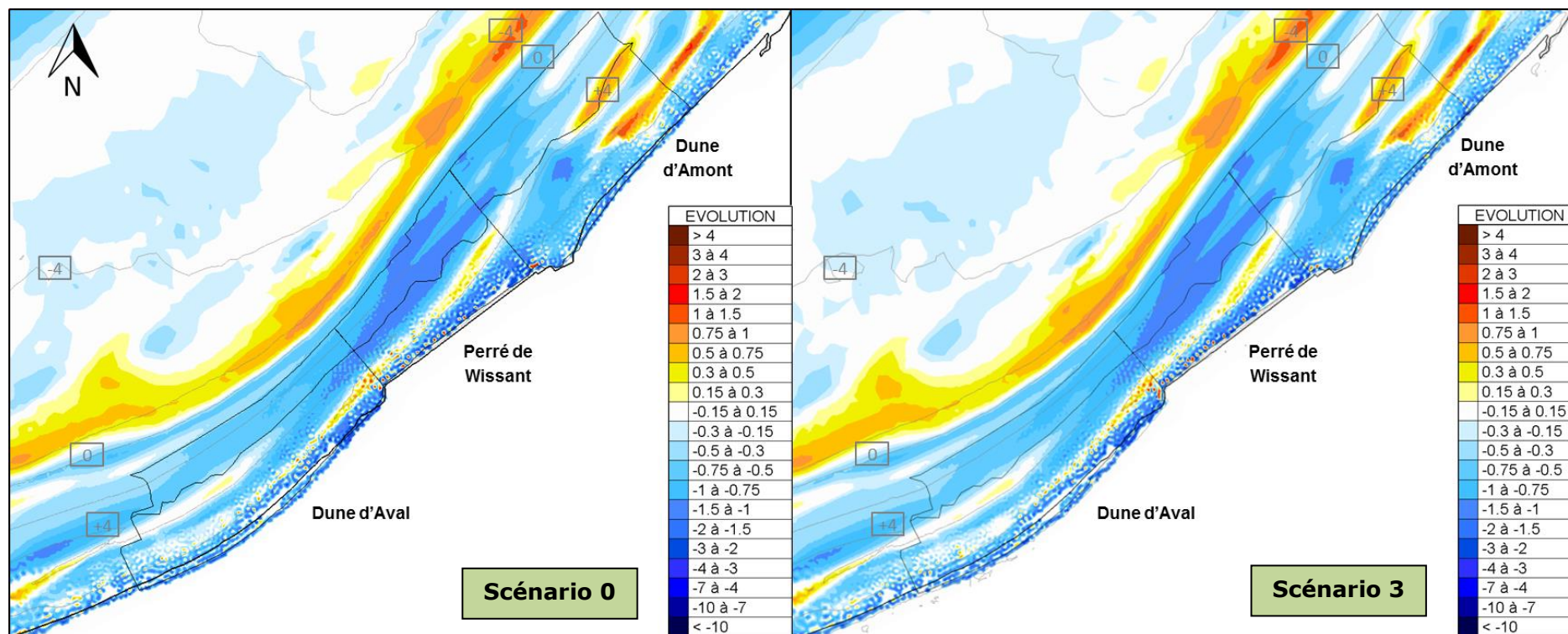


Figure 52: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 3 (droite) – Wissant

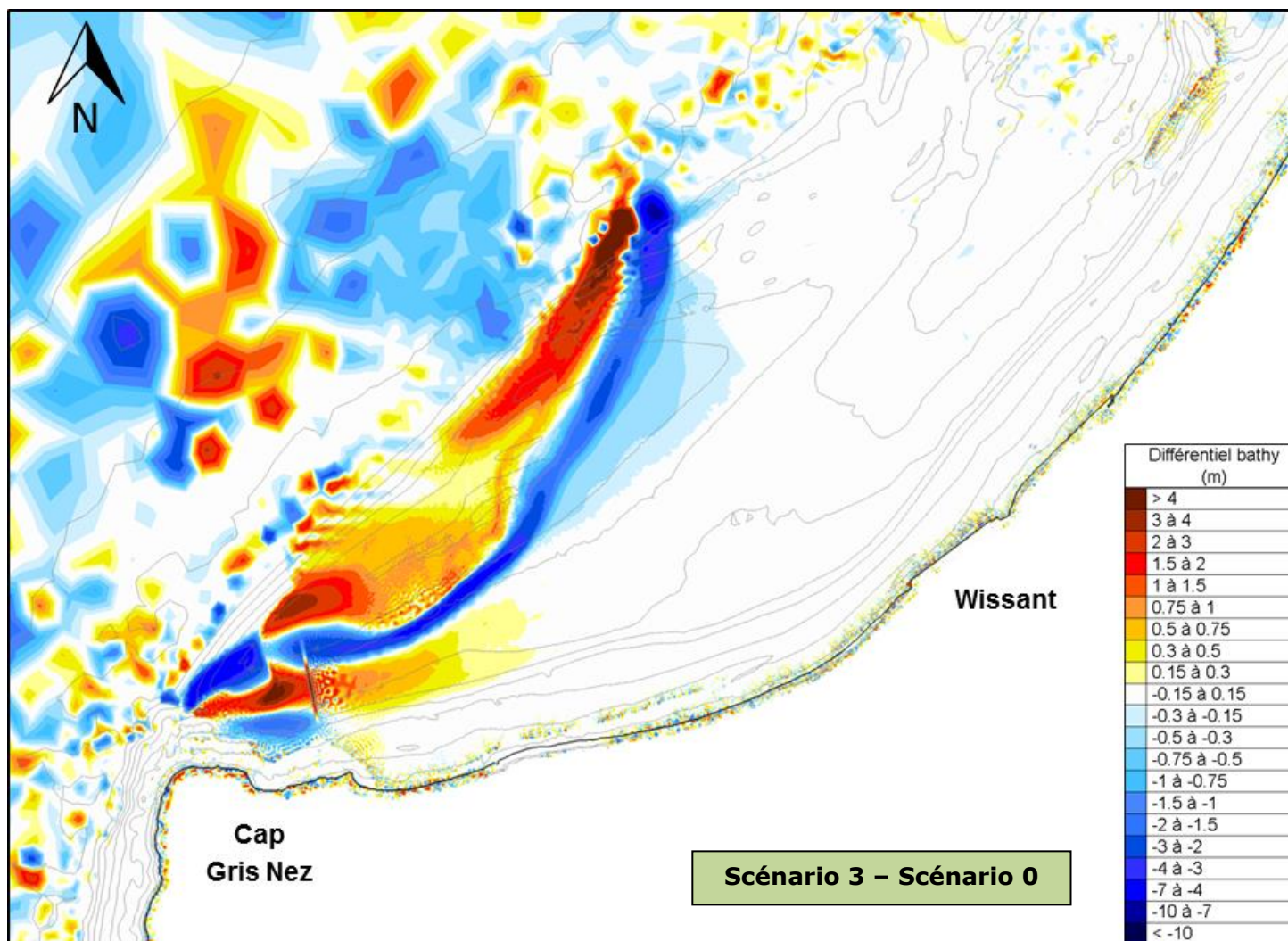


Figure 53 : Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 3 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc3 – BathyFinale-Sc0] – Baie de Wissant et Banc à la ligne

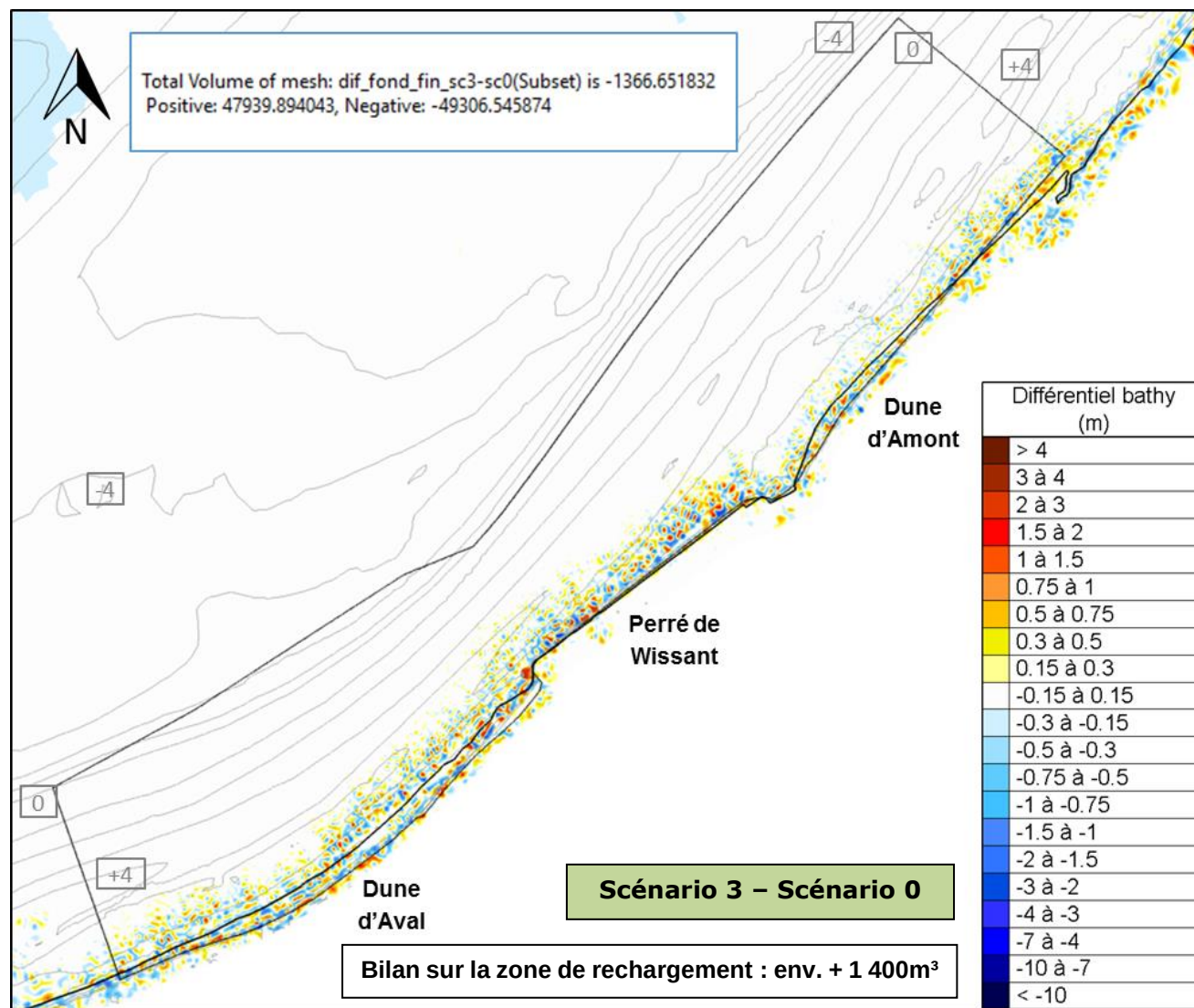


Figure 54: Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 3 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc3 – BathyFinale-Sc0] – Wissant

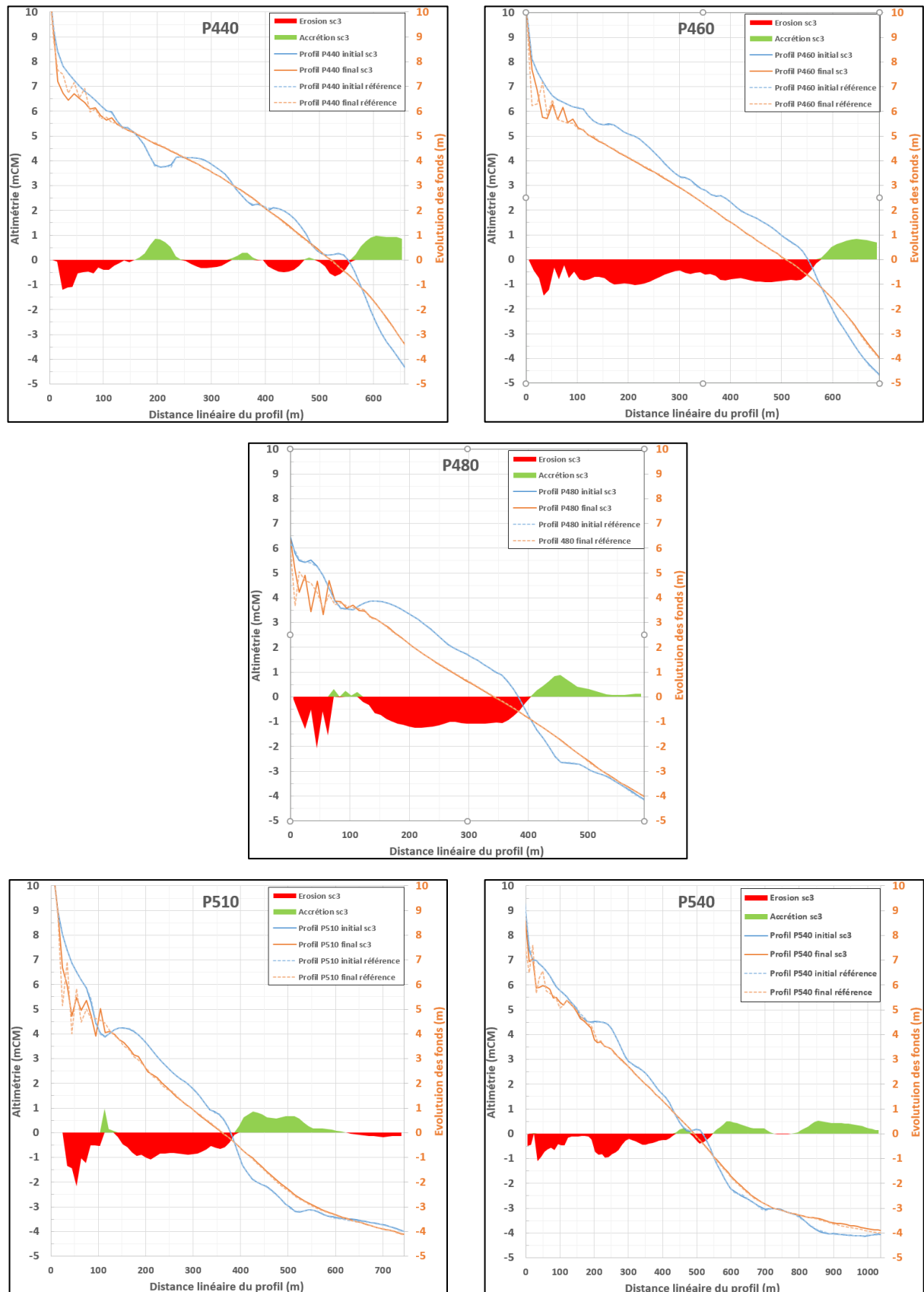


Figure 55 : Évolution de profils transversaux suivis par la DDTM62, simulée sur la période 12/2016-12/2026 pour le Scénario 3 (profils de l'état de référence en pointillés)

5.3.2 Scénario 4

Les résultats de la simulation du Scénario 4 à échéance 10 ans sont illustrés à différentes échelles spatiales par :

- des cartes de la bathymétrie finale et de l'évolution des fonds sur la période décembre 2016 – décembre 2026 (état initial T0 à final T0+10 ans) : Figure 56 à Figure 62 ;
- des cartes de comparaison de la bathymétrie finale simulée à 10 ans pour le Scénario 4 par rapport au Scénario 0 : Figure 63 à Figure 64 ;
- des graphiques de l'évolution de plusieurs profils transversaux suivis par la DDTM62, pour le scénario 3 et le scénario de référence : Figure 65.

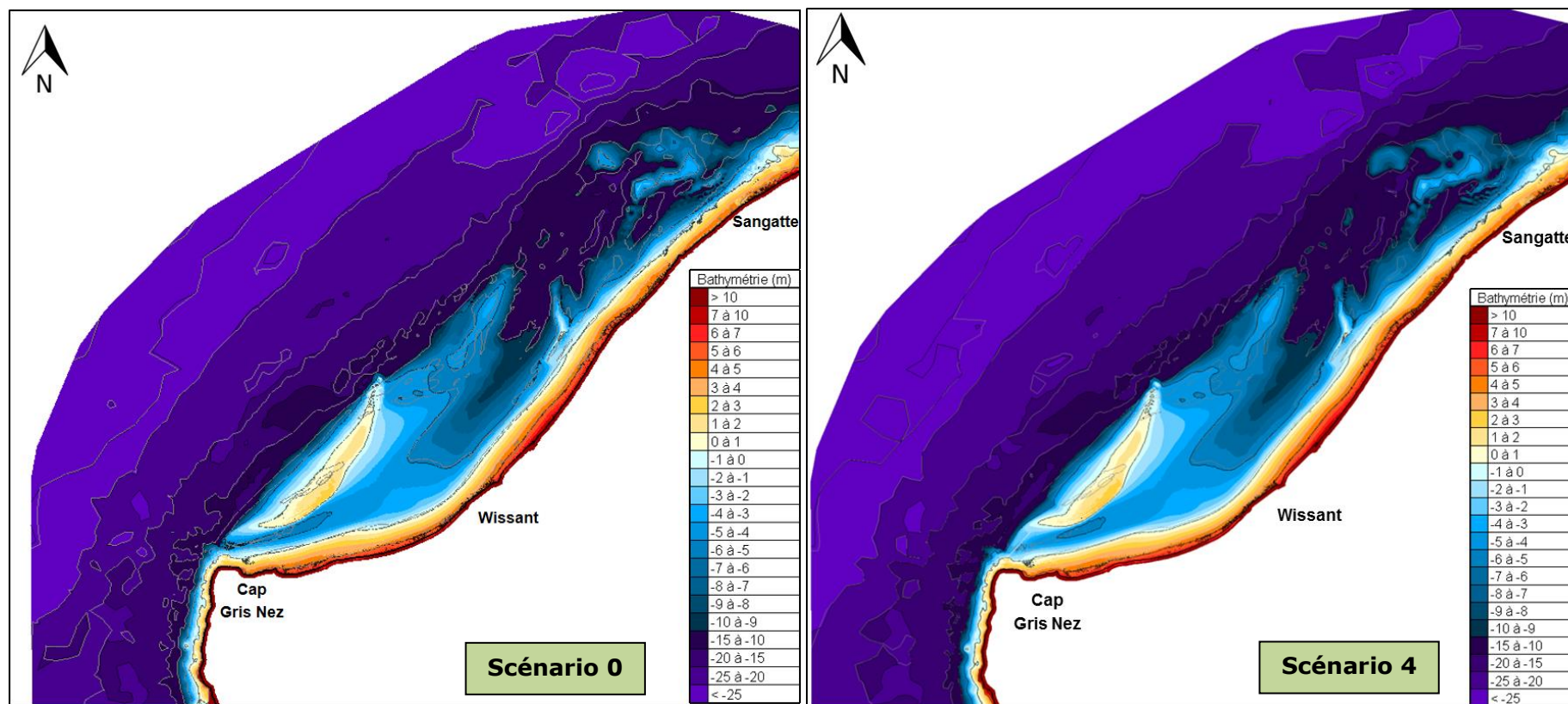


Figure 56 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 4 (droite) / Vue d'ensemble

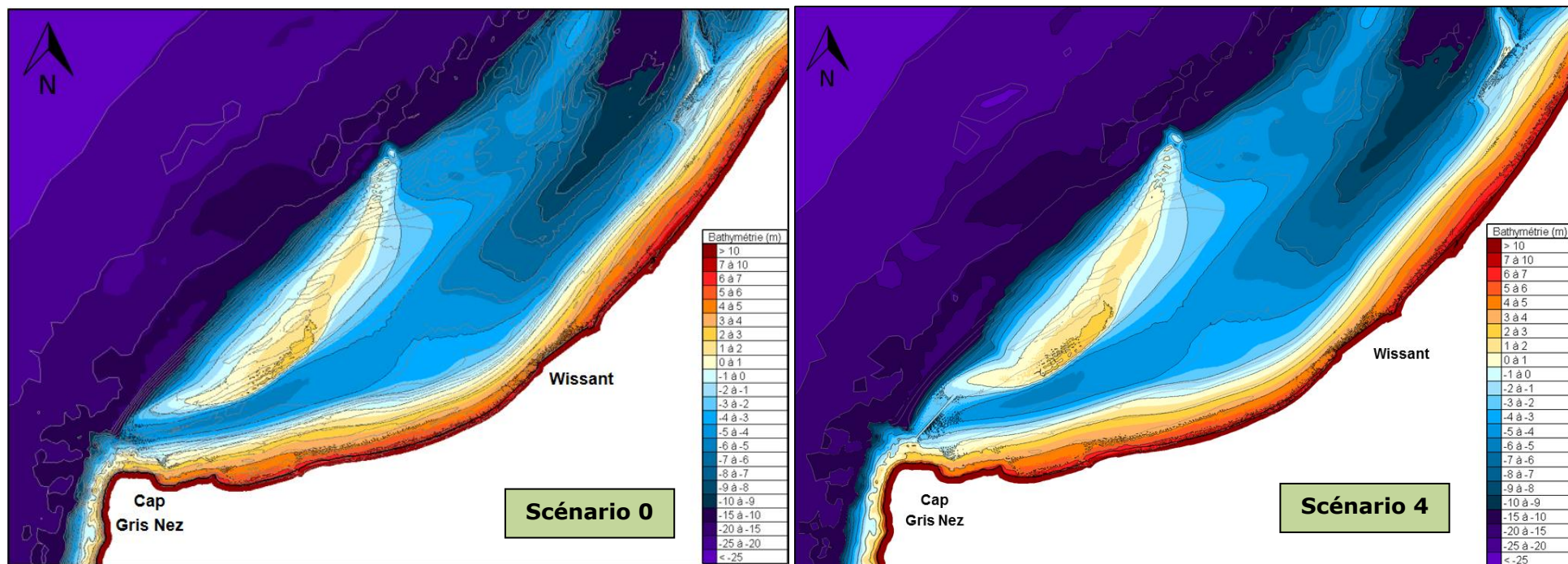


Figure 57: Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 4 (droite) / Baie de Wissant et Banc à la Ligne

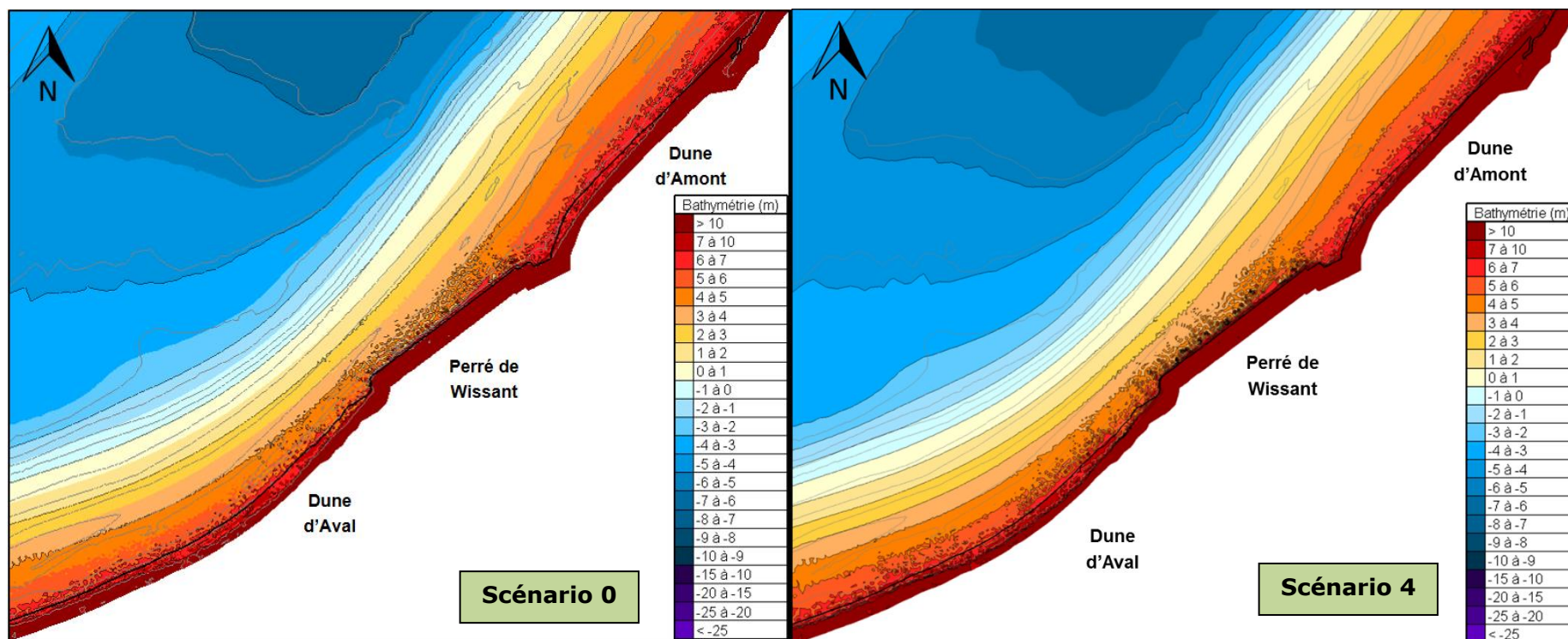


Figure 58 : Bathymétrie du modèle à T0+10 ans (surfaces colorées et isobathes foncées ; isobathes à T0 en lignes claires) pour les Scénarios 0 (gauche) et 4 (droite) / Wissant

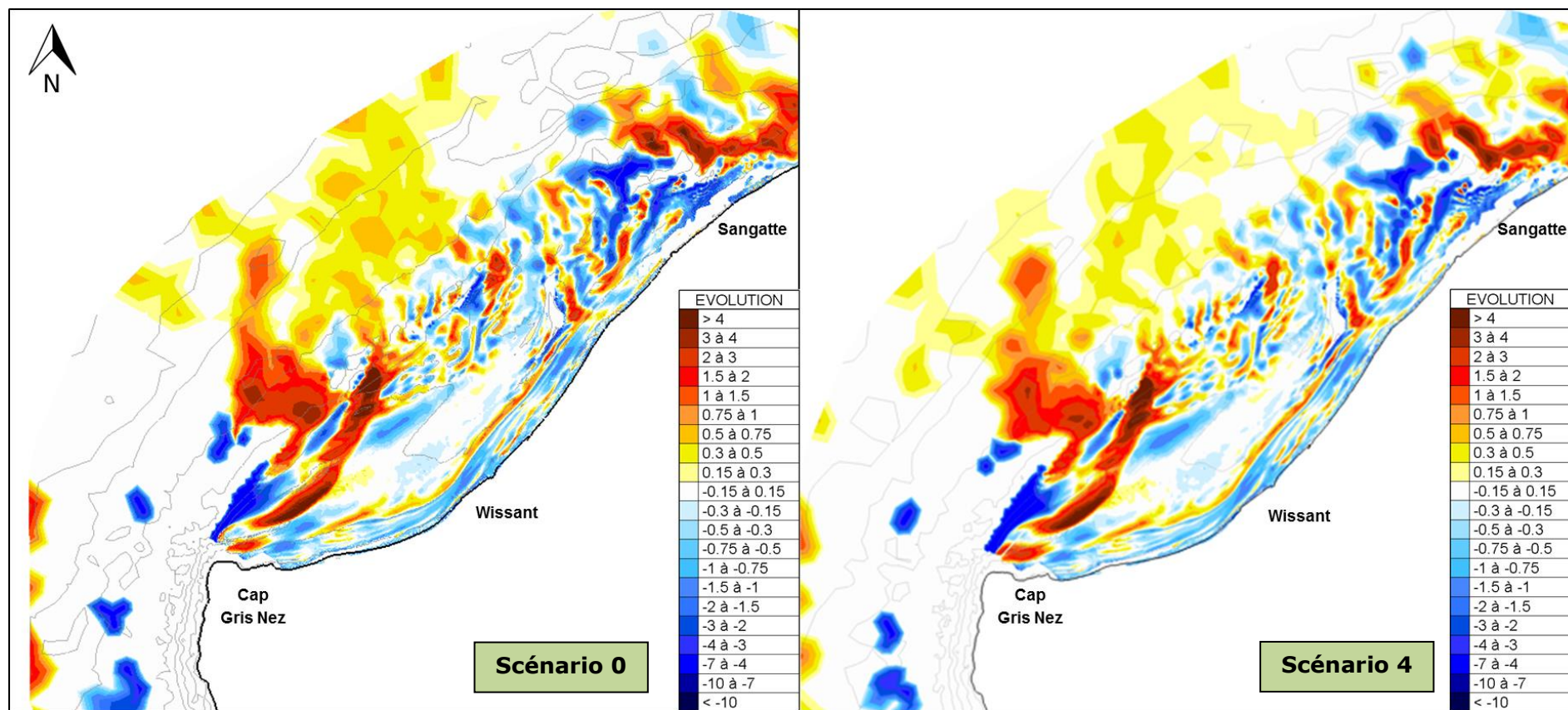


Figure 59: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Vue d'ensemble

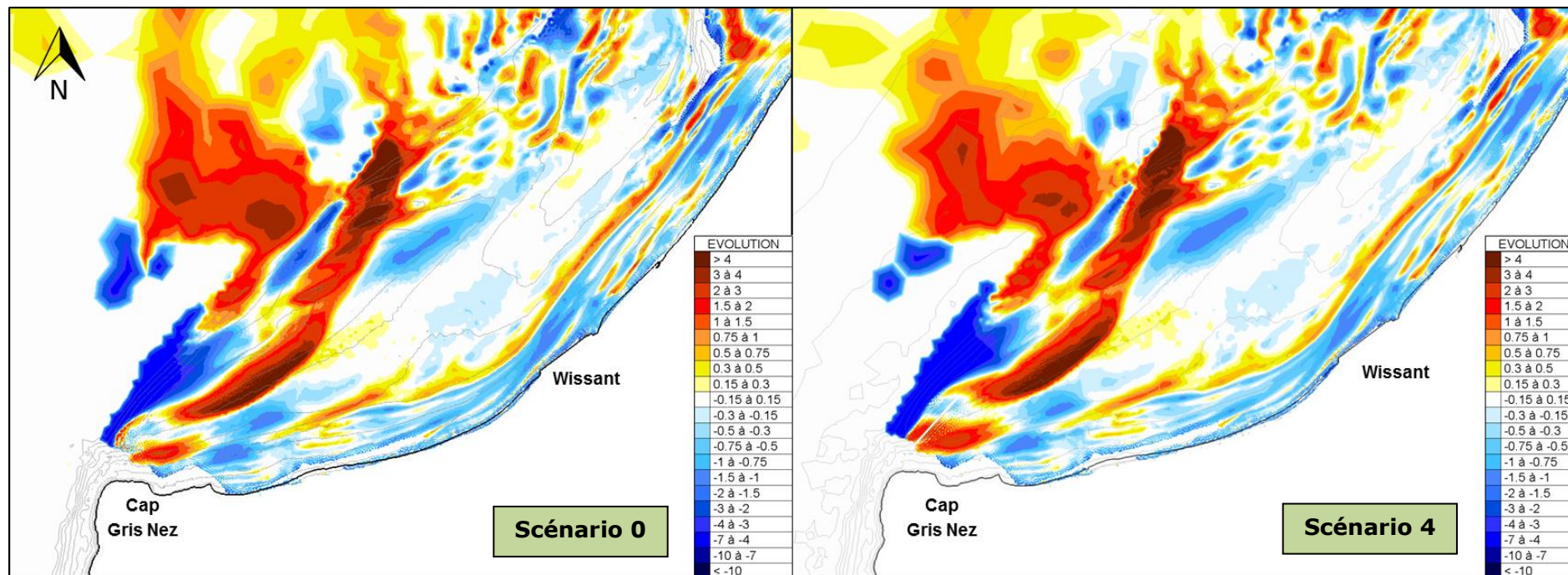


Figure 60 : Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Baie de Wissant et Banc à la ligne

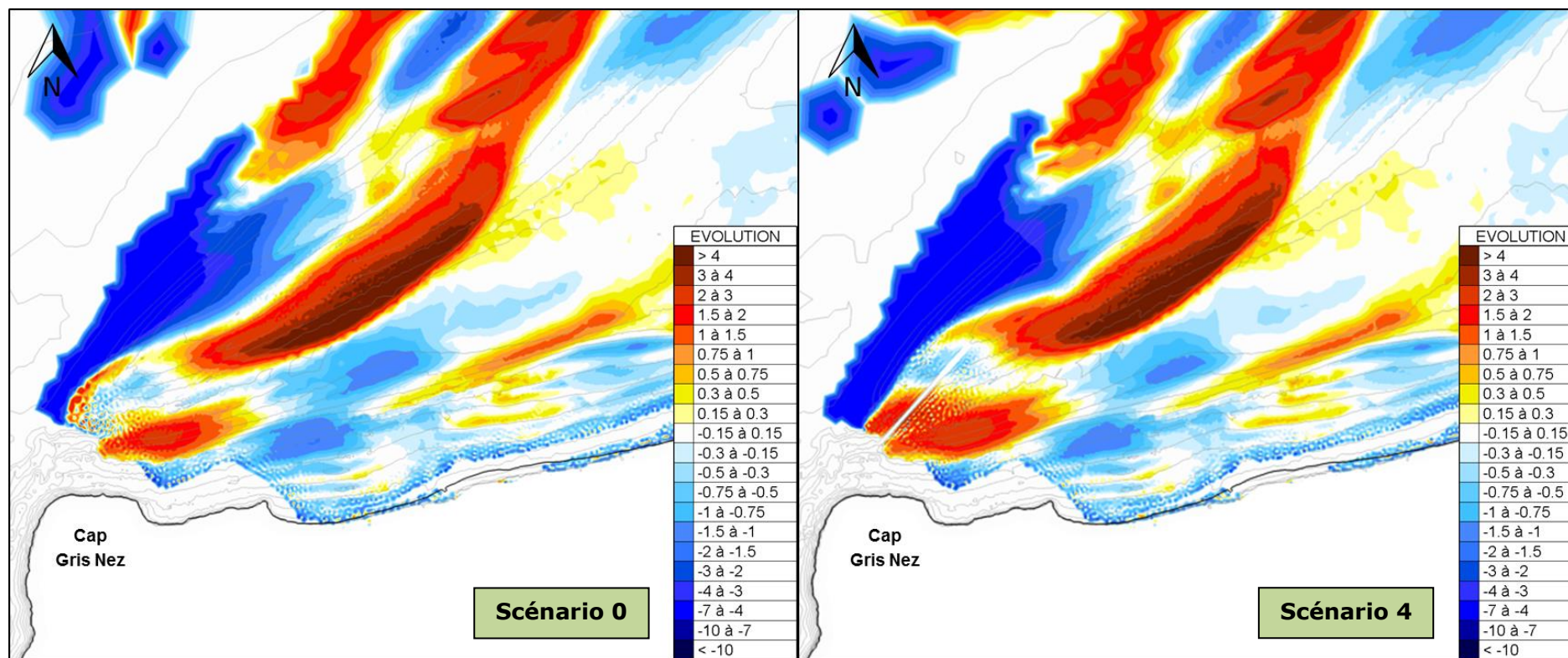


Figure 61: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Zone ouvrage de comblement et Banc à la Ligne

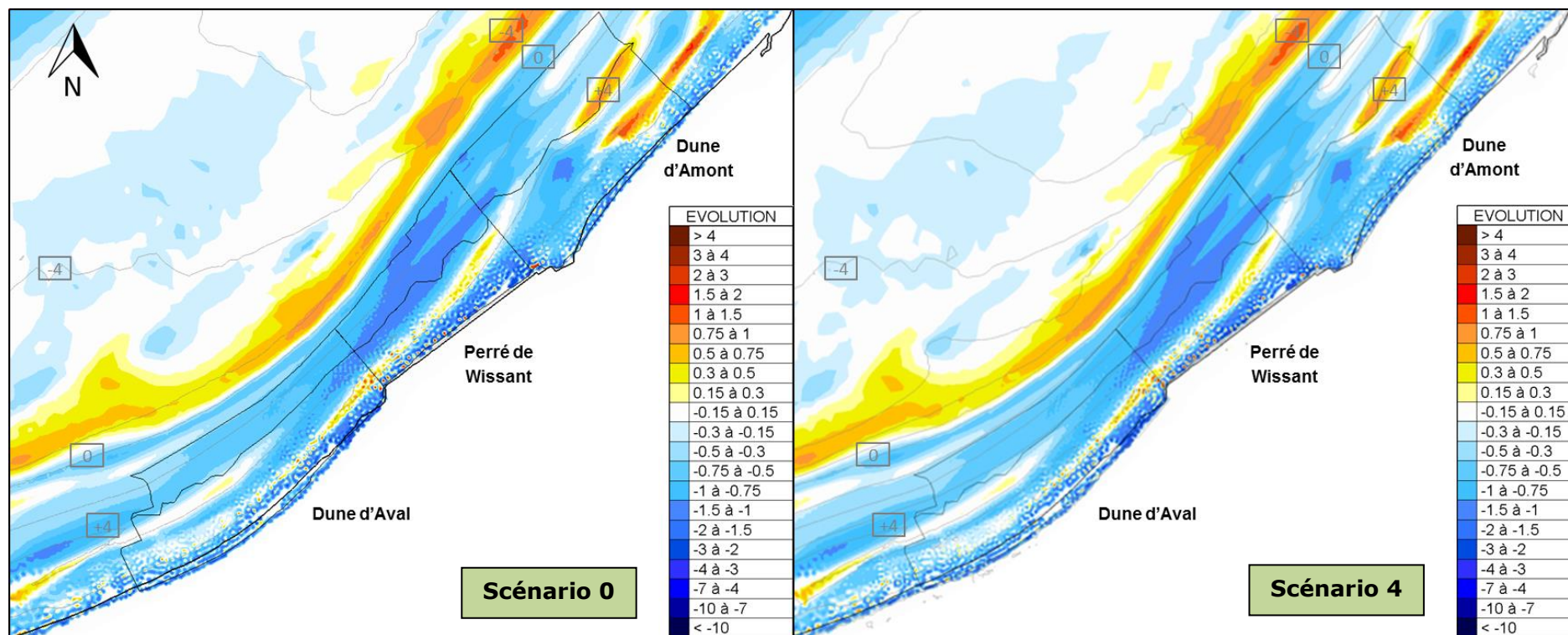


Figure 62: Évolution[m] des fonds à T0+10ans de l'état de référence (Scénario 0 ; gauche) et du Scénario 4 (droite) – Wissant

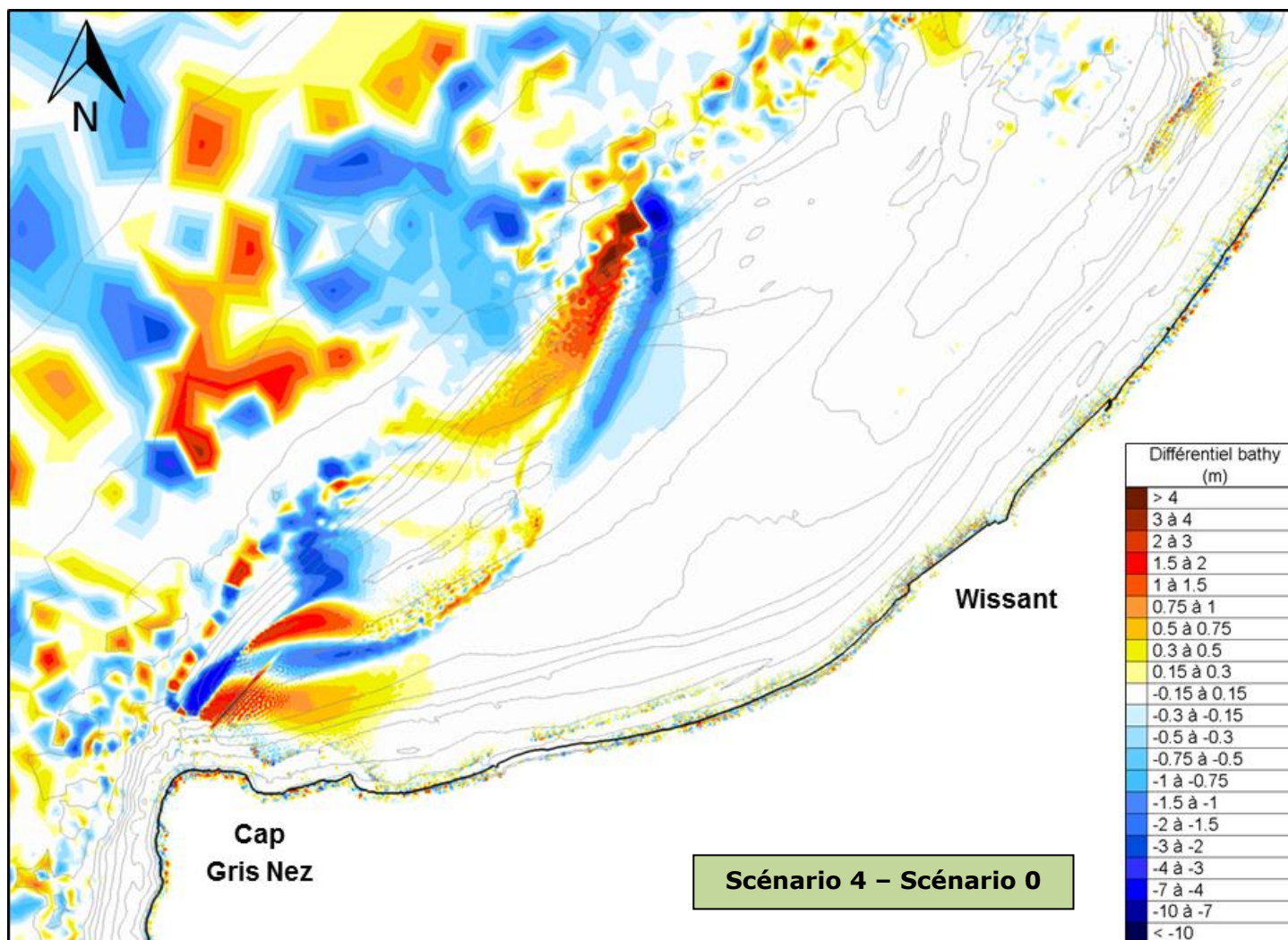


Figure 63 : Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 4 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc4 – BathyFinale-Sc0] – Baie de Wissant et Banc à la ligne

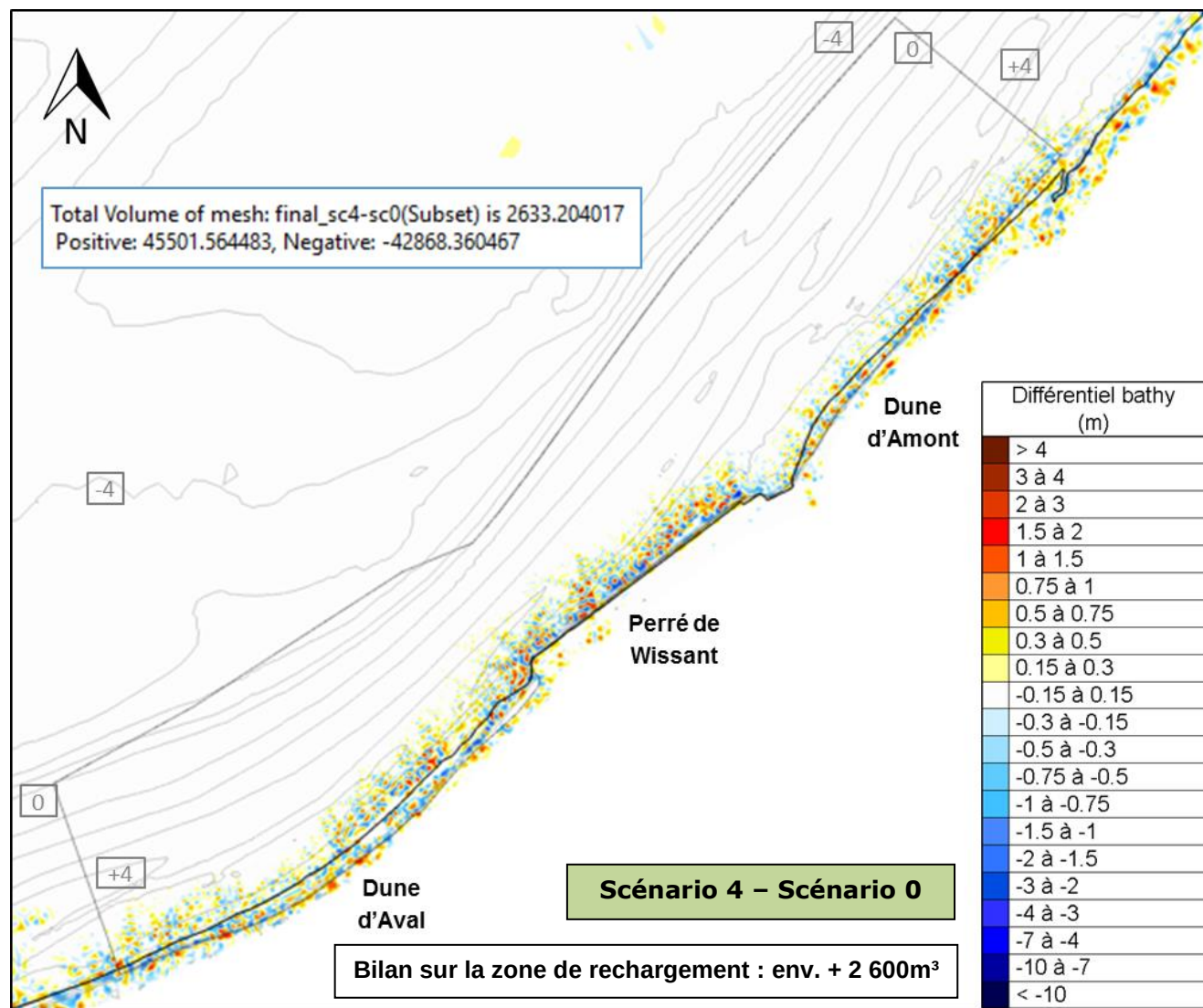


Figure 64 : Différentiel de bathymétrie simulée à T0+10ans entre le Scénario 4 et le Scénario 0 [BathyFinale-Sc4 – BathyFinale-Sc0] – Wissant

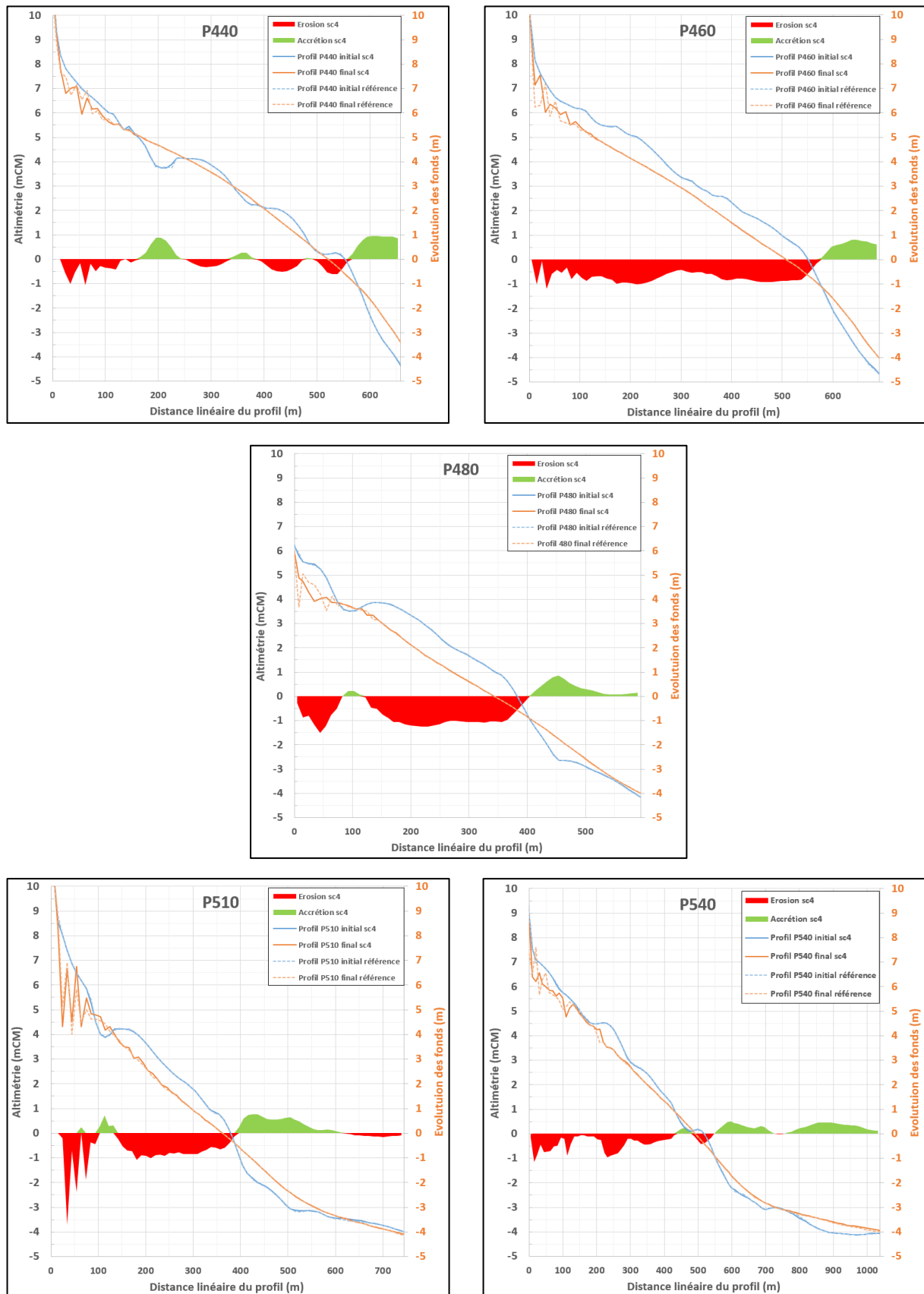


Figure 65 : Évolution de profils transversaux suivis par la DDTM62, simulée sur la période 12/2016-12/2026 pour le Scénario 4 (profils de l'état de référence en pointillés)



- Études générales
- Assistance au Maître d'Ouvrage
- Maîtrise d'œuvre conception
- Maîtrise d'œuvre travaux
- Formation

Egis Siège social
15 Avenue du Centre
CS20538 GUYANCOURT
78286 SAINT QUENTIN EN YVELINES
Tél. : 01 39 41 40 00
<http://www.egis.fr>