

REGION LANGUEDOC ROUSSILLON



PORT-LA NOUVELLE

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

MISSION HYDRO

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE)

RAPPORT N°8713239-HYDRO-R03 – VERSION 04



DATE : JUIN 2015

N°8 713239-HYDRO-R03, Mission de maîtrise d'œuvre p our l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle					
Evaluation des effets du projet sur le littoral (trait de côte) à long terme					
04	Prise en compte Fiche Observation Hydro-sédimentaire Unibest – v2 (18.02.2015)	E. de Croutte	E. de Croutte	O. Meurant	10/06/2015
03	Intégration des calculs avec rechargement des plages	E. de Croutte	E. de Croutte	O. Meurant	02/02/2015
02	Prise en compte Fiche Observation Hydro-sédimentaire Unibest - v0 (24.09.2014)	P.G. Anquetin	E. de Croutte	O. Meurant	29/09/2014
01	Première version	P.G. Anquetin	E. de Croutte	O. Meurant	19/07/2014
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

SOMMAIRE

OBJET – PREAMBULE 1

SYNTHESE ET CONCLUSIONS 2

2. INTRODUCTION 6

2.1. CONTEXTE 6

2.2. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE 6

2.2.1. ETAPES DE MODELISATION 6

2.2.2. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE 7

2.2.2.1. Outil de modélisation 7

2.2.2.2. Déroulement de la modélisation 7

2.2.2.3. Données d'entrée du modèle 7

2.2.2.4. Résultats de modélisation 8

2.2.3. ESTIMATION DES TENDANCES EVOLUTIVES FUTURES DU LITTORAL A L'HORIZON 2100 8

3. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE 9

3.1. CONSTRUCTION DU MODELE 9

3.1.1. EMPRISE ET DISCRETISATION DU MODELE 9

3.1.2. REPRESENTATION DU LITTORAL 9

3.1.3. LES OUVRAGES 10

3.1.4. INTERVENTIONS HUMAINES SUR LE LITTORAL DE L'ETUDE 10

3.1.4.1. Dragages de Port-La Nouvelle 10

3.1.4.2. Dragage de Gruissan/Narbonne-Plage 11

3.1.5. REGIME DES HOULES 11

3.1.6. CONDITIONS DE FORÇAGE AUX FRONTIERES DU MODELE 11

3.1.7. CALCUL DU TRANSIT LITTORAL 11

3.2. ETALONNAGE 13

3.2.1. CRITERES DE CALAGE DU MODELE 13

3.2.1.1. Transit littoral 14

3.2.1.2. Evolutions du littoral sur la période 1992-2011 14

3.2.1.3. Comparaison avec les évolutions passées du trait de côte 16

3.2.2. SIMULATION DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE SUR LA PERIODE 1992-2011 16

3.3. EXPLOITATION DU MODELE 17

3.3.1. EVOLUTION DU TRAIT DE COTE A 20 ANS 17

3.3.2. IMPACT DU PROJET SUR LE LITTORAL A 20 ANS 18

4. ESTIMATION DES TENDANCES EVOLUTIVES FUTURES DU LITTORAL A L'HORIZON 2100 18

4.1. EXTRAPOLATION DES RESULTATS SUR 20 ANS 19

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

4.2. REcul DU TRAIT DE COTE DU AU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE 19

4.3. POSITION DES TRAITS DE COTE A L'HORIZON 2100 AVEC ET SANS LE NOUVEL AMENAGEMENT 19

4.4. EVALUATION DES IMPACTS A LONG TERME DU PROJET SUR LE LITTORAL 19

5. DEVENIR DES PLAGES RECHARGEES ET RISQUES SEDIMENTAIRES 21

5.1. PREALABLE 21

5.2. HYPOTHESES DE RECHARGEMENT DE PLAGE 21

5.3. SIMULATIONS REALISEES 23

5.4. RESULTATS DES SIMULATIONS 24

5.4.1. SIMULATIONS EN L'ETAT ACTUEL DU PORT : SENSIBILITE AUX CARACTERISTIQUES DU SEDIMENT 24

5.4.2. CALCUL 2 AVEC RECHARGEMENT EN SABLE SUR 3 KM AU SUD ET 2,2 KM AU NORD 25

5.4.3. CALCUL 3 AVEC RECHARGEMENT EN SABLE SUR 4 KM AU SUD ET 2,5 KM AU NORD 28

5.4.4. CALCUL 5 AVEC RECHARGEMENT EN SABLE SUR 4 KM AU SUD ET 2,2 KM AU NORD 30

5.4.5. CONCLUSIONS 33

REFERENCES 35

ANNEXE A PRESENTATION DU LOGICIEL UNIBEST CL+ 36

ANNEXE B PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL 37

ANNEXE C FIGURES 38

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

OBJET – PREAMBULE

Dans le cadre de la mission de Maitrise d'Œuvre pour l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle, la mission HYDRO- 3D a pour objectif d'étudier les processus hydro-sédimentaires du milieu côtier environnant et l'impact du projet sur ceux-là.

Des études complémentaires à la mission HYDRO-3D, ont été réalisées ou sont en cours pour répondre aux attentes de la DREAL comme établies lors des réunions du 07 Janvier et du 14 Mai 2013.

Ces études ont pour objet d'estimer les impacts du projet d'extension :

- sur le littoral à l'échelle des vingt prochaines années et à l'horizon 2100 en intégrant les effets du changement climatique,
- sur les fonds marins sur une période significative.

Pour ce qui concerne les évolutions morphodynamiques, on est amené à dissocier :

- les évolutions du rivage (dans la zone de déferlement) pour lesquelles seules les évolutions à long terme liées au gradient de transit littoral sont schématisées (évolutions saisonnières du profil non reproduites) : ces évolutions du trait de côte sont traitées au moyen d'un modèle unidimensionnel mis en œuvre au moyen du logiciel UNIBEST-CL+ ;
- les évolutions morphologiques des fonds marins au large de la zone de déferlement qui sont reproduites par un modèle tridimensionnel développé au moyen du logiciel TELEMAC-3D.

Ce rapport présente les aspects relatifs à l'étude de l'évolution du littoral.

La première phase d'exploitation du modèle a permis d'examiner l'évolution du trait de côte à 20 ans (en partant du trait de côte de 2011) :

- dans la situation de référence sans aménagement,
- puis après introduction du projet portuaire de Port-La Nouvelle dans le modèle.

Ces résultats ont été présentés dans la version V1 du présent rapport (Juillet 2014).

Afin de regarder la possibilité de réutilisation maximale des sables (provenant des dragages des futurs bassins portuaires) sur les plages nord et sud de Port-La Nouvelle, de nouvelles simulations ont été menées dans un deuxième temps en considérant plusieurs scénarios de rechargement (volumes et caractéristiques granulométriques des sables rapportés).

Les résultats de ces scénarios de rechargement sont présentés dans la présente version du rapport.

oOo

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Le but de la présente étude est d'examiner l'impact du projet sur le littoral, sur le long terme.

La méthodologie générale adoptée pour cette modélisation comprend les deux étapes principales suivantes :

- **Etape 1** : la mise en œuvre d'une modélisation numérique de l'évolution du trait de côte qui, une fois calée et validée, a permis d'étudier les évolutions futures du littoral sur 20 ans (soit jusqu'en 2030) pour la situation sans projet (référence) et avec projet,
- **Etape 2** : l'estimation des tendances évolutives futures du littoral à l'horizon 2100 par extrapolation des évolutions sur 20 ans en intégrant les effets du réchauffement climatique, cela tant pour la configuration de référence que pour la configuration projet.

L'objectif est de comparer les tendances évolutives futures obtenues, sur les 20 prochaines années et à l'horizon 2100, avec et sans projet afin de déterminer les impacts du projet sur le littoral.

Modélisation de l'évolution du trait de côte – Préparation du modèle

La modélisation numérique de l'évolution du littoral (trait de côte) sur le long terme a été réalisée avec le logiciel UNIBEST – CL+ (UNiform Beach Sediment Transport- CoastLine) développé par Deltares Systems. Ce logiciel permet de calculer l'évolution pluriannuelle du trait de côte générée par les gradients du transport sédimentaire littoral. Le modèle couvre les 30 km du linéaire côtier de la cellule littorale qui s'étend du Cap Leucate au Sud-Ouest, à Narbonne Plage au Nord-Est. Il est discrétisé en cellule de 100 m. Le pas de temps de calcul est de 1 jour. La préparation du modèle nécessite la définition des paramètres suivants :

- **Le régime des houles à la côte** au droit des secteurs étudiés ;
- **Les profils de plage et la hauteur active** (hauteur totale du profil sur laquelle s'opèrent les mouvements sédimentaires) ;
- **La granulométrie des sédiments** (diamètre médian) ;
- **Les paramètres relatifs à la formule de calcul du transit littoral** (transport de sable) ;
- **La position initiale du trait de côte** ;
- **La position et la géométrie des structures littorales**, et la nature **des interventions humaines** (rechargements et/ou extractions de sédiments) ;
- **Les conditions aux frontières du modèle d'évolution du littoral** (ex : trait de côte fixé, condition sur le débit solide,...).

L'étalonnage du modèle a ensuite été réalisé par la méthode dite « historique ». Elle consiste à régler les paramètres du modèle afin d'obtenir une bonne concordance entre les évolutions passées prédites par le modèle et les évolutions passées observées en nature. L'étalonnage a été réalisé sur **la période allant de 1992 à 2011**. Il a été vérifié que :

- l'évolution du transit le long du littoral calculé par le modèle était conforme aux critères fixés (déduits de l'analyse des données « naturelles ») en termes d'orientation et d'intensité du transit ;
- Les tendances évolutives observées en nature sont reproduites correctement par le modèle, notamment (en parcourant le littoral du Sud vers le Nord) :
 - le recul du littoral au Nord du Cap Leucate s'atténuant à 3 km environ au Nord du Cap,
 - la quasi-stabilité du littoral au Sud de Port-La Nouvelle,
 - les érosions locales de part et d'autre des ouvrages de Port-La Nouvelle ; celles-ci sont en particulier bien schématisée dans la modélisation,

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

- la tendance moyenne de recul du trait de côte qui s'établit à une valeur de l'ordre de -0,9 à -1 m/an à 2 km au Nord de Port-La Nouvelle.

Exploitation du modèle d'évolution du trait de côte

Le modèle ainsi préparé a ensuite été exploité (réalisation de deux calculs en partant du trait de côte de 2011) pour examiner l'évolution du trait de côte à 20 ans dans la situation de référence sans aménagement, puis après introduction du projet portuaire de Port-La Nouvelle dans le modèle. Les modélisations réalisées sans, puis avec aménagement, prennent en compte le dragage d'un volume de 50 000 m³/an des matériaux d'origine sableuse aux abords, dans la passe et dans le chenal d'entrée du port.

La comparaison des simulations sans, puis avec aménagement (extension du port), permet d'estimer l'impact du projet sur le littoral à 20 ans.

Cette comparaison montre que l'impact de l'aménagement du port est limité au Nord immédiat de la nouvelle digue Nord sur environ 2 km. Le taux de recul maximal sur ce secteur de l'ordre de -1,5 m/an dans la situation avant aménagement passe à -2,5 m/an en présence de l'aménagement. Le recul maximal de l'ordre de 30 m sur 20 ans dans la situation actuelle atteint ainsi 50 m en présence du nouvel aménagement.

En dehors de ce secteur, les évolutions sont analogues sur l'ensemble du domaine d'étude, dans la situation sans et avec le nouvel aménagement.

Au Sud immédiat du port, le recul du trait de côte est de l'ordre de -0,75 m/an donc de 15 m environ à 20 ans dans la situation sans le nouvel aménagement comme dans la situation avec l'extension portuaire. En effet, compte tenu du caractère très frontal du climat des houles, le littoral ne bénéficie que très localement de l'abri offert par l'extension portuaire (par effet de diffraction) et les départs de sédiments dans le profil le long de la digue conduisent à maintenir, en présence du nouvel aménagement, le processus d'érosion du littoral comme dans la situation actuelle.

Estimation des tendances évolutives futures du littoral à l'horizon 2100

Comme évoquées précédemment, celles-ci ont été estimées en extrapolant à 100 ans les résultats de la modélisation à 20 ans et en rajoutant le recul du trait de côte estimé du fait des effets du réchauffement climatique.

Ce recul a été estimé au moyen de la règle de Bruun en considérant une élévation du niveau de la mer de 0,6 m (hypothèse pessimiste définie par l'ONERC). Cette règle consiste à dire que l'élévation du niveau de la mer se produisant lentement, la plage et le cordon littoral (partie supérieure de la plage) vont s'adapter au fur et à mesure de l'élévation du niveau. En pratique pour le littoral au Sud et au Nord du port :

- Le littoral va reculer et la partie supérieure de la plage va s'élever de la même manière que le niveau de la mer ;
- Le profil de plage va se traduire vers l'intérieur des terres et se modifier avec un transfert des sables des petits fonds et de la plage vers les fonds plus importants et ce jusqu'à la profondeur de fermeture des houles (profondeur d'action limite des houles, c'est-à-dire la profondeur au-delà de laquelle les transports sédimentaires dus aux houles sont nuls ou négligeables).

Ceci a conduit à estimer le recul du trait de côte dû au réchauffement climatique de l'ordre de 70 m.

La comparaison de la position du trait de côte à l'horizon 2100 dans les cas sans et avec le nouvel avant-port a permis d'estimer l'impact du projet sur le littoral à cette échéance. **La comparaison montre que l'impact de l'aménagement du port est limité au Nord immédiat de la nouvelle digue Nord sur environ 2 km. Le taux de recul qui atteint -1,25 à -1,50 m/an sur 500 à 1000 m au Nord de la position de la future digue Nord dans la situation avant aménagement passe à -1,75 m/an en présence de celle-ci ;** soit un impact du nouvel aménagement qui se traduit par une augmentation locale du taux de recul annuel de -0,25 à -0,50 m/an. **Ainsi, sans prise en compte des effets du réchauffement climatique, le recul maximal de l'ordre de 150 m sur 100 ans dans la situation actuelle atteint à 175 m en présence de l'aménagement. En intégrant**

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

les effets du réchauffement climatique, le recul maximal qui serait de 220 m dans la situation actuelle de l'aménagement passerait à 245 m en présence du nouvel aménagement.

En dehors de ce secteur, les évolutions sont analogues sur l'ensemble du domaine d'étude dans la situation sans et avec le nouvel aménagement.

On notera que le recul du trait de côte à l'horizon 2100 au Nord du port menace les installations du dépôt pétrolier de Port-La Nouvelle dans la configuration portuaire actuelle sans le nouvel aménagement. En effet, une distance réduite à 30 m environ sépare l'enclôture du dépôt, du trait de côte à 100 ans. Avec le nouvel aménagement, ces installations étant situées dans l'emprise de la nouvelle extension portuaire, celle-ci les protégera de l'érosion du littoral.

Au Sud immédiat du port (contre la digue), le taux de recul moyen à long terme (horizon 2100) est de l'ordre de -0,5 m/an dans les deux situations : sans et avec le nouvel aménagement ; le taux de recul tend à diminuer dans le temps. Comme décrit précédemment, l'abri offert par l'extension portuaire ne permet pas, du fait du caractère frontal du climat des houles, de compenser les départs de sédiments dans le profil et l'érosion qu'ils génèrent. Le recul maximal du trait de côte atteint ainsi 50 m sans prise en compte des effets du réchauffement climatique et 120 m en intégrant le recul dû à la surélévation du niveau de la mer. Dans ces conditions, le recul du littoral atteindrait la zone urbanisée au Sud du port (que ce soit sans ou avec le nouvel aménagement) à l'horizon 2100 ; le trait de côte se situerait alors jusqu'à une distance de 70 m au maximum, en retrait des constructions du front de mer actuel.

Simulations des possibilités de rechargement des plages : devenir et risques sédimentaires

Les résultats des simulations, visant à examiner la possibilité de réutilisation maximale des sables (provenant des dragages des futurs bassins portuaires) sur les plages nord et sud de Port-La Nouvelle, montrent que les zones d'impact du projet (digues et rechargement) varient selon les cas de rechargement (étalement des sables rapportés) :

- Entre 4 et 4,5 km au Nord de la nouvelle jetée Nord,
- Entre 4,5 et 6 km au Sud de la jetée Sud.

L'étalement est d'autant plus grand que les caractéristiques granulométriques du sable rapporté sont basses.

Il n'y a pas d'impact du projet en dehors des zones d'étalement des sables rapportés.

Au Nord de la nouvelle jetée Nord, dans la zone où la plage a été "artificiellement" avancée de 200 m, la perte de largeur de la plage est significative : comprise entre 50 et 80 m au terme des 20 ans de la simulation) ; une partie des sédiments est étalée vers le Nord, une autre partie vers le large (pertes dans le profil). Ces sédiments sont descendus dans les petits fonds et pourraient à terme augmenter le volume de sable participant à la sédimentation des accès du nouveau port.

Au Nord de cette zone, les sables rapportés s'étalent jusqu'au grau de la Vieille-Nouvelle et le débordent dans certaines conditions de rechargement ; la tendance évolutive dans cette zone reste toutefois à l'érosion sur les 20 ans de la simulation, avec des taux significativement plus faibles qu'actuellement.

Au Sud, où les enjeux sont plus limités, l'étalement des sables est significatif. Les tendances érosives subsistent avec des taux légèrement plus élevés lorsque le sable d'apport est fin. L'évolution de la plage rechargée ne devrait pas contribuer à majorer significativement les apports sableux dans le futur chenal d'accès.

Au regard de ce qui précède, pour limiter les impacts sur le Grau de la Vieille-Nouvelle (colmatage ?) et les risques portuaires (sédimentation), et bien que les simulations réalisées aient

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

montré que ceux-ci sont faibles, nous préconisons (pour autant que les volumes soient réellement disponibles) les rechargements maximaux de plage suivants :

A. Littoral Nord :

Apport de 2,5 millions m³ (sables les plus grossiers parmi ceux disponibles) sur un linéaire de 1 500 m :

- Avancée de 200 m sur les 750 premiers mètres (les distances sont comptées depuis l'enracinement de la future jetée Nord) : apport d'environ 1,8 millions m³,
- Avancée de 100 m sur les 500 m suivants : apport d'environ 0,6 million m³,
- Avancée de 50 m sur les 250 m suivants : apport d'environ 0,1 million m³.

B. Littoral Sud :

Apport de 3,6 millions m³ sur un linéaire de 4 000 m

- Avancée de 100 m sur les 2 000 premiers mètres : apport de 2,4 millions m³,
- Avancée de 50 m sur les 2 000 m suivants : apport de 1,2 million m³.

Au Sud, au regard des enjeux, le linéaire à « protéger » (linéaire urbanisé) se limite à environ 1 000 m seulement. L'hypothèse mentionnée ci-dessus est donc très maximaliste au regard des enjeux et doit plutôt être considérée comme un « stockage à titre temporaire » des sédiments.

Ces propositions de rechargements maximaux ne prennent en compte que les aspects hydro-sédimentaires de ces opérations. D'autres aspects environnementaux ou économiques peuvent aussi influencer sur le choix final.

oOo

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

2. INTRODUCTION

2.1. CONTEXTE

Dans le cadre de la mission HYDRO-3D, une étude complémentaire est prévue pour estimer les impacts du projet d'extension sur le littoral à l'échelle des vingt prochaines années et à l'horizon 2100 en intégrant les effets du changement climatique.

2.2. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

2.2.1. Etapes de modélisation

Le but de la modélisation est d'examiner l'impact du projet sur le littoral, sur le long terme.

La méthodologie générale adoptée pour cette modélisation comprend les deux étapes principales suivantes :

- **Etape 1** : la mise en œuvre de la modélisation de l'évolution du trait de côte au moyen du logiciel UNIBEST-CL+ (voir description du logiciel en annexe A) qui, une fois calée et validée, permettra d'étudier les évolutions futures du littoral sur 20 ans (soit jusqu'en 2030) pour la situation sans projet (référence) et la situation avec projet,
- **Etape 2** : Estimation des tendances évolutives futures du littoral à l'horizon 2100 par extrapolation des évolutions sur 20 ans en intégrant les effets du réchauffement climatique, cela tant pour la configuration de référence que pour la configuration projet. La méthodologie proposée pour prendre en compte les effets du changement climatique sur l'évolution du trait de côte est détaillée en Annexe B.

L'objectif est de comparer les tendances évolutives futures obtenues, sur les 20 prochaines années et à l'horizon 2100, avec et sans projet afin de déterminer les impacts du projet sur le littoral. Cela permet de :

- déterminer l'étendue de la zone d'impact (linéaire affecté),
- préciser la nature des impacts (accrétion, érosion), et
- quantifier ceux-ci (taux d'évolution).

En fonction des impacts à long terme du projet, des mesures d'accompagnement peuvent être définies : par exemple, celles-ci peuvent être un programme de rechargement des plages et petits fonds, le by-pass de sable de part et d'autre du port, etc. Ces mesures peuvent ensuite être évaluées à l'aide du modèle.

Les limitations associées à cette méthodologie sont les suivantes :

- Dans l'état actuel des connaissances, les modifications des phénomènes physiques globaux et locaux dues au réchauffement climatique et leurs effets sont incertaines ;
- Dans l'hypothèse où les surcotes liées aux tempêtes restent inchangées à l'horizon 2100 (cf. Annexe B), étant donné que la hauteur relative entre le niveau des plages et de la mer reste inchangée (cf. modèle de Bruun) la fréquence de la submersion de l'arrière plage ne devrait pas être modifiée. En revanche, les volumes de submersion le seront puisque le niveau de l'arrière plage restera a priori inchangé ; ceci pourra entraîner des temps de reconstitution des plages plus longs que ceux observés actuellement, leur estimation dépassant le cadre des méthodologies proposées.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

2.2.2. Modélisation de l'évolution du trait de côte

2.2.2.1. Outil de modélisation

L'évolution du littoral (trait de côte) sur le long terme a été étudiée au moyen d'une modélisation numérique mise en œuvre avec le logiciel UNIBEST – CL+ (UNiform Beach Sediment Transport-CoastLine) développé par Deltares Systems. Ce logiciel permet de calculer l'évolution pluriannuelle du trait de côte engendrée par les gradients du transport sédimentaire littoral.

Pour prédire l'évolution du trait de côte à différentes échéances, le logiciel tient compte des modifications spatiales et temporelles du transport solide parallèle au rivage et des structures littorales. Ce modèle est unidimensionnel : seul le trait de côte est utilisé pour représenter l'évolution de la plage, l'hypothèse de base étant que, sur le moyen / long terme (les modifications saisonnières étant filtrées), le profil de plage se déplace par translation sans modification, selon les processus d'érosion ou d'engraissement.

Ainsi, l'évolution du trait de côte est calculée en fonction :

- de la distribution du transport solide le long du littoral, dépendante des variations locales des conditions de houle (hauteur, période, direction),
- des apports de matériaux éventuels naturels (cours d'eau) ou artificiels (rechargements), et/ou des extractions de sédiments naturelles (pertes dans le profil) ou artificielles (prélèvements sur le littoral),
- de la présence d'ouvrages côtiers constituant des obstacles au transport sédimentaire (épis, brise-lames, jetées portuaires) ou limitant l'évolution du trait de côte (fronts de mer).

2.2.2.2. Déroulement de la modélisation

La mise en œuvre de cette modélisation comprend les phases suivantes :

- 1) la synthèse des données nécessaires à la construction des modèles et à la définition des critères d'étalonnage ; cette synthèse a été effectuée à partir des données bibliographiques disponibles et fait l'objet du rapport ARTELIA (2013a). Les points clés sont présentés ci-après (voir §3.2.1) ;
- 2) la construction du modèle du modèle proprement dite : définition de l'emprise, d'une ligne de référence (à partir de laquelle seront calculées les positions du trait de côte), de la taille des cellules de calcul (maillage), du trait de côte initial, des structures littorales, et plus généralement de l'ensemble des paramètres à considérer par cellule ou par lot de cellules ;
- 3) l'étalonnage du modèle par la méthode dite « historique ». Elle consiste à régler les paramètres du modèle afin d'obtenir une bonne concordance entre les évolutions passées prédites par le modèle et les évolutions passées observées en nature. L'étalonnage a été réalisé sur la période allant de 1992 à 2011 ;
- 4) l'exploitation du modèle pour étudier les évolutions futures du littoral sur 20 ans pour la situation sans projet et la situation avec projet.

2.2.2.3. Données d'entrée du modèle

Outre les évolutions observées en nature, utilisées pour étalonner le modèle, sur une période suffisamment longue pour s'affranchir des erreurs inhérentes à la qualité des photographies/images « supports » et aux imprécisions, les données d'entrée sont les suivantes :

- **Le régime des houles à la côte** au droit des secteurs étudiés ;
- **Les profils de plage et la hauteur active** (hauteur totale du profil sur laquelle s'opèrent les mouvements, c'est-à-dire la partie comprise entre la limite haute d'action de la houle située au-dessus du niveau moyen de l'eau et la limite d'action de la houle sur les fonds) ;
- **La granulométrie des sédiments** (diamètre médian) ;

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

- **Les paramètres relatifs à la formule de calcul du transit littoral** (transport de sable) ;
- **La position initiale du trait de côte** ;
- **La position et la géométrie des structures littorales**, et la nature **des interventions humaines** (rechargements et/ou extractions de sédiments) ;
- **Les conditions aux frontières du modèle d'évolution du littoral** (ex : trait de côte fixé, condition sur le débit solide,...).

Ces données d'entrée sont détaillées au chapitre suivant.

2.2.2.4. Résultats de modélisation

Les résultats des différents calculs d'évolution (étalonnage et exploitation) sont présentés sous la forme de graphiques indiquant, sur le linéaire étudié, le transit littoral et l'évolution du trait de côte, et de figures faisant apparaître les différentes positions du trait de côte (initial, trait de côte cible et trait de côte final modèle).

2.2.3. Estimation des tendances évolutives futures du littoral à l'horizon 2100

Les évolutions du littoral à l'échelle séculaire doivent prendre en compte les effets de l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique. Il n'existe pas de modèles numériques permettant d'évaluer les effets de l'élévation du niveau de la mer sur l'évolution du trait de côte. Toutefois, le littoral situé au voisinage de Port-La Nouvelle étant soumis à un transit littoral très faible, l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur l'évolution du trait de côte peut être évalué à l'aide de la règle de Bruun (« Sea level rise as a cause of shore erosion » Journal of Water. Harb. Vol 88 pp 117-130).

Cette règle consiste à dire que l'élévation du niveau de la mer se produisant lentement, la plage et le cordon littoral (partie supérieure de la plage) vont s'adapter au fur et à mesure de l'élévation du niveau. En pratique pour le littoral au Sud et au Nord du port :

- Le littoral va reculer et la partie supérieure de la plage va s'élever de la même manière que le niveau de la mer. En effet la hauteur entre le niveau moyen de la mer et la partie supérieure de la plage restera constante car cette dernière est formée par le phénomène de « swash » (remontée des vagues sur la plage) lequel reste constant au cours du temps du fait que le régime des houles reste inchangé.
- Le profil de plage va se translater vers l'intérieur des terres et se modifier avec un transfert des sables des petits fonds et de la plage vers les fonds plus importants et ce jusqu'à la profondeur de fermeture des houles (profondeur d'action limite des houles, c'est-à-dire la profondeur au-delà de laquelle les transports sédimentaires dus aux houles sont nuls ou négligeables).

La méthodologie basée sur cette approche est détaillée dans la note présentée en Annexe B.

Ainsi, pour estimer les tendances évolutives futures du littoral à l'horizon 2100 en intégrant les effets du réchauffement climatique, la méthodologie suivante a été mise en œuvre :

- Définition de la position du trait de côte à l'horizon 2100 (sans prise en compte de l'élévation du niveau de la mer) par extrapolation des résultats sur 20 ans avec et sans aménagement obtenus à l'aide du modèle UNIBEST, comme cela est fait dans le cadre des PPRL ;
- Ajout à cette position extrapolée du recul du trait de côte dû à l'impact de l'élévation du niveau de la mer évalué selon la méthode de Bruun telle que décrite dans l'Annexe B ;

Ceci permet d'évaluer les positions du trait de côte à l'échéance 2100 avec et sans le projet et d'en déduire une tendance concernant l'impact du projet incluant la surélévation liée au changement climatique.

3. MODELISATION DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

3.1. CONSTRUCTION DU MODELE

3.1.1. Emprise et discrétisation du modèle

Le modèle couvre les 30 km du linéaire côtier de la frange littorale qui s'étend du Cap Leucate au Sud-Ouest, à Narbonne Plage au Nord-Est (Figure 1). Il est discrétisé en cellules de 100 m. Le pas de temps de calcul est de 1 jour.

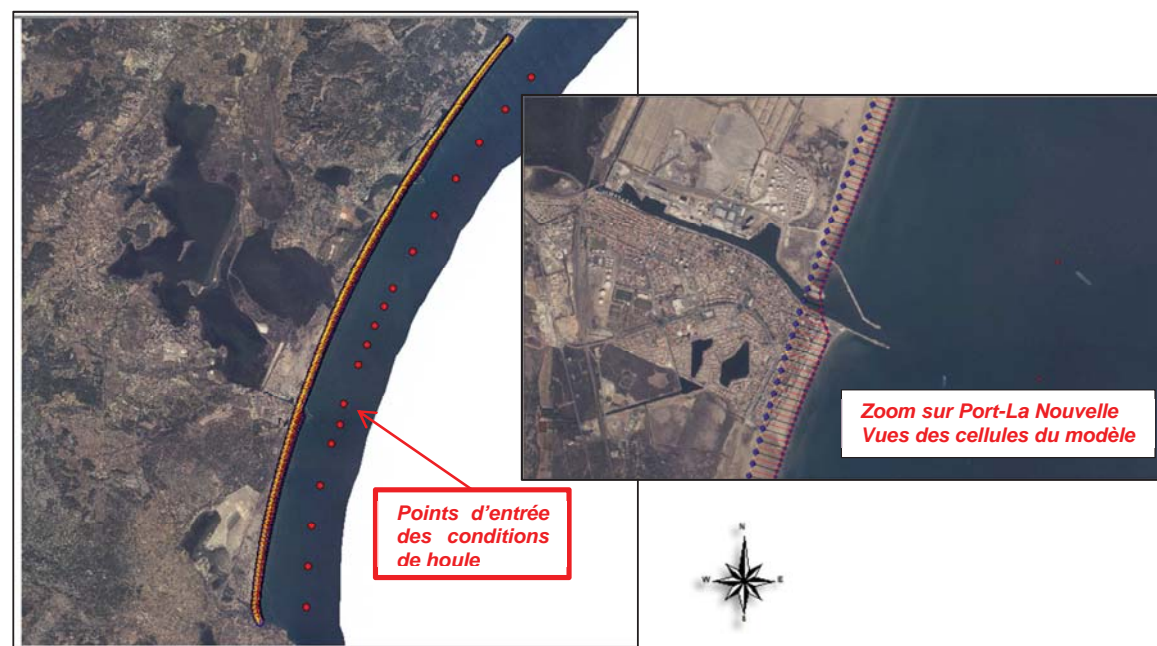


Figure 1 : Emprise du modèle d'évolution du trait de côte

3.1.2. Représentation du littoral

Le trait de côte initial a été modélisé à partir des travaux de photo-interprétation des photographies aériennes de la mission IGN 1992_FD11_P_25000 (Aude).

La configuration des fonds a été schématisée à partir du levé LIDAR de 2011 mis à disposition par la DREAL. Elle a été représentée sur le modèle par 17 profils (exemple Figure 2) sur lesquels la propagation de la houle (avec les effets de la réfraction et du déferlement) et la distribution du transit littoral sont calculées. Les profils couvrent la plage émergée et les petits fonds entre +1/+2 et -13/-15 m IGN69.

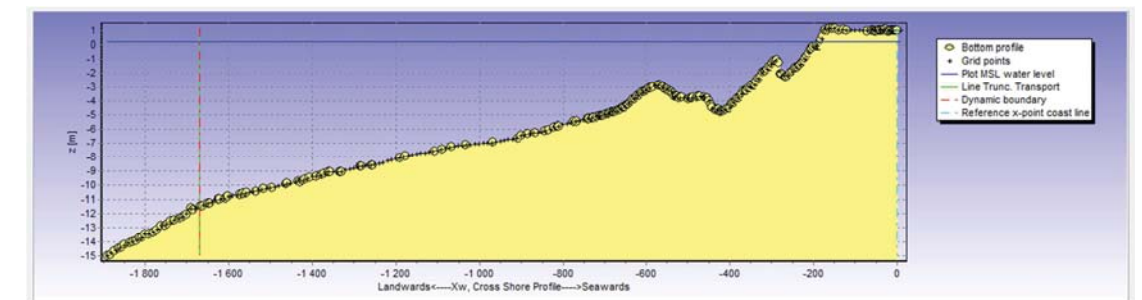


Figure 2 : Schématisation du profil des fonds (ex : cellule P140)

La couverture sédimentaire (granulométrie des sédiments) est issue des résultats des campagnes déjà réalisées dans la Région du Languedoc-Roussillon et des résultats des analyses granulométriques réalisées dans le cadre de la mission HYDRO 3D. Ainsi, le sédiment modélisé est caractérisé par un diamètre médian $D_{50} = 0,20$ mm et un D_{90} de 0,25 mm.

Une hauteur active de l'ordre de 12 m a été considérée entre le haut de plage s'établissant à la cote de +1 à +2 m IGN69 et la profondeur de fermeture estimée, d'après les éléments de la revue bibliographique des études hydro-sédimentaires faites dans la région, notamment d'après Durand (1999) à -10/-11 m IGN69.

3.1.3. Les ouvrages

Les digues portuaires existantes de Port-La Nouvelle et de Gruissan sont introduites dans le modèle. Les digues de calibrage des graus de la Vieille Nouvelle, de l'étang de Gruissan et de l'étang de Mateille ayant peu d'impact sur l'évolution du trait de côte, n'ont pas été reproduites dans le modèle.

3.1.4. Interventions humaines sur le littoral de l'étude

Les interventions principales sont les suivantes :

- les dragages d'entretien du port de Port-La Nouvelle ;
- les dragages réalisés par les ports de Gruissan et de Narbonne-Plage.

3.1.4.1. Dragages de Port-La Nouvelle

D'après les informations recensées dans la revue bibliographique des études hydro-sédimentaires faites dans la région (cf. Artelia, 2013a), les dragages des sables d'origine marine sont les suivants :

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

Tableau 1. Port de Port- La Nouvelle - Estimation des volumes de dragage de sable marin

Localisation des dragages	Volume annuel dragué (m³/an)	Fraction sable (%)	Volume annuel dragué des sédiments d'origine marine (m³/an)
Chenal aval	25 000	40%	10 000
Bassin d'amortissement	4 000	40%	1 600
Passe et chenal d'accès	49 000	75%	36 750
Total	78 000		48 350

Ces matériaux dragués sont ensuite clapés en mer au large de Port-La Nouvelle par fonds supérieurs à 20 m. Ces matériaux sont donc extraits de la dynamique sédimentaire de la bordure littorale. Ces extractions doivent être prises en compte dans la modélisation des transports de sable et de l'évolution du trait de côte. Un volume de l'ordre de 50 000 m³/an correspondant à la fraction sableuse d'origine marine, a été pris en compte dans la modélisation.

3.1.4.2. Dragage de Gruissan/Narbonne-Plage

D'après les informations indiquées par la Direction des Travaux du Port de Gruissan, des dragages d'entretien sont réalisés régulièrement dans les passes d'entrée des ports de Gruissan et Narbonne-Plage ainsi que dans les débouchés des étangs. Les volumes dragués sont de l'ordre de quelques milliers de m³ à une fréquence pluriannuelle. Les matériaux dragués sont ensuite rejetés sur la plage adjacente. Ces matériaux ne sont donc pas soustraits à la dynamique sédimentaire littorale et compte tenu de leur faible importance, ils n'ont pas été pris en compte dans la modélisation.

3.1.5. Régime des houles

Le régime des houles à la côte a été établi au droit des secteurs étudiés suivant deux étapes :

- Transfert des conditions de houle vers la côte pour reconstituer la série chronologique des états de mer sur site sur la période de 1992 à 2011 (20 ans) ; le transfert des houles a été réalisé au moyen du logiciel SWAN (cf. ARTELIA, 2013b) et a permis de définir les conditions en 17 points le long du littoral, le long du l'isobathe -15 m IGN69 ;
- En chacun des points de sortie du modèle SWAN, schématisation du climat annuel de houle par quelques conditions de houles équivalentes correspondant à des triplets hauteur, direction et période de la houle, avec leur occurrence associée ;

Le tableau de la figure C1 (annexe C) présente les climats de houle schématisés et reproduits dans la modélisation du trait de côte au niveau de ces 17 points.

3.1.6. Conditions de forçage aux frontières du modèle

Les transits littoraux entrant et sortant aux limites du modèle, au niveau du Cap Leucate et de Narbonne Plage, ont été définis sur la base de la revue bibliographique des études hydro-sédimentaires faites dans la région (ex : Durand 1999) et ajustés lors de la phase d'étalonnage de l'étude.

3.1.7. Calcul du transit littoral

Le transit littoral annuel et sa distribution le long de chaque profil des fonds sont calculés :

- à partir des conditions de houle à la côte établies au droit de chacun des profils et,
- en fonction de l'orientation locale du littoral qui évolue en fonction du temps au cours de la simulation (selon les avancées et les reculs du trait de côte).

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

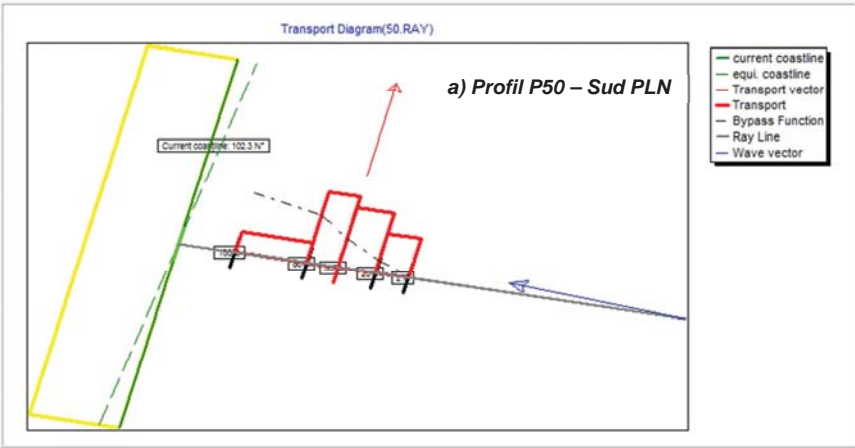
La Figure 3 présente l'incidence moyenne des houles et l'orientation du transit littoral calculées par le modèle.



Figure 3 : Modèle Unibest-CL+ - Incidence moyenne de la houle et orientation du transit littoral

Le transit littoral est calculé au moyen de la formulation de transport solide de Soulsby/Van Rijn avec un coefficient de calibration de 0,25 (suite à l'étalonnage du modèle).

La Figure 4 illustre l'orientation du transit littoral et sa distribution le long du profil des fonds calculées par le modèle, pour deux profils localisés au Sud et au Nord de Port-La Nouvelle, respectivement.



MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

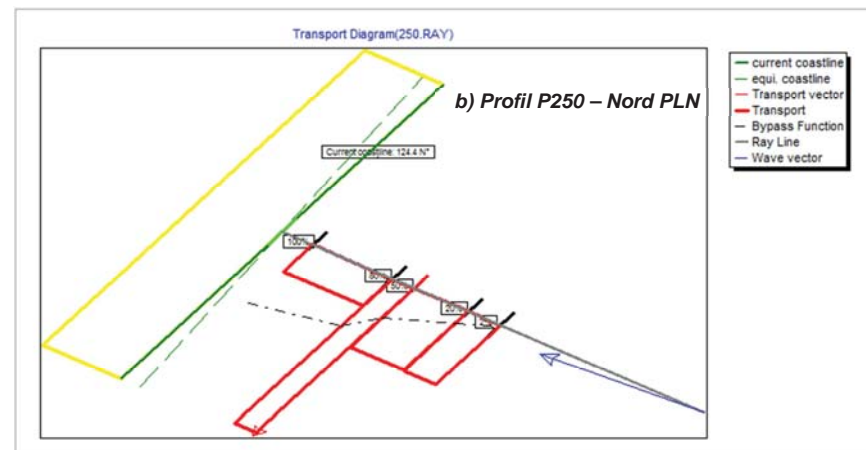


Figure 4 : Transit littoral - Orientation et répartition le long du profil des fonds (exemples)

La figure suivante présente la variation du transit en fonction de l'orientation locale que prend le littoral lorsqu'il évolue, sur deux profils localisés au Sud et au Nord de Port-La Nouvelle, respectivement.

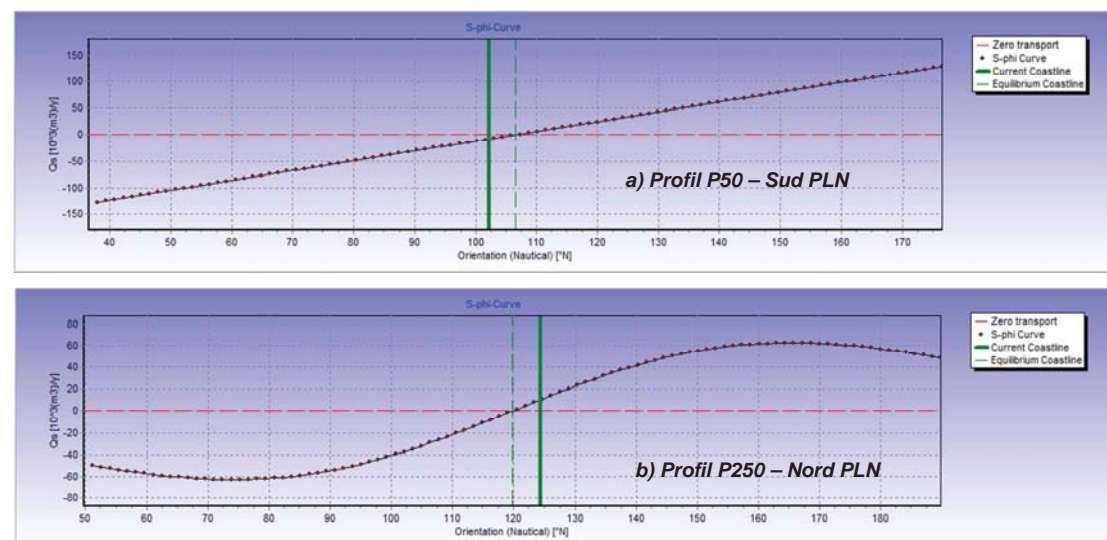


Figure 5 : Variation du transit littoral en fonction de l'orientation du trait de côte (exemples)

3.2. ETALONNAGE

L'étalonnage consiste à mettre au point par des ajustements successifs les coefficients du transport littoral, les caractéristiques des ouvrages et/ou interventions humaines, le cycle annuel de houles qui schématise la succession des houles en hauteur, période et direction de provenance, observées dans une année moyenne et les pertes dans le profil pour reproduire les évolutions connues et passées du trait de côte. L'étalonnage a été réalisé sur la période 1992-2011.

Les figures présentant les résultats de l'étalonnage du modèle sont rassemblées à l'Annexe C.

3.2.1. Critères de calage du modèle

L'étalonnage du modèle nécessite de définir les critères de calage en termes :

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

- d'intensité et de direction du transit littoral variables le long du linéaire considéré,
- d'évolutions du littoral,
- d'interventions humaines sur le littoral de l'étude.

Ces éléments ont été définis à partir de la revue bibliographique des études hydro-sédimentaires faites dans la région (cf. Artelia, 2013a). Les éléments principaux constituant les critères de réglage du modèle d'évolution du trait de côte sont présentés ci-dessous.

3.2.1.1. Transit littoral

Les éléments relatifs au transit littoral sur lesquels s'est appuyé l'étalonnage du modèle, sont les suivants :

- orientation du transit littoral :
 - du Sud au Nord, de Cap Leucate jusqu'au point d'inversion de la dérive littorale situé aux alentours du grau de la Vieille Nouvelle ; la position de ce point d'inversion fluctue le long du littoral comme en témoignent les diverses configurations de ce débouché ouvert alternativement vers le Sud, ou vers le Nord (Durand, 1999) ;
 - du Nord vers le Sud, de Narbonne-Plage jusqu'au point d'inversion de la dérive littorale aux abords du grau de la Vieille Nouvelle ;
- intensité du transit :
 - de l'ordre de 20 000 à 40 000 m³/an au niveau de Cap Leucate ;
 - de quelques milliers de m³/an au niveau de Port-La Nouvelle (2 000 à 6 000 m³/an selon les différentes estimations) ;
 - nul aux abords du Grau de la Vieille Nouvelle ;
 - de l'ordre de 10 000 à 40 000 m³/an du secteur littoral de Narbonne-plage/Gruissan faiblissant vers le Sud jusqu'à s'annuler aux abords du grau de la Vieille Nouvelle.

A noter que, compte tenu du régime moyen des houles, les vagues parviennent au littoral avec une composante alternativement Nord ou Sud. A titre illustratif, les houles générant un transit vers le Sud correspondent à 18% des enregistrements au niveau de Port-La Nouvelle et celle générant un transit vers le Nord, à 35% (47% des enregistrements correspondant à des calmes).

Le transit littoral annuel moyen peut tout à fait s'inverser selon les années si ponctuellement, des coups de mers provenant respectivement du Nord ou du Sud se produisent plus fréquemment.

3.2.1.2. Evolutions du littoral sur la période 1992-2011

La figure C2 présente :

- le taux d'évolution moyen annuel sur la période 1992-2011 ; la situation du trait de côte de 2011 a été établie à partir de la photo-interprétation de l'orthophotographie ORTHO Littoral V2, mission 2011 ; le taux d'évolution moyen annuel sur la période 1992-2011 a été estimé par comparaison des traits de côte de 1992 et 2011 ;
- le taux d'évolution moyen annuel lissé sur 10 cellules qui permet de dégager la tendance d'évolution moyenne.

Il est rappelé que les marges d'incertitude sur la position des traits de côte de 1992 et 2011 issus de travaux de photo-interprétation des clichés de l'IGN et de la BD-ORTHO® sont respectivement de 10 m et 2 m, soit de l'ordre de 10 à 12 m sur les évolutions entre ces deux dates. Ramenées aux évolutions moyennes annuelles, les incertitudes sont de l'ordre de **0,5 à 0,6 m/an**.

Les évolutions du littoral sont caractérisées par une variabilité interannuelle importante. Cette forte variabilité se traduit sur l'évolution du trait de côte par des fluctuations importantes autour de la valeur moyenne, le long du littoral. Certaines fluctuations sont liées à la migration de la position des débouchés comme le déplacement du grau de la Vieille Nouvelle qui s'est produit sur cette

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

période. Toutefois, ce phénomène n'est pas reproduit dans la modélisation. D'autres évolutions comme le recul qui se produit au Nord du grau de l'étang de Mateille et qui atteint localement de l'ordre de 2,0 à 2,5 m/an reste difficilement explicable.

Les taux d'évolution moyens par secteur sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 2. Période 1992-2011- Taux d'évolution annuel moyen par secteur

Secteur	Taux d'évolution (m/an)
Nord Cap Leucate	-0,7 à 0
Nord Cap Leucate à Port-La Nouvelle	+0,1
Sud et Nord immédiat ¹ de Port-La Nouvelle	-2
Port-La Nouvelle à Gruissan	-0,9 à -1
Gruissan à Port de St Pierre sur Mer	-1,1

Ces éléments mettent en évidence les tendances évolutives suivantes :

- Le recul du littoral au nord immédiat de Cap Leucate ; celui-ci bloque vraisemblablement une partie du transit littoral en provenance du Sud, ce qui se traduit par un processus d'érosion qui s'atténue à 2,5 km au Nord du cap environ ;
- La stabilité du littoral au Sud de Port La Nouvelle, avec cependant une tendance au recul au Sud immédiat du port qui atteint -0,75 à -1 m/an en moyenne et localement -1,5 à 2 m/an; Ce recul local du trait de côte, alors que la dérive littorale devrait générer une accumulation contre la digue Sud du port peut s'expliquer avec les éléments suivants :
 - Les apports de sables par la dérive littorale depuis la construction du port ont tout d'abord fait avancer le trait de côte comme on peut l'observer sur les photos aériennes, jusqu'à atteindre la saturation de la capacité d'accumulation des sédiments contre cet ouvrage ; la saturation de cette zone d'accumulation étant atteinte, le littoral plus en amont est maintenant quasiment stable et le trait de côte est suffisamment en avancée contre la digue pour que le sable tende maintenant à la contourner;
 - Le recul local du trait de côte observé sur les deux dernières décennies est vraisemblablement la conséquence des transports transversaux qui s'établissent dans le profil vers les petits fonds, des sables apportés par le transit littoral contre la digue. Ce transport solide est généré par les courants d'expansion de la houle et par les courants de retour s'écoulant le long de la digue du port qui se développent particulièrement pendant les coups de mer, en présence de houles frontales. Le matériau se dépose alors dans et aux abords du chenal du port ainsi que dans l'avant-port proprement dit et nécessite la réalisation d'opérations de dragage pour le maintien des accès (cf. §3.1.4) ;
 - Les opérations de dragage de la passe d'entrée et du chenal d'accès, lesquelles constituent un paramètre influant dans l'évolution des fonds constatée.
- Le recul du littoral au Nord du port de Port-La Nouvelle avec un taux annuel qui atteint localement -2 m/an au Nord immédiat de la digue Nord mais qui s'établit progressivement à une valeur de l'ordre de -0,9 à -1 m/an à 2 km au Nord du Port, du fait des mêmes types de phénomènes que ceux décrits ci-dessus ; L'érosion au Nord du port est de plus accentuée par rapport à celle qui se produit au Sud, du fait de l'orientation du transit littoral Sud-Nord qui fait que ce secteur du littoral n'est pas alimenté par la dérive littorale (interceptée par les ouvrages portuaires) ;
- Le recul du littoral entre le grau de la Vieille Nouvelle et Narbonne-Plage à un taux moyen de l'ordre de -1 m/an ;

Sur ce dernier point, compte tenu :

¹ sur 500 à 1000 m de part et d'autre des digues portuaires

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

- de l'orientation du transit littoral dans ce secteur, orienté du Nord vers le Sud, et
- de l'intensité du transit, décroissant de Narbonne-Plage au Nord, jusqu'au point d'inversion de la dérive littorale localisé aux alentours du grau de la Vieille Nouvelle, au Sud,

la tendance d'évolution devrait être à l'avancée du trait de côte dans la mesure où les évolutions sur le long terme sont généralement la conséquence des transports de sédiments le long du littoral.

La tendance au recul observée sur la période de 1992 à 2011 est donc vraisemblablement liée à la prédominance du mode de transport de sédiment dans le profil transversal, par les fortes houles de tempête (qui ont une incidence par rapport au rivage généralement plus frontale que les houles moyennes) qui conduisent à transporter le matériau du haut de plage vers les petits fonds.

3.2.1.3. Comparaison avec les évolutions passées du trait de côte

Il est intéressant de comparer les tendances d'évolution sur les deux dernières décennies à celles estimées par Durand (1999) sur les deux périodes précédentes suivantes : 1935-1997 et 1968-1997.

Tableau 3. Périodes 1935-1997 et 1968-1997- Taux d'évolution annuel moyen par secteur

Secteur	Tendances évolutives	
	de 1935 à 1997	de 1968 à 1997
Cap Leucate - Port La Nouvelle	+0,25 à +1,50 m/an	
Sud immédiat de Port-La Nouvelle	-0,25 à -0,80 m/an	-0,25 à -1,50 m/an
Nord immédiat de Port-La Nouvelle	-0,25 à -0,80 m/an	-0,80 à -1,50 m/an
Port- La Nouvelle - Gruissan	stable	Alternance de secteurs stables, en érosion (-0,25 à -0,80 m/an) et en dépôt (+0,25 à +0,80 m/an)
Gruissan - Saint Pierre Sur Mer	Alternance de secteurs stables, en érosion (-0,25 à -0,80 m/an) et en dépôt (+0,25 à +0,80 m/an)	

La comparaison des évolutions sur les deux périodes 1935-1997, 1968-1997 avec la période plus récente 1992-2011 montre que :

- La tendance à l'avancée du trait de côte observée au Sud de Port La Nouvelle entre 1935 et 1997 s'est donc affaiblie sur la période récente,
- La tendance érosive de -1 m/an observée sur les deux dernières décennies sur le secteur entre Port-La Nouvelle et Narbonne-Plage est donc un phénomène relativement récent qui n'est pas relevé sur les périodes précédentes, caractérisées par une relative stabilité de ce secteur du littoral.

Cette tendance à l'affaiblissement de l'avancée du trait de côte au Sud de Port-La Nouvelle et le recul au Nord du port, peut être liée au déficit de matériaux alimentant naturellement le littoral qui est une problématique générale à l'ensemble du bord de mer du Languedoc Roussillon.

3.2.2. Simulation de l'évolution du trait de côte sur la période 1992-2011

Les paramètres du modèle ont été ajustés pour reproduire les tendances évolutives moyennes dans les différents secteurs tels que décrits par les critères de réglage présentés ci-dessus. Les figures C3 et C4 présentent respectivement :

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

- la distribution du transit littoral calculé par le modèle entre Cap Leucate et Narbonne-plage,
- le taux d'évolution annuel moyen du trait de côte, en nature, d'une part et, calculé par le modèle, d'autre part, sur la période considérée.

Le transit littoral aux limites du modèle, aux frontières Sud et Nord a été fixé respectivement à 12 000 et 15 000 m³/an pour tenir compte de l'interception d'une partie du transit par les obstacles que constitue Cap Leucate au Sud et les digues du port de Saint Pierre au Nord. La variation du transit le long du littoral calculé par le modèle est conforme aux critères d'étalonnage fixés au §3.2.1 en termes d'orientation, d'intensité du transit et de position du point d'inversion.

Les tendances évolutives observées en nature sont reproduites correctement par le modèle :

- le recul du littoral au Nord du Cap Leucate s'atténuant au PK3,
- la quasi-stabilité du littoral au Sud de Port-La Nouvelle (de PK5 à PK8),
- les érosions locales de part et d'autre des ouvrages de Port-La Nouvelle ; celles-ci sont en particulier bien schématisées dans la modélisation,
- la tendance moyenne de recul du trait de côte qui s'établit à une valeur de l'ordre de -0,9 à -1 m/an à 2 km au Nord de Port-La Nouvelle.

On notera toutefois les écarts entre le modèle et la nature au niveau de deux secteurs localisés du littoral d'étude : au Nord du débouché de l'étang de Mateille ainsi que le secteur de part et d'autre du débouché de l'étang de Gruissan, pour lesquels le recul du trait apparaît en nature localement plus prononcé que la tendance moyenne (recul qui atteint 2,0 à 2,5 m/an). Le processus qui génère cette accentuation locale de l'érosion demeure inexpliqué et n'est donc pas reproduit par la théorie introduite dans le code de calcul.

La figure C5 présente les positions du trait de côte suivantes :

- les positions de 1992 et 2011 en nature,
- la position 2011 calculée par le modèle.

La figure C6 présente une vue de détail centrée sur Port-La Nouvelle de ces positions du trait de côte.

3.3. EXPLOITATION DU MODELE

3.3.1. Evolution du trait de côte à 20 ans

A partir de la situation du trait de côte modélisée, représentative de la situation de 2011, une simulation sur une période de 20 ans a été réalisée pour définir la situation de référence à 20 ans sans l'extension portuaire. Le calcul a été réalisé dans les conditions mises au point à l'issue de l'étalonnage. Le dragage du port de Port-La Nouvelle de 50 000 m³/an a été poursuivi sur cette nouvelle période de simulation.

Suite à cette simulation, le projet portuaire de Port-La Nouvelle a été schématisé dans la modélisation de la façon suivante :

- Digue Sud : longueur de 1800 m mesurée perpendiculairement au littoral (extension de 700 m par rapport à la digue actuelle),
- Digue Nord : longueur de 1800 m mesurée perpendiculairement au littoral (extension de 950 m par rapport à la digue Nord actuelle) et décalée vers le Nord de 1 200 m).

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03



Figure 6 : Modélisation du nouvel aménagement

Une nouvelle simulation sur 20 ans a alors été relancée en présence de « l'aménagement » en prenant en compte un dragage d'un volume analogue à la situation actuelle soit de 50 000 m³/an en considérant que, si la localisation et la répartition des zones de dragage peuvent être modifiées du fait de l'extension portuaire, l'entraînement le long des digues des sables du littoral vers les petits fonds, dans le chenal et l'avant-port, donc les quantités draguées, devraient demeurer du même ordre de grandeur.

Note : Les processus hydro-sédimentaires observés actuellement contre les digues actuelles seront de nouveaux observés en présence de l'aménagement, à plus ou moins long terme, à savoir que les fortes houles de tempête, d'incidence plutôt frontale, contribuent et contribueront encore à transporter le matériau du haut de plage vers les petits fonds. Cette hypothèse est toutefois conservatrice sur le « court terme » et il s'agit là d'un artifice de calcul.

Les figures C7 et C8 présentent les résultats suivants :

- Le taux d'évolution annuelle sur la période de 20 ans dans les cas sans et « avec aménagement », respectivement (Figure C7) ;
- Les positions du trait de côte modélisées à 20 ans, sans et avec l'aménagement, respectivement (Figure C8).

La figure C9 présente une vue de détail centrée sur Port-La Nouvelle du trait de côte modélisé à 20 ans sans et avec l'extension portuaire.

3.3.2. Impact du projet sur le littoral à 20 ans

La comparaison des positions du trait de côte calculées sans, puis avec le nouvel avant-port montre que l'impact de l'aménagement du port est limité au Nord immédiat de la nouvelle digue Nord sur environ 2 km. Le taux de recul maximal sur ce secteur de l'ordre de -1,5 m/an dans la situation avant aménagement passe à -2,5 m/an en présence du nouvel aménagement. Ainsi, le recul maximal de l'ordre de 30 m sur 20 ans dans la situation actuelle atteint 50 m en présence du nouvel aménagement.

En dehors de ce secteur, les évolutions sont analogues sur l'ensemble du domaine d'étude dans la situation sans et avec le nouvel aménagement.

Au Sud immédiat du port, le recul du trait de côte est de l'ordre de -0,75 m/an donc de 15 m environ à 20 ans dans la situation sans le nouvel aménagement comme dans la situation avec l'extension portuaire. En effet, compte tenu du caractère très frontal du climat des houles, le littoral ne bénéficie que très localement de l'abri offert par l'extension portuaire (par effet de diffraction) et les départs de sédiments dans le profil le long de la digue conduisent à maintenir, en présence du nouvel aménagement, le processus d'érosion du littoral comme dans la situation actuelle.

4. ESTIMATION DES TENDANCES EVOLUTIVES FUTURES DU LITTORAL A L'HORIZON 2100

4.1. EXTRAPOLATION DES RESULTATS SUR 20 ANS

Les évolutions annuelles du littoral calculées par le modèle par les deux simulations sur 20 ans respectivement, sans et avec l'aménagement portuaire, ont été extraites sur les 4 périodes de calcul intermédiaires suivantes : 0 à 5 ans, 5 à 10 ans, 10 à 15 ans et 15 à 20 ans. Les taux d'évolution pour les trois dernières périodes intermédiaires sont présentées pour 8 points/profils représentatifs sur les figures C10 (sans aménagement) et C11 (avec aménagement). Une extrapolation à 100 ans a ensuite été réalisée à partir des résultats sur ces 3 dernières périodes de 5 ans. La variation le long du littoral du taux d'évolution annuel moyen extrapolé à 100 ans sur la base de ces résultats est présentée sur les figures C12 (cas sans nouvel aménagement) et C13 (avec l'extension portuaire), respectivement. Les extrapolations à 100 ans sont comparées aux résultats du calcul à 20 ans dans chacun des cas (sans et avec aménagement). On constate une légère atténuation et un lissage du taux d'évolution du trait de côte en liaison avec l'uniformisation de ce dernier.

Enfin, la figure C14 présente les taux d'évolution annuels extrapolés à 100 ans sans prise en compte des effets du réchauffement climatique dans les deux cas : sans et avec « aménagement », respectivement.

Enfin, la figure C15 présente les positions du trait de côte extrapolées à 100 ans sans prise en compte des effets du réchauffement climatique dans les deux cas : sans et avec aménagement, respectivement. Une vue de détail sur Port-La Nouvelle de ces positions du trait de côte est présentée sur la figure C16.

4.2. REcul DU TRAIT DE COTE DU AU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

La méthodologie adoptée pour estimer le recul du trait de côte dû au réchauffement climatique consiste à appliquer la règle de Bruun comme présenté dans l'annexe B. Il a été considéré l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100 de 0,6 m (hypothèse pessimiste²) qui conduit à un recul du trait de côte de l'ordre de 70 m (compte tenu d'une hauteur active évaluée à 12 m et une longueur active de 1 500 m).

4.3. POSITION DES TRAITS DE COTE A L'HORIZON 2100 AVEC ET SANS LE NOUVEL AMENAGEMENT

La position du trait de côte à l'horizon 2100 avec prise en compte des effets du réchauffement climatique est donc définie en ajoutant le recul de 70 m à la position du trait de côte extrapolée à 100 ans. La figure C17 présente les positions du trait de côte extrapolées à 100 ans avec prise en compte des effets du réchauffement climatique dans les deux cas : sans et avec l'extension portuaire, respectivement. Une vue de détail centrée sur Port-La Nouvelle, de ces positions du trait de côte est présentée sur la figure C18.

4.4. EVALUATION DES IMPACTS A LONG TERME DU PROJET SUR LE LITTORAL

La comparaison des positions du trait de côte calculées sans, puis avec le nouvel avant-port montre que l'impact de l'aménagement du port est limité au Nord immédiat de la nouvelle digue Nord sur environ 2 km. Le taux de recul qui atteint -1,25 à 1,50 m/an sur 500 à 1000 m au Nord de

² Choix de l'hypothèse pessimiste de l'ONERC validée par la Région

la position de la future nouvelle digue Nord dans la situation avant aménagement passe à -1,75 m/an en présence de celle-ci ; soit un impact du nouvel aménagement qui se traduit par une augmentation du taux de recul annuel de -0,25 à -0,5 m/an. Ainsi, sans prise en compte des effets du réchauffement climatique, le recul maximal de l'ordre de 150 m sur 100 ans dans la situation actuelle atteint à 175 m en présence de l'aménagement. En intégrant les effets du réchauffement climatique, le recul maximal qui serait de 220 m dans la situation actuelle de l'aménagement passerait à 245 m en présence du nouvel aménagement.

On notera que le recul du trait de côte à l'horizon 2100 au Nord du port menace les installations du dépôt pétrolier de Port-La Nouvelle dans la configuration portuaire actuelle sans le nouvel aménagement. En effet, une distance réduite à 30 m environ sépare l'enclosure du dépôt, du trait de côte à 100 ans. Avec le nouvel aménagement, ces installations étant situées dans l'emprise de la nouvelle extension portuaire, celle-ci les protégera de l'érosion du littoral.

En dehors de ce secteur, les évolutions sont analogues sur l'ensemble du domaine d'étude dans la situation sans et avec le nouvel aménagement.

Au Sud immédiat du port, le taux de recul moyen à long terme (horizon 2100) est de l'ordre de -0,5 m/an dans les deux situations : sans et avec le nouvel aménagement. Comme décrit précédemment, l'abri offert par l'extension portuaire ne permet pas, du fait du caractère frontal du climat des houles, de compenser les départs de sédiments dans le profil et l'érosion qu'ils génèrent. Le recul maximal du trait de côte atteint ainsi 50 m sans prise en compte des effets du réchauffement climatique et 120 m en intégrant le recul dû à la surélévation du niveau de la mer. Dans ces conditions, le recul du littoral atteindrait la zone urbanisée au Sud du port (que ce soit sans ou avec le nouvel aménagement) à l'horizon 2100 ; le trait de côte se situerait alors jusqu'à une distance de 70 m au maximum, en retrait des constructions du front de mer actuel.

oOo

5. DEVENIR DES PLAGES RECHARGEES ET RISQUES SEDIMENTAIRES

5.1. PREALABLE

L'objet de ces nouvelles simulations est d'estimer la possibilité de réutilisation maximale des sables (provenant des dragages des futurs bassins portuaires) sur les plages nord et sud de Port-La Nouvelle sans qu'il y ait d'impact :

- sur le grau de la Vieille-Nouvelle au nord
- sur la passe d'entrée du futur port.

5.2. HYPOTHESES DE RECHARGEMENT DE PLAGE

Les sédiments dragués les plus grossiers sont destinés aux remblais (terre-plein et parc logistique).

Le volume disponible de sédiments ayant un diamètre médian $D_{50} > 125 \mu m$ serait de 7,2 millions m^3 (après tri granulométrique). Pour des sédiments de D_{50} de 170 μm ou 140 μm , les volumes disponibles sont significativement plus faibles.

Partant du principe :

- que les volumes de rechargement au nord du port peuvent être dissociés de ceux du sud du port,
- et que ces volumes seront adaptés aux volumes réellement disponibles,

les hypothèses de rechargement des plages qui sont proposées ci-après sont volontairement optimistes ; elles restent dans la logique de ce que nous cherchons ici à étudier à savoir le devenir des plages rechargées et les risques éventuels pour le port et le grau de la Vieille-Nouvelle pour des conditions «maximalistes» de rechargement.

Les hypothèses de rechargement de plage simulées sur le modèle sont ainsi les suivantes.

Pour ces estimations il a été considéré que la hauteur active (hauteur entre la berme et la profondeur de fermeture sur laquelle les mouvements sédimentaires liés à la houle sont effectifs) est de 12 m ; cela conduit à un volume théorique à apporter pour reproduire une avancée de 10 m égal à 120 m^3 par ml de littoral.

A. Littoral Nord

Deux cas de rechargement sont envisagés :

- Cas de rechargement 1 (RN1) : apport de 4,3 millions m^3 sur un linéaire de 2 200 m :
 - Avancée de 200 m sur les 1 500 premiers mètres (les distances sont comptées depuis l'enracinement de la future jetée Nord) : apport de 3,6 millions m^3 ,
 - Avancée de 100 m sur les 500 m suivants : apport de 0,6 million m^3 ,
 - Avancée de 50 m sur les 200 m suivants : apport de 0,1 million m^3 .
- Cas de rechargement 2 (RN2) : apport de 3,9 Mm3 sur un linéaire de 2 500 m :
 - Avancée de 200 m sur les 1 000 premiers mètres : apport de 2,4 millions m^3 ,
 - Avancée de 100 m sur les 1 000 m suivants : apport de 1,2 million m^3 ,
 - Avancée de 50 m sur les 500 m suivants : apport de 0,3 million m^3 .

La figure ci-après précise ces deux cas de rechargement (cf. également la figure C19 de l'annexe C).

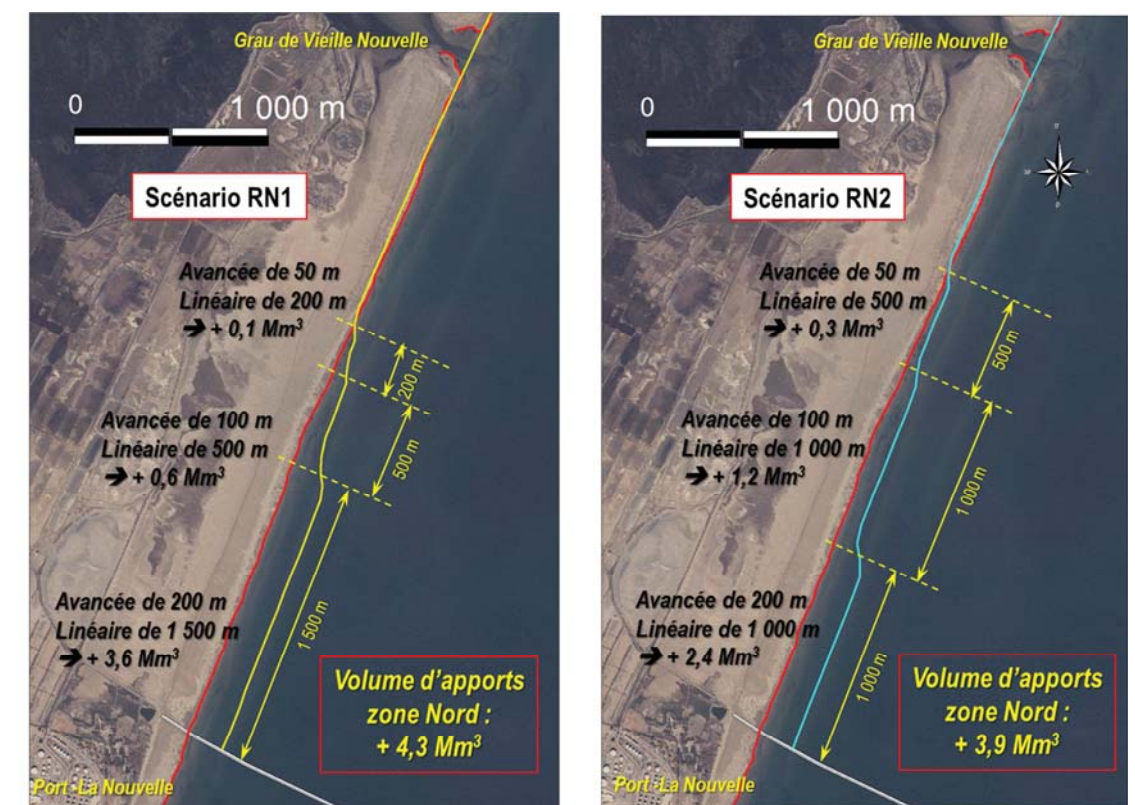


Figure 7 : Scénarios de rechargement RN1 & RN2 - Littoral Nord

B. Littoral Sud

Deux cas de rechargement sont également envisagés sur le littoral au Sud immédiat du projet (cf. figure ci-après et figure C20) :

- Cas de rechargement 1 (RS1) : apport de 1,8 millions m^3 sur un linéaire de 3 000 m au Sud de la digue Sud (avancée de 50 m).
- Cas de rechargement 2 (RS2) : apport de 3,6 millions m^3 sur un linéaire de 4 000 m
 - Avancée de 100 m sur les 2 000 premiers mètres : apport de 2,4 millions m^3 ,
 - Avancée de 50 m sur les 2 000 m suivants : apport de 1,2 million m^3 .

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

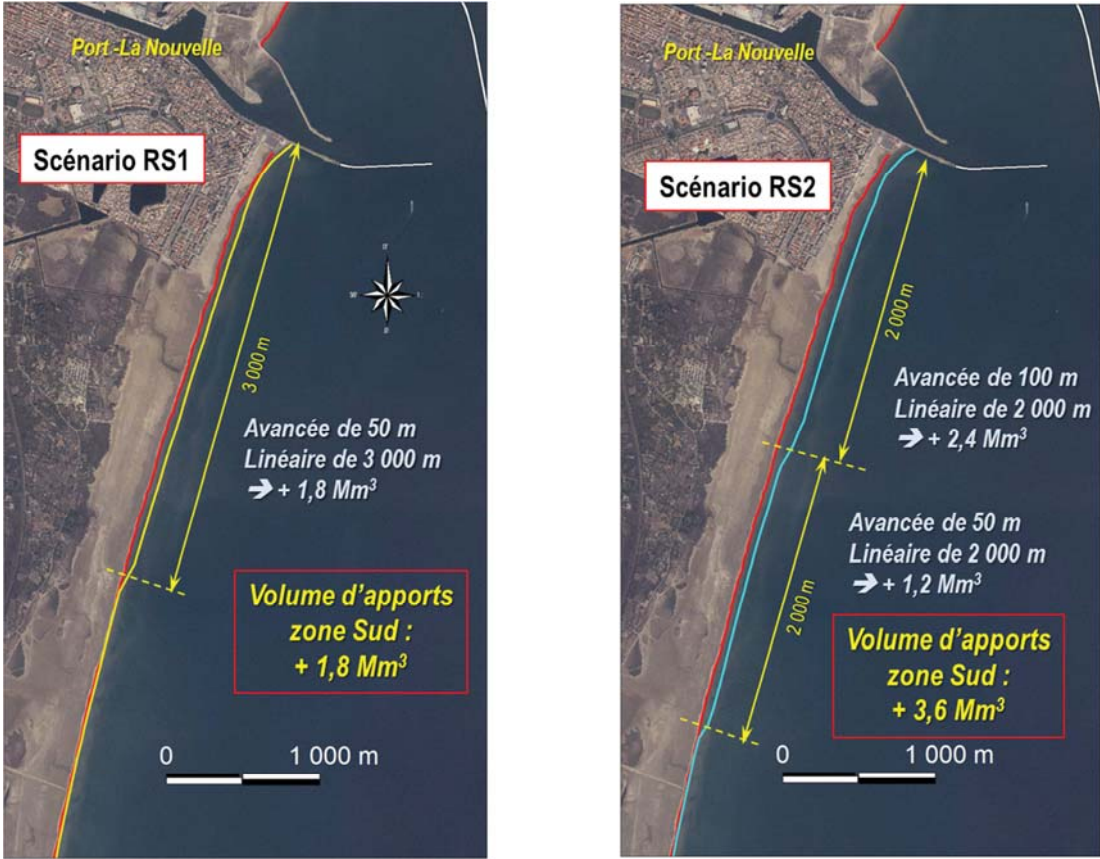


Figure 8 : Scénarios de rechargement RS1 & RS2 - Littoral Sud

Les hypothèses ci-dessus permettent de couvrir les cas de rechargement suivants :

- 1,8 millions m³ en se limitant au cas de rechargement RS1 pour la plage Sud,
- 3,9 millions m³ en se limitant au cas de rechargement RN2 pour la plage Nord,
- 4,3 millions m³ en se limitant au cas RN1 (plage Nord),
- 5,7 millions m³ en considérant les cas de rechargement RN2 et RS1, ...

Outre les volumes de rechargement, la réponse du modèle aux caractéristiques granulométriques des sables a été examinée lors de ces nouvelles simulations.

C'est ainsi qu'il a été considéré les sédiments suivants :

- Calculs de référence (réalisés dans le cadre du marché) : $D_{50} = 0,20 \text{ mm}$, $D_{90} = 0,25 \text{ mm}$,
- Sédiment 2 (Sa2) : $D_{50} = 0,17 \text{ mm}$, $D_{90} = 0,25 \text{ mm}$,
- Sédiment 3 (Sa3) : $D_{50} = 0,12 \text{ mm}$, $D_{90} = 0,20 \text{ mm}$.

De façon concrète, sur le modèle, le paramètre « sable » (donnée d'entrée du modèle) a été modifié sur toute l'emprise du modèle (sable en place et sable rapporté).

5.3. SIMULATIONS REALISEES

Les calculs réalisés étaient au final les suivants (calculs menés sur l'équivalent de 20 années) :

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

Tableau 4. Simulations réalisées

Calcul	Trait de côte	Extension portuaire	Cas de rechargement		Sables considérés	
			Littoral Nord	Littoral Sud	D ₅₀	D ₉₀
1*	Actuel (2011)	Non (port actuel)	sans	sans	0,17 mm	0,25 mm
2	Rechargé sur 3+2,2 km	Oui	RN1	RS1	0,17 mm	0,25 mm
3	Rechargé sur 4+2,5 km	Oui	RN2	RS2	0,17 mm	0,25 mm
4*	Actuel	Non (port actuel)	sans	sans	0,12 mm	0,20 mm
5	Rechargé sur 4+2,2 km	Oui	RN1	RS2	0,12 mm	0,20 mm

* le calcul 1 sert de base de comparaison pour les deux calculs suivants (2 & 3), dans la mesure où le sable considéré pour ces nouvelles simulations est plus fin que celui adopté lors des simulations antérieures ; il en est de même pour le calcul 4 (comparaison avec le calcul 5).

5.4. RESULTATS DES SIMULATIONS

5.4.1. Simulations en l'état actuel du port : Sensibilité aux caractéristiques du sédiment

Le graphe ci-après donne les évolutions moyennes annuelles du trait de côte à l'issue des simulations réalisées sur l'équivalent de 20 ans, dans la configuration actuelle du littoral et du port, et ce, pour différentes caractéristiques granulométriques du sédiment.

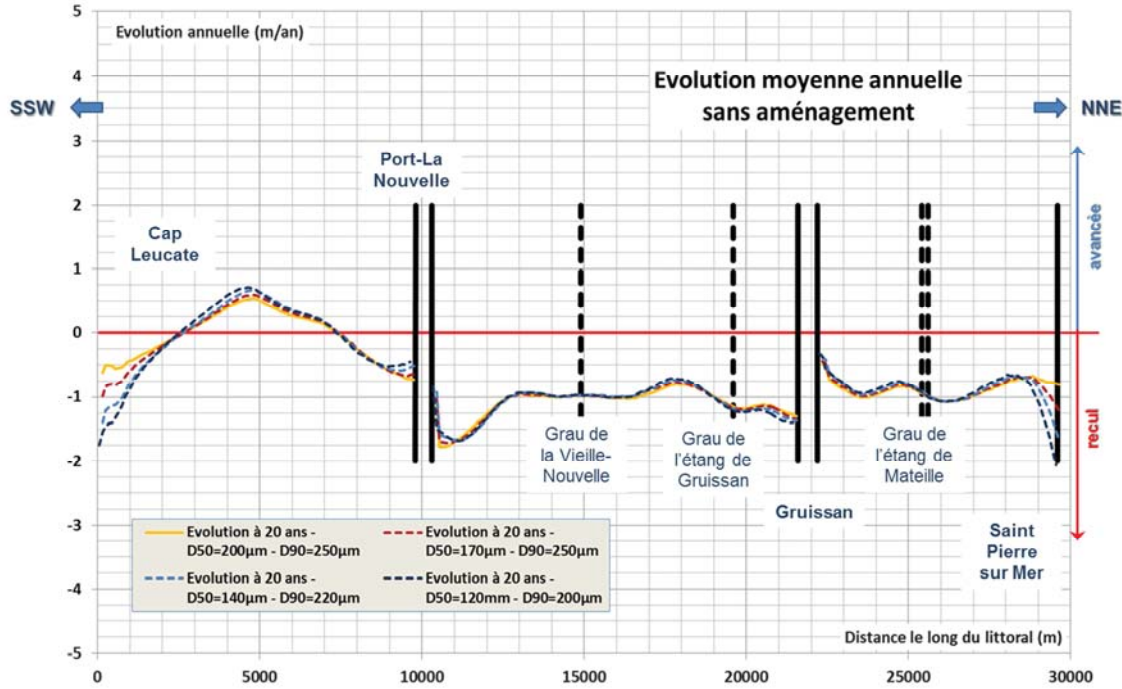


Figure 9 : Evolution moyenne annuelle du trait de côte - Sensibilité aux caractéristiques du sédiment

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE CÔTE) - RAPPORT HYDRO-R03

On retiendra principalement de ces simulations que :

- les évolutions moyennes annuelles sont globalement d'autant plus franches que le sédiment est fin (plus grande mobilité de celui-ci),
- de part et d'autre du Grau de la Vieille-Nouvelle, les évolutions moyennes annuelles sont très proches, quelles que soient les caractéristiques du sédiment.

5.4.2. Calcul 2 avec rechargement en sable sur 3 km au Sud et 2,2 km au Nord

Les résultats de cette première simulation avec les plages rechargées (sables de $D_{50}=0,17$ mm et de $D_{90}=0,25$ mm) sont illustrés par :

- un graphe donnant les évolutions moyennes annuelles comparées du trait de côte à 20 ans, dans la configuration actuelle du littoral et du port et dans la configuration « extension portuaire plus plages rechargées,
- les figures 11 et 12 ci-après (figures C22 et C23 de l'annexe C) donnant les positions comparées du trait de côte (trait de côte initial rechargé, trait de côte à 20 ans avec l'extension portuaire, plages non rechargées et plages rechargées) pour le littoral Nord et le littoral Sud respectivement.

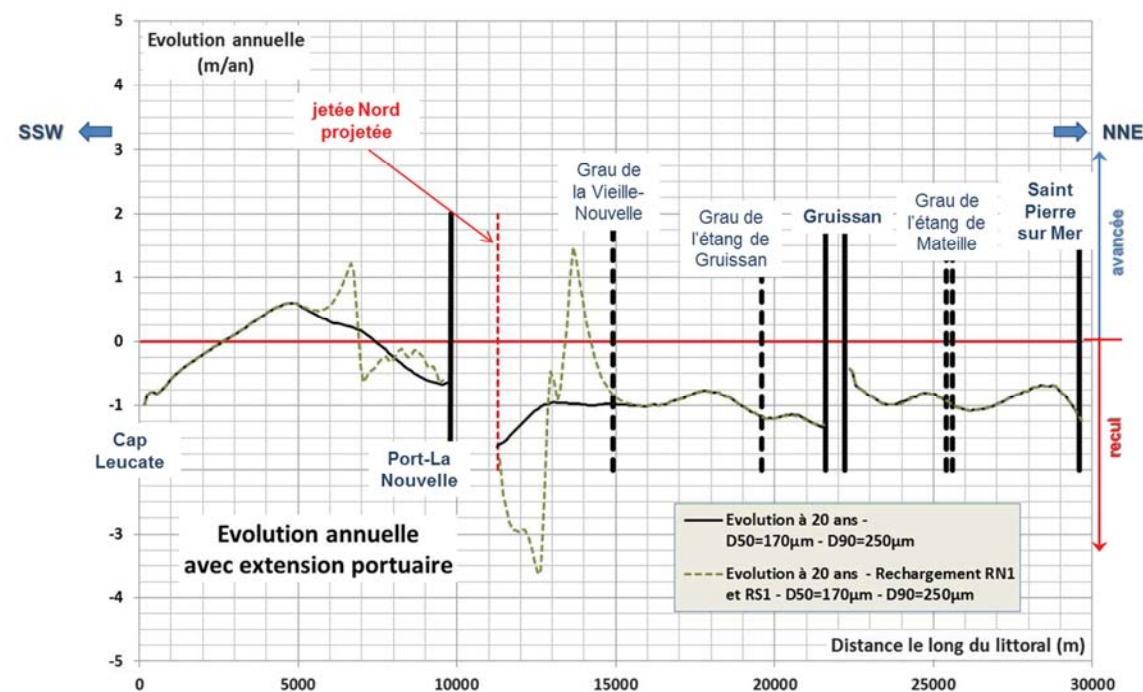


Figure 10 : Calcul 2 - Evolution moyenne annuelle du trait de côte

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE CÔTE) - RAPPORT HYDRO-R03

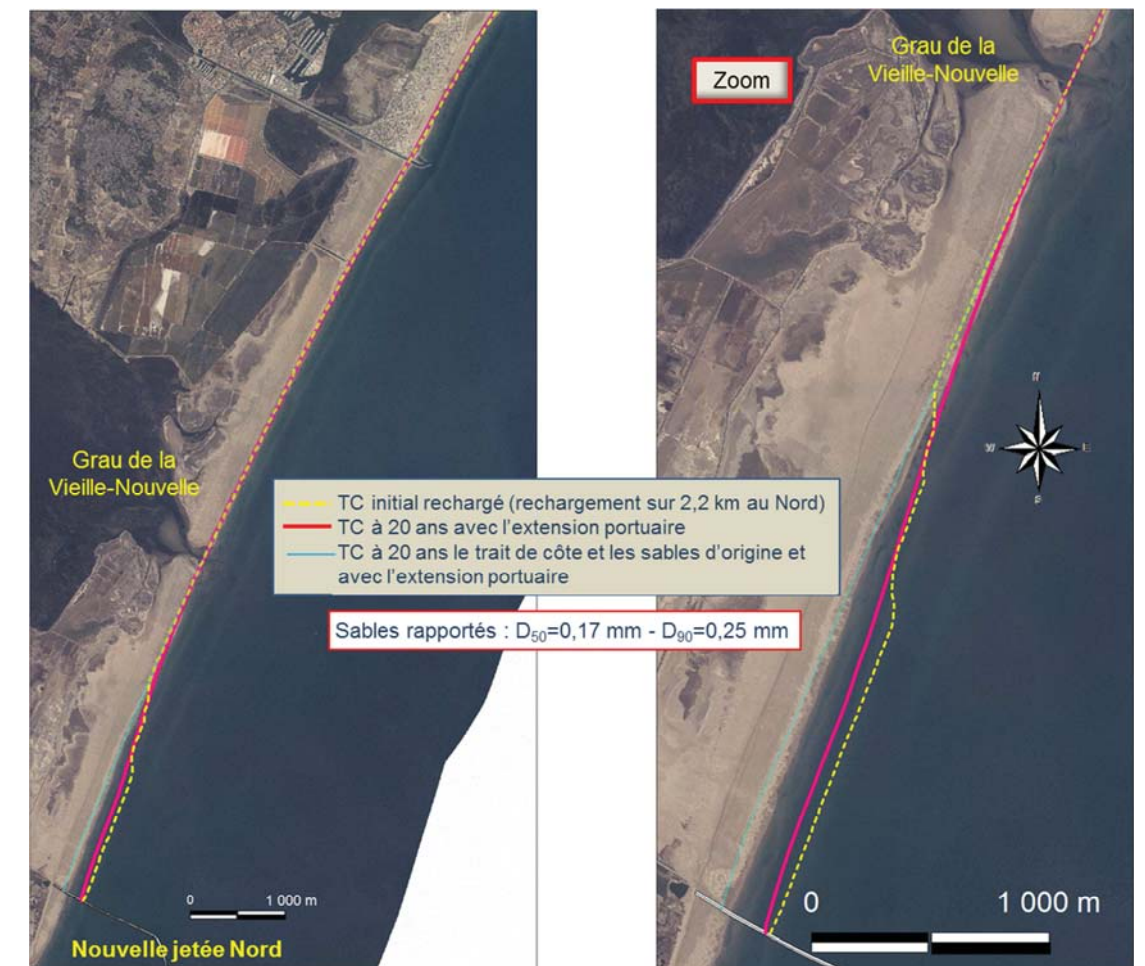


Figure 11 : Calcul 2 - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Nord

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

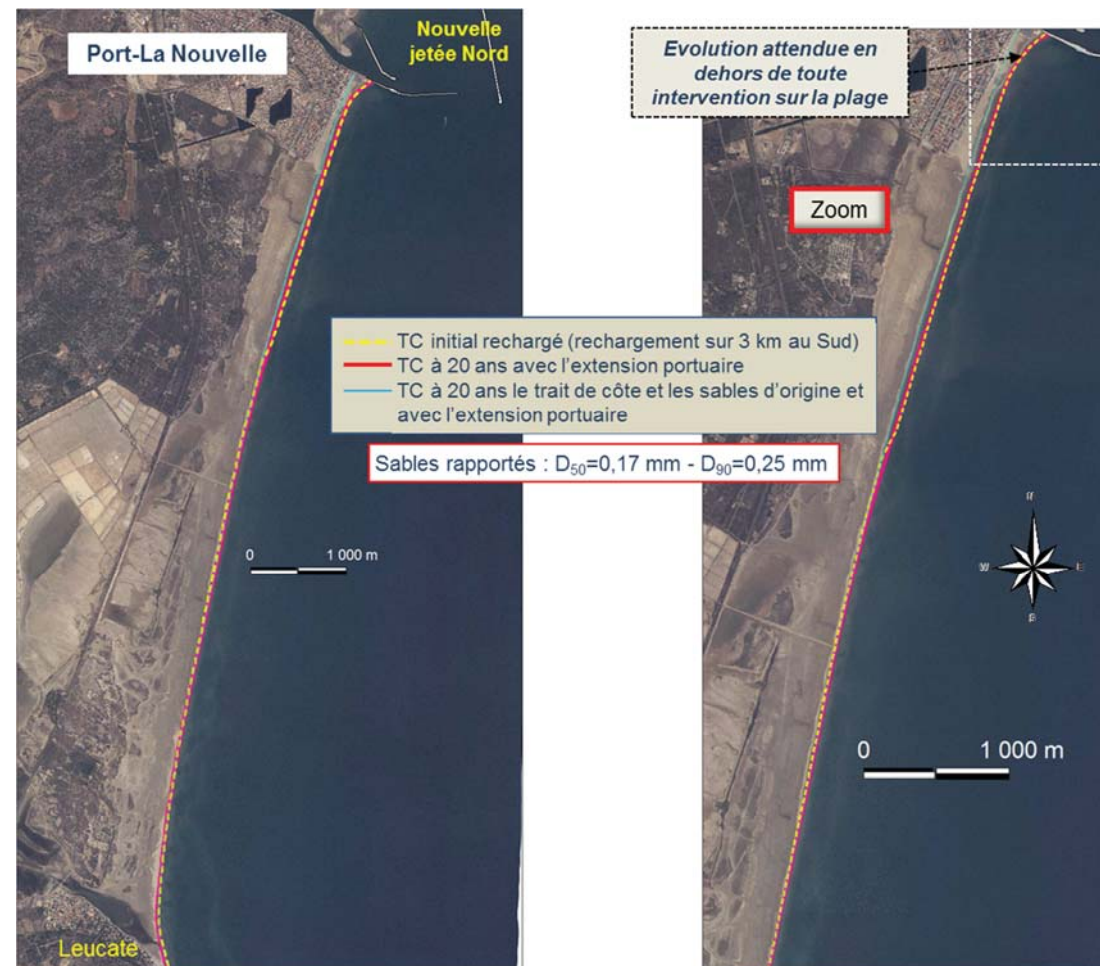


Figure 12 : Calcul 2 - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Sud

Ces figures amènent les principaux commentaires suivants :

- Les zones d'impact du projet (digues et rechargement) sont d'environ :
 - au Sud de la jetée Sud : +/- 4,5 km
 - au Nord de la jetée Nord projetée : +/- 4 km
- Il n'y a pas d'impact du projet en dehors des zones d'étalement des sables rapportés.
- Au Nord, sur les 1 500 premiers mètres depuis la nouvelle jetée, le taux d'érosion moyen est significativement augmenté, ce qui se traduit par un recul important de la zone où la plage a été artificiellement avancée de 200 m. La perte de largeur de la plage à ce niveau est comprise entre 50 et 80 m (évolution sur 20 ans) ; une partie des sédiments est étalée vers le Nord, une autre partie vers le large (pertes dans le profil). Ces sédiments sont descendus dans les petits fonds et pourraient à terme augmenter le volume de sable participant à la sédimentation des accès du nouveau port. Au Nord de cette zone, les sables rapportés s'étalent jusqu'au grau de la Vieille-Nouvelle. Sur les 500 à 700 m au Sud du débouché actuel, l'évolution sur les 20 ans reste à l'érosion mais avec des taux significativement plus faibles qu'actuellement.
- Au Sud, l'étalement des sables est significatif. Sur les 3 000 m au Sud immédiat du port, les tendances érosives subsistent, mais avec des taux globalement plus faibles que ceux donnés par la simulation sans rechargement.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

NB : les brusques variations des taux d'évolution moyens annuels visibles sur la figure 10 correspondent au lissage du rivage au niveau des zones de raccordement entre deux niveaux de largeur de rechargement.

5.4.3. Calcul 3 avec rechargement en sable sur 4 km au Sud et 2,5 km au Nord

Les résultats de cette seconde simulation avec les plages rechargées (sables de $D_{50}=0,17$ mm et de $D_{90}=0,25$ mm) sont illustrés, pareillement au calcul 2, par les figures ci-après (et les figures C25 à C27 de l'annexe C) :

- un graphe donnant les évolutions moyennes annuelles comparées du trait de côte à 20 ans, dans la configuration actuelle du littoral et du port et dans la configuration « extension portuaire plus plages rechargées,
- deux figures donnant les positions comparées du trait de côte (trait de côte initial rechargé, trait de côte à 20 ans avec l'extension portuaire, plages non rechargées et plages rechargées) pour le littoral Nord et le littoral Sud respectivement.

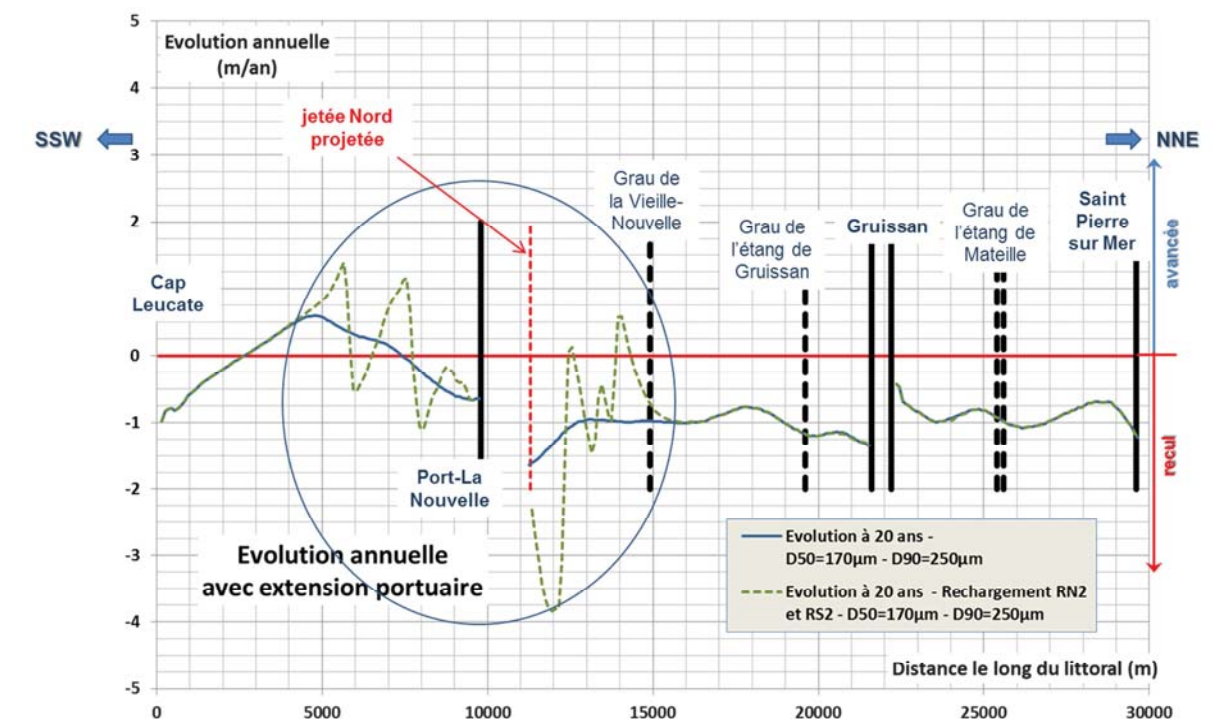


Figure 13 : Calcul 3 - Evolution moyenne annuelle du trait de côte

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03



Figure 14 : Calcul 3 - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Nord

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

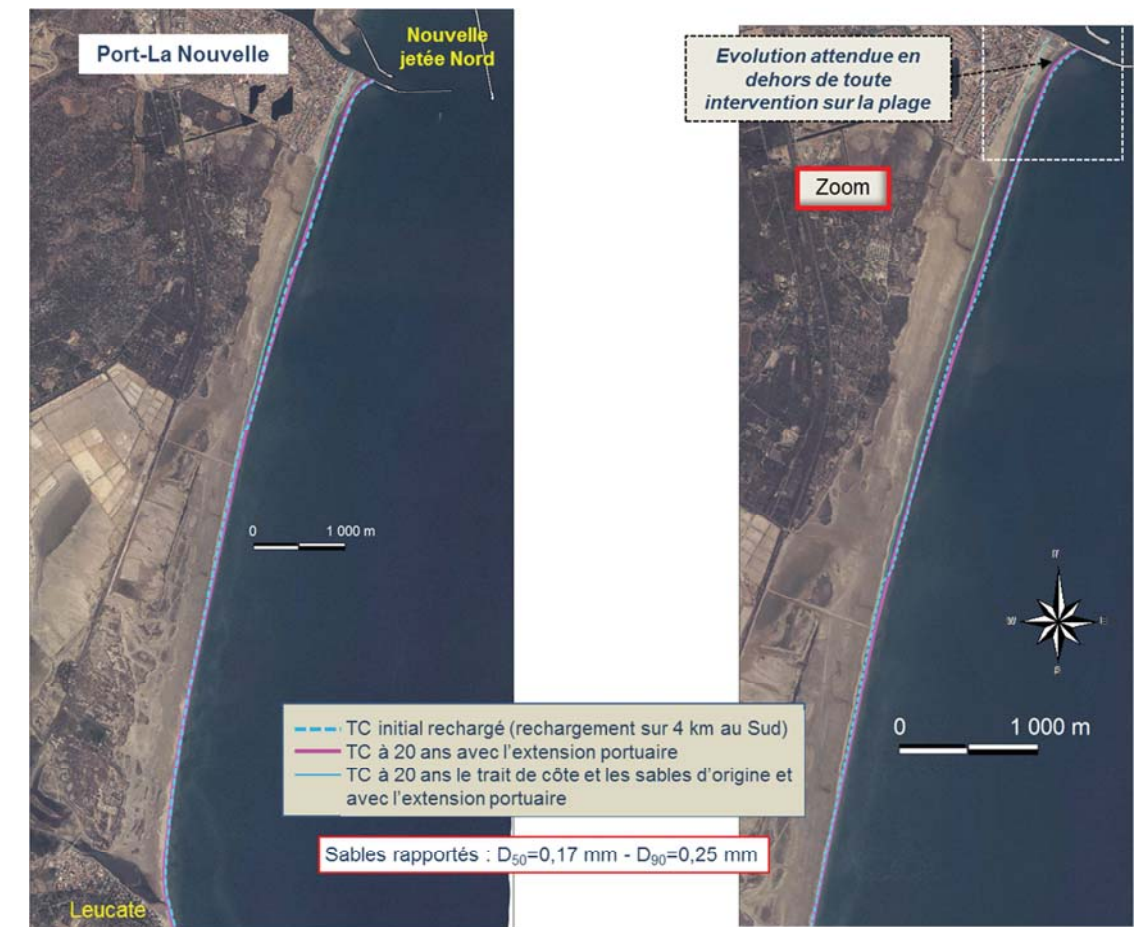


Figure 15 : Calcul 3 - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Sud

Avec ce second scénario de rechargement (augmentation du linéaire et du volume de rechargement au Sud par rapport au cas précédent, augmentation du linéaire et légère réduction du volume de rechargement au Nord) on retrouve des évolutions et impacts similaires avec les principales différences suivantes :

- Zones d'impact du projet (digues et rechargement) plus étendues :
 - au Sud de la jetée Sud : +/- 5,5 km
 - au Nord de la jetée Nord projetée : +/- 4,5 km
- Au Nord de la nouvelle jetée, sur les 1 000 premiers mètres, là où la plage a été rechargée sur 200 m, la perte de largeur de la plage est de l'ordre de 50 à 80 m sur les 20 ans de la simulation. Au Nord de cette zone, les tendances érosives sont plus fortes que dans le cas précédent et les sables rapportés s'étalent jusqu'au grau de la Vieille-Nouvelle en débordant légèrement celui-ci ;
- Absence d'impact du projet en dehors de ces zones d'étalement des sables rapportés).

5.4.4. Calcul 5 avec rechargement en sable sur 4 km au Sud et 2,2 km au Nord

Les choix de ces cas de rechargements ont été guidés :

- Pour le Nord, par des impacts plus faibles en termes d'étalement des sables avec un linéaire limité à 2 200 m,

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

- Pour le Sud, l'absence d'impact sur les installations portuaires et les disponibilités en sables plus fins plus importantes.

Les résultats de cette dernière simulation avec les plages rechargées en sédiments plus fins (sables de $D_{50}=0,12$ mm et de $D_{90}=0,20$ mm) sont illustrés par les figures ci-après (figures C28 à C30 de l'annexe C) :

- un graphe donnant les évolutions moyennes annuelles comparées du trait de côte à 20 ans,
- deux figures donnant les positions comparées du trait de côte à 20 ans (pour le littoral Nord et le littoral Sud respectivement).

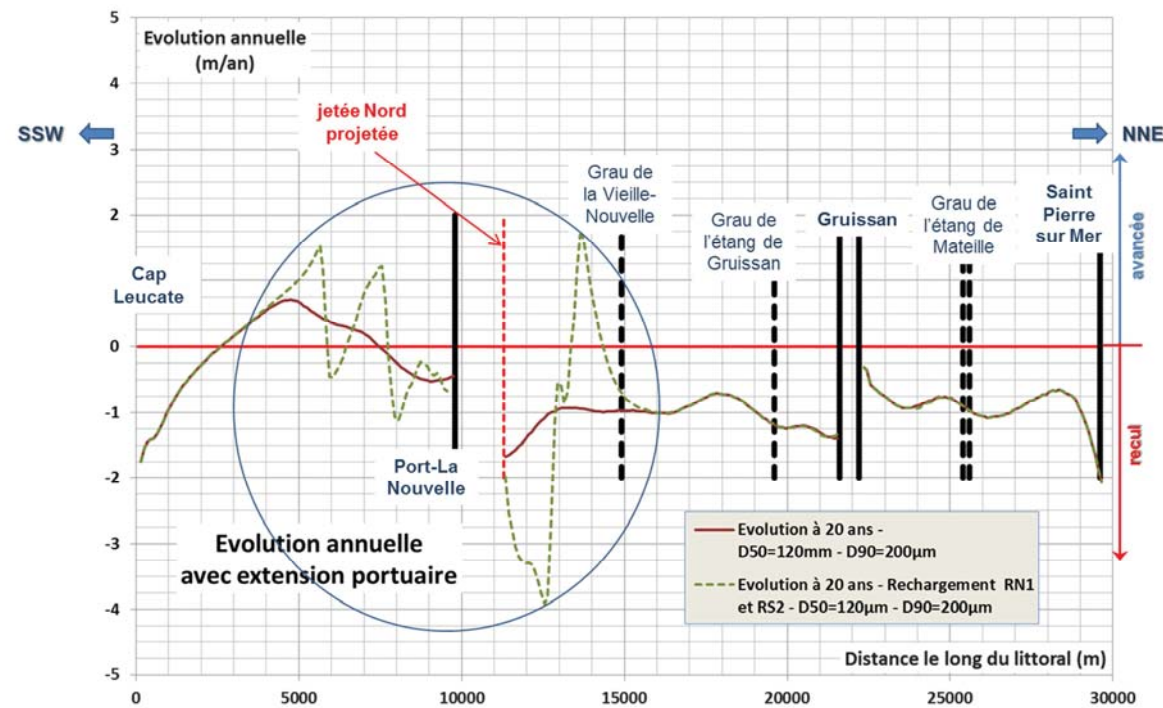


Figure 16 : Calcul 5 - Evolution moyenne annuelle du trait de côte

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03



Figure 17 : Calcul 5 - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Nord

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

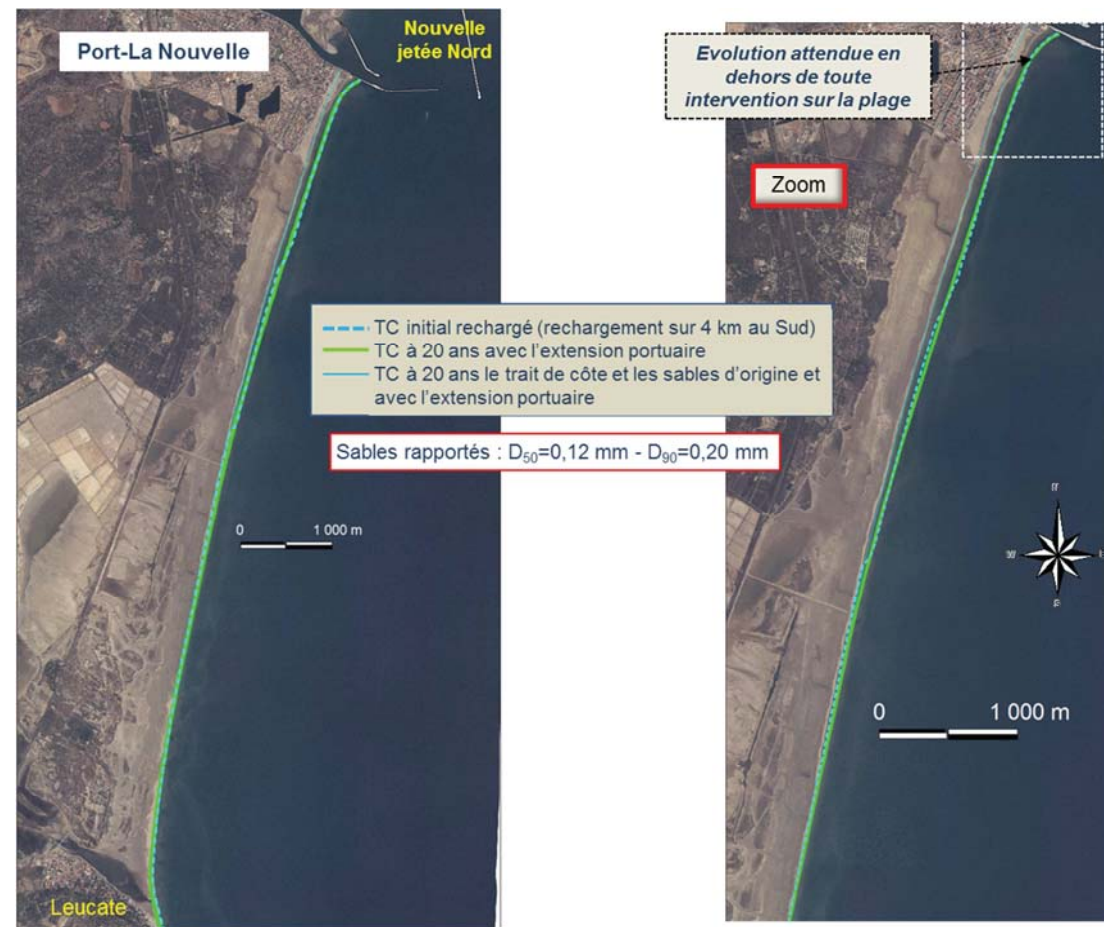


Figure 18 : Calcul 5 - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Sud

Dans ce troisième scénario de rechargement (affinement du sable d'apport) les évolutions et impacts donnés par la simulation sont les suivants :

- Zones d'impact du projet (digues et rechargement) plus étendues :
 - au Sud de la jetée Sud : +/- 6 km
 - au Nord de la jetée Nord projetée : +/- 4,5 km
- Au Nord de la nouvelle jetée portuaire, tendances érosives globalement plus fortes ; sur les 1 500 premiers mètres, là où la plage a été rechargée sur 200 m, la perte de largeur de la plage est équivalente, de l'ordre de 50 à 80 m sur les 20 ans de la simulation. Au Nord de cette zone, les sables rapportés s'étalent légèrement au-delà du grau de la Vieille-Nouvelle ;
- Au Sud, tendances érosives (une fois les « pics » lissés) à peine plus élevées que dans la situation sans rechargement de la plage ;
- Absence d'impact du projet en dehors de ces zones d'étalement des sables rapportés).

5.4.5. Conclusions

Les résultats des simulations montrent que les zones d'impact du projet (digues et rechargement) varient selon les cas de rechargement (étalement des sables rapportés) :

- Entre 4 et 4,5 km au Nord de la nouvelle jetée Nord,
- Entre 4,5 et 6 km au Sud de la jetée Sud.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

EVALUATION DES EFFETS DU PROJET SUR LE LITTORAL (TRAIT DE COTE) - RAPPORT HYDRO-R03

L'étalement est d'autant plus grand que les caractéristiques granulométriques du sable rapporté sont basses.

Il n'y a pas d'impact du projet en dehors des zones d'étalement des sables rapportés.

Au Nord de la nouvelle jetée Nord, dans la zone où la plage a été "artificiellement" avancée de 200 m, la perte de largeur de la plage est significative : comprise entre 50 et 80 m (évolution sur 20 ans) ; une partie des sédiments est étalée vers le Nord, une autre partie vers le large (pertes dans le profil). Ces sédiments sont descendus dans les petits fonds et pourraient à terme augmenter le volume de sable participant à la sédimentation des accès du nouveau port.

Au Nord de cette zone, les sables rapportés s'étalent jusqu'au grau de la Vieille-Nouvelle et le débordent dans certaines conditions de rechargement, mais la tendance évolutive dans cette zone reste à l'érosion sur les 20 ans de la simulation, avec des taux significativement plus faibles qu'actuellement.

Au Sud, où les enjeux sont plus limités, l'étalement des sables est significatif. Les tendances érosives subsistent avec des taux légèrement plus élevés lorsque le sable d'apport est fin. L'évolution de la plage rechargée ne devrait pas contribuer à majorer significativement les apports sableux dans le futur chenal d'accès.

Au regard de ce qui précède, pour limiter les impacts sur le Grau de la Vieille-Nouvelle (colmatage ?) et les risques portuaires (sédimentation), et bien que les simulations réalisées aient montré que ceux-ci sont faibles, nous préconisons (pour autant bien évidemment que les volumes soient réellement disponibles) les rechargements de plage suivants :

A. Littoral Nord :

Apport de 2,5 millions m³ (sables les plus grossiers parmi ceux disponibles) sur un linéaire de 1 500 m :

- Avancée de 200 m sur les 750 premiers mètres (les distances sont comptées depuis l'enracinement de la future jetée Nord) : apport d'environ 1,8 millions m³,
- Avancée de 100 m sur les 500 m suivants : apport d'environ 0,6 million m³,
- Avancée de 50 m sur les 250 m suivants : apport d'environ 0,1 million m³.

B. Littoral Sud :

Apport de 3,6 millions m³ sur un linéaire de 4 000 m

- Avancée de 100 m sur les 2 000 premiers mètres : apport de 2,4 millions m³,
- Avancée de 50 m sur les 2 000 m suivants : apport de 1,2 million m³.

Au Sud, au regard des enjeux, le linéaire à « protéger » (linéaire urbanisé) se limite à environ 1 000 m seulement. L'hypothèse mentionnée ci-dessus est donc très maximaliste au regard des enjeux et doit plutôt être considérée comme un « stockage à titre temporaire » des sédiments.

o0o

REFERENCES

Artelia (2013a). Port-La Nouvelle. Mission de maitrise d'œuvre pour l'agrandissement du port. Mission Hydro. Rapport relatif aux conditions hydro-sédimentaires sur site. Rapport N° 8713239-HYDRO-R01

Artelia (2013b). Port-La Nouvelle. Mission de maitrise d'œuvre pour l'agrandissement du port. Mission EP (Etudes Préliminaires). Rapport relatif aux conditions océano-météorologiques sur site. Rapport N° 8713239-EP-R001

Durand (1999). Evolution des plages du Golfe du Lion au vingtième siècle – cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle.

ANNEXE A

PRESENTATION DU LOGICIEL UNIBEST CL+

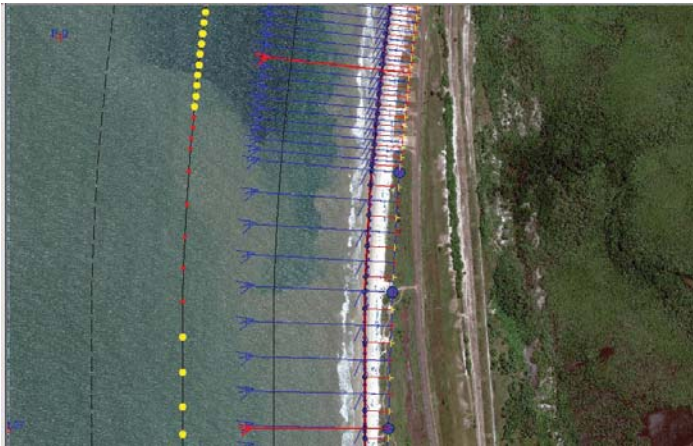
UNIBEST CL+ : transit littoral et évolution du trait de côte



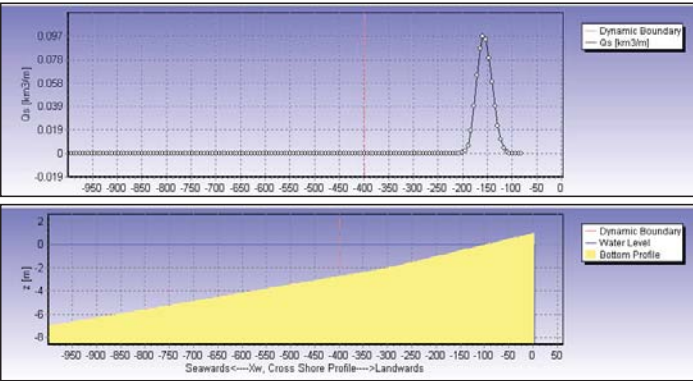
Le model UNIBEST-CL+ (Uniform Beach Sediment Transport), développé par Deltares, est un outil performant pour modéliser le transit littoral et l'évolution du trait de côte. L'évolution du trait de côte peut être calculée sur plusieurs dizaines d'années mais aussi pour des échelles de temps et spéciales plus réduites. Il permet donc d'évaluer l'évolution du littoral aux abords d'ouvrages côtiers et portuaires (épis, brise-lames, front de mer, port...).

Le trait de côte est défini par rapport à une ligne de référence qui peut être curviligne: cela permet de modéliser des littoraux complexes tels que des deltas, des baies, et même des îles complètes. Le calcul du transit littoral est réalisé en tenant compte de l'évolution dans le temps de l'orientation du trait de côte. La taille des cellules de calcul peut être adaptée le long du littoral en fonction des singularités à représenter (présence d'ouvrages...).

- Données d'entrées :**
- climat de houle : hauteur de houle significative, direction, période, pourcentage d'occurrence de chaque condition de houle;
 - régime de marée : courants de marée, niveau d'eau et pourcentage d'occurrence de chaque niveau d'eau;
 - profils de plage et définition de la hauteur active;
 - caractéristiques des sédiments (du sable non cohésif au gravier);
 - paramètres relatifs à la formule de calcul du transit sélectionnée : transport du sable (Bijker et van Rijn) ou des galets (Van der Meer et Pilarczyk).
 - paramètres relatifs à la propagation de la houle;
 - position et forme du trait de côte;
 - conditions aux frontières du modèle;
 - position et géométrie des ouvrages (épis, brise-lames...), des sources/puits;
 - des variations saisonnières du régime des vagues peuvent être simulées.
- Données calculées par le modèle:**
- caractéristiques de la houle le long de chaque profil de calcul;
 - distribution transversale des courants littoraux de houle et de marée;
 - distribution transversale du transit littoral;
 - relation entre le transit littoral et l'orientation du littoral;
 - gradients du transit littoral le long de la côte;
 - position et évolution de trait de côte.



UNIBEST-CL+ permet de visualiser directement les résultats de la modélisation (évolution du trait de côte) sur les photos satellites ou plans du projet. L'exportation des résultats vers les logiciels d'analyse (Excel, MapinfoTM, AutocadTM) est réalisée grâce aux fichiers ASCII générés automatiquement par le logiciel.



ARTELIA Maritime - Janvier 2012 - Système de Modélisation Littorale - 0

ANNEXE B

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL ET LES FONDS MARINS DE L'EXTENSION PORTUAIRE - PROJET DE METHODOLOGIE

SOMMAIRE

1. LES FACTEURS PHYSIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 1

1.1. ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER 1

1.2. - LA MODIFICATION DU REGIME DES HOULES ET DES TEMPETES 1

1.3. LES SURCOTES 1

1.4. LES COURANTS MARINS 2

1.5. CONCLUSION 2

2. LES EFFETS DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE – MOYENS ENVISAGEABLE S POUR LE COMPENSER 2

2.1. LES EFFETS DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE 2

2.2. MOYENS ENVISAGEABLES POUR LE COMPENSER 4

3. PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS L'EVALUATION DES IMPACTS SUR LE LITTORAL DU PROJET D'EXTENSION 5

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL ET LES FONDS MARINS DE L'EXTENSION PORTUAIRE - PROJET DE METHODOLOGIE

1. LES FACTEURS PHYSIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dans ce premier chapitre nous rappellerons les facteurs physiques du changement climatique qui interviennent dans la dynamique hydrosédimentaire et l'évolution du littoral.

Parmi les facteurs influencés par le changement climatique, ceux qui interviennent dans la dynamique sédimentaire littorale (côtière) sont :

- L'élévation du niveau de la mer,
- La modification du régime des houles et des tempêtes,
- Les surcotes,
- Les courants marins.

L'état des connaissances pour chacun de ces facteurs est indiqué ci-après, en s'appuyant sur l'ouvrage [1] : N° 55 d'Octobre 2011 « Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain » de la collection « Etudes et documents » Série « Prospective » de la Délégation au Développement Durable DDD) et du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) du Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des Transports et du Logement (MEDTL).

1.1. ELEVATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER

D'après [1] plusieurs estimations existent actuellement pour l'élévation du niveau de la mer. Les estimations basses vont de 0,18 m à 0,59 m pour 2100. D'autres sources proposent une élévation de l'ordre du mètre ou au-delà.

La note de Synthèse n°2 de février 2010 [2] « Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles » établie par La Direction générale de l'énergie et du climat / Service du climat et de l'efficacité énergétique / Observatoire National sur les effets du réchauffement climatique ((MEDTL) préconise en conclusion de retenir, « pour les études sur les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation possibles, les 3 hypothèses suivantes pour la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100 » :

- hypothèse optimiste : 0,40 m,
- hypothèse pessimiste : 0,60 m,
- hypothèse extrême : 1,0 m ;

1.2. - LA MODIFICATION DU REGIME DES HOULES ET DES TEMPETES

Actuellement d'après [1] « aucune tendance ne se dégage de façon très précise sur l'évolution des tempêtes.

Un tel avis est partagé par la plupart des auteurs traitant ce sujet. Notamment il n'existe pas de données chiffrées concordantes (comme c'est le cas pour l'élévation du niveau de la mer) concernant ce phénomène.

1.3. LES SURCOTES

Dans le cadre du projet DISCOBOLE (Données pour le Dimensionnement des Structures Côtières et des ouvrages de bord de mer à Longue Echéance) mené par EDF R&D associés et le CETMEF à l'UBO et au Laboratoire de Géographie Physique (CNRS), une base de données de surcotes a

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL ET LES FONDS MARINS DE L'EXTENSION PORTUAIRE - PROJET DE METHODOLOGIE

été réalisée par simulation numérique à partir de forçages météorologiques de 1979 à 2003 sur l'ensemble du littoral français métropolitain Atlantique-Manche-Mer du Nord.

L'analyse statistique menée sur les 25 années de surcotes produites a montré qu'aucune tendance ne pouvait être décelée quant à l'évolution des surcotes. La durée d'observation de 25 ans n'est pas encore cependant suffisante pour dégager des tendances liées au changement climatique à l'égard des phénomènes qu'on cherche à mettre en évidence.

Concernant les surcotes, comme pour le régime des houles, il n'existe pas de données chiffrées relatives aux évolutions des surcotes dans le futur.

1.4. LES COURANTS MARINS

Les courants marins qui ont un rôle significatif dans la dynamique hydro-sédimentaire littorale sont les courants proches du littoral, engendrés par les houles. En bordure littorale les courants engendrés par vents et les courants généraux ont une plus faible importance.

Pour ce qui est des courants généraux, à notre connaissance il n'y a pas d'informations sur les tendances évolutives suite au changement climatique.

Pour les courants engendrés par les vents et les houles, comme il n'a pas été mis en évidence de tendance évolutives tant des régimes des houles que des vents, ces courants ne devraient pas être significativement modifiés. Toutefois, les courants générés en bordure littorale par le processus de déferlement de la houle vont dépendre du niveau de la mer et du profil des fonds qui seront modifiés par l'élévation du niveau de la mer. Les conséquences résultant de ces modifications sont intégrées dans les effets de l'élévation du niveau de la mer.

1.5. CONCLUSION

Sur les facteurs prépondérants dans la dynamique sédimentaire littorale, il apparaît, dans l'état actuel des connaissances, que pour les houles, les surcotes et les courants généraux, il ne se dégage aucune tendance et qu'en conséquence il convient de considérer que les régimes actuels se poursuivront dans le futur, tout au moins à échéance de la période prise en compte pour l'évaluation des impacts. Pour les courants littoraux, les effets sont intégrés dans ceux de l'élévation du niveau de la mer.

Pour l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100, les trois hypothèses préconisées par [2] peuvent être retenues, à savoir :

- hypothèse optimiste : 0,4 m,
- hypothèse pessimiste : 0,6 m,
- hypothèse extrême : 1,0 m.

2. LES EFFETS DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE – MOYENS ENVISAGEABLES POUR LE COMPENSER

2.1. LES EFFETS DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER SUR L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

Il n'existe pas de modèles numériques permettant d'évaluer les effets de l'élévation du niveau de la mer sur l'évolution du trait de côte.

Le littoral situé au voisinage de Port – La Nouvelle étant soumis à un transit littoral très faible l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur l'évolution du trait de côte peut être évalué à l'aide

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL ET LES FONDS MARINS DE L'EXTENSION PORTUAIRE - PROJET DE METHODOLOGIE

de l'approche de Bruun (« Sea level rise as a cause of shore erosion » Journal of Water. Harb. Vol 88 pp 117-130)

Cette règle consiste à dire que l'élévation du niveau de la mer se produisant lentement, la plage et le cordon littoral (partie supérieure de la plage) vont s'adapter au fur et à mesure de l'élévation du niveau. En pratique pour le littoral au Sud et au Nord du port :

- Le littoral va reculer et la partie supérieure de la plage va s'élever de la même manière que le niveau de la mer. En effet la hauteur entre le niveau moyen de la mer et la partie supérieure de la plage restera constante car cette dernière est formée par le phénomène de « swash » (remontée des vagues sur la plage) lequel reste constant au cours du temps du fait que le régime des houles reste inchangé.
- Le profil de plage va se traduire vers l'intérieur des terres et se modifier avec un transfert des sables des petits fonds et de la plage vers les fonds plus importants et ce jusqu'à la profondeur de fermeture des houles (profondeur d'action limite des houles, c'est-à-dire la profondeur au-delà de laquelle les transports sédimentaires dus aux houles sont nuls ou négligeables).

Le graphique ci-dessous résume ce phénomène.

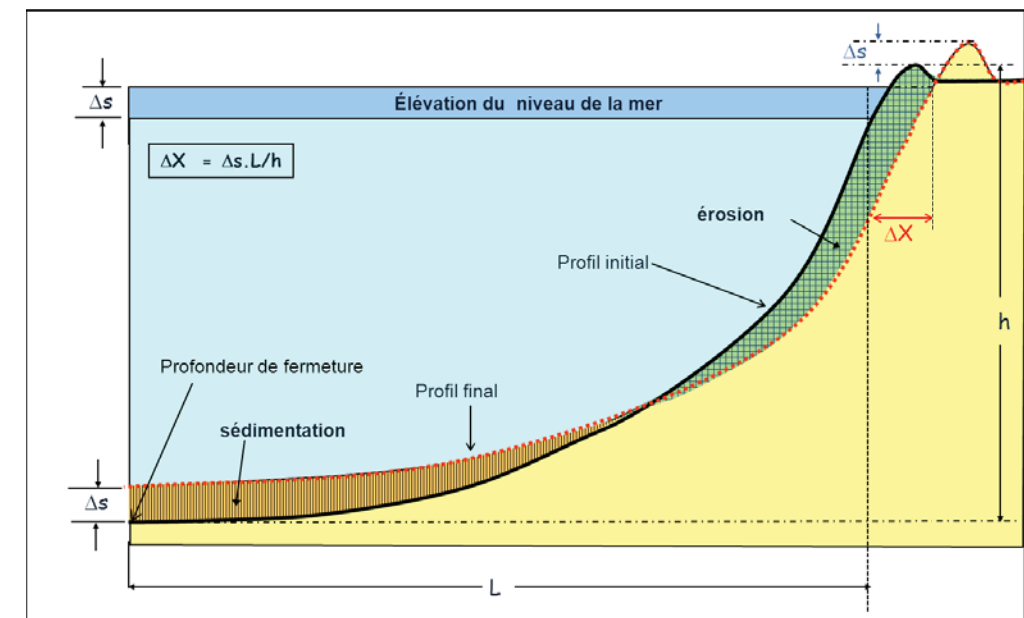


Figure 1 : Approche théorique de Bruun

Dans ce graphique :

- Δs (m) : est l'élévation du niveau moyen de la mer,
- h (m) : est la hauteur entre la partie supérieure de la plage et la profondeur de fermeture,
- L (m) : distance entre la partie supérieure de la plage et la profondeur de fermeture.
- ΔX (m) le recul du littoral engendré par l'élévation du niveau de la mer de Δs .

Dans le cas du littoral de Port – La Nouvelle la profondeur de fermeture (voir rapport hydrosédimentaire) est à -10,0 m IGN69 et le haut de plage à la côte +1,0 m IGN69. La distance entre le haut de plage et la profondeur de fermeture est de l'ordre de 1 300 m tant au Nord qu'au Sud du port.

Ainsi les reculs du trait de côte dus à l'élévation du niveau de la mer à l'horizon 2100 seraient de :

- 50 m pour l'hypothèse optimiste (élévation du niveau de la mer de 0,40 m),

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL ET LES FONDS MARINS DE L'EXTENSION PORTUAIRE - PROJET DE METHODOLOGIE

- 70 m pour l'hypothèse pessimiste (élévation du niveau de la mer de 0,60 m),
- 120 m pour l'hypothèse extrême (élévation du niveau de la mer de 1,00 m),

Remarque : En considérant une profondeur de fermeture à -6,0 m, que l'on trouve dans certains documents, la distance entre le haut de plage et l'isobathe -6,0 m est de 700 m ce qui conduit à des reculs allant de 40 m pour l'hypothèse optimiste à 100 m pour l'hypothèse extrême soit des valeurs de recul un peu plus faibles que celles indiquées ci-dessus mais du même ordre de grandeur.

Ce recul s'ajoutera aux évolutions naturelles engendrées par la dynamique hydrosédimentaire.

Il est à noter que le régime des houles n'étant pas modifié, l'énergie des houles dans la zone active du régime hydro-sédimentaire (haut de plage à la profondeur de fermeture), qui est le moteur de la dynamique hydro-sédimentaire, restera inchangée. Ainsi globalement les transits sédimentaires totaux et résultants resteront inchangés, par contre leurs répartitions transversales dans le profil le seront du fait que le « profil d'équilibre moyen » sera modifié.

Pour ce qui est des surcotes, celles-ci étant inchangées et la partie supérieure de la plage augmentant avec le niveau de la mer, la fréquence de la submersion de l'arrière plage ne devrait pas être modifiée mais les niveaux et hauteurs de submersion le seront, le niveau de l'arrière plage restant celui qu'il est aujourd'hui. En conséquence les volumes d'eau passant au-dessus de la plage pendant la période de surcote seront plus importants que ceux observés actuellement ce qui pourra entraîner des temps plus longs de reconstitution de cette dernière que ceux observés actuellement.

2.2. MOYENS ENVISAGEABLES POUR LE COMPENSER

Le projet d'extension portuaire va, du fait des dragages d'approfondissement, dégager des volumes de sables importants. Compte tenu du processus d'érosion prévisible et sans préjuger de l'impact du port sur le littoral, il est intéressant de s'interroger sur la possibilité de procéder à des apports de sables massifs sur les plages au Sud et au Nord du port afin de les élargir pour anticiper l'érosion future due au seul changement climatique.

Ainsi si les sables à draguer ont les qualités granulométriques requises (les sables à draguer situés dans les couches superficielles les ont, reste à vérifier que c'est le cas pour les sédiments profonds), des apports de sables pourraient être effectués sur 6 km de littoral (3 km au Nord et 3 km au Sud).

De telles zones peuvent être directement rechargées par la (où les) drague(s) stationnaire(s) assurant l'approfondissement du bassin portuaire qui refoulerai(en)t les sables par l'intermédiaire de conduites. Un tel apport direct ne nécessite pas de stocks intermédiaires ce qui limite les impacts du dragage – refoulement et n'engendre pas de coûts supplémentaires importants. En considérant la profondeur de fermeture à -10,0 m et la partie supérieure de la plage à +1,0 m, un volume de 11 m³ est nécessaire pour faire avancer la plage de 1,0 m sur un linéaire de 1,0 m soit 66 000 m³ pour faire avancer la plage de 1 m sur le linéaire de 6 km mentionné ci-dessus. Ainsi pour « compenser » le recul prévisible du à l'élévation du niveau de la mer il faudrait un apport de :

- 3,3 millions de m³ (avancée de la plage de 50 m) pour l'hypothèse optimiste,
- 4,6 millions de m³ (avancé de la plage de 70 m) pour l'hypothèse pessimiste.

Bien entendu, ces valeurs sont données à titre indicatif pour fixer les idées. Si une telle opération est envisagée, dans un premier temps il faudra s'assurer de la compatibilité des sables à draguer avec le rechargement des plages et dans un deuxième temps examiner les aspects techniques et réglementaires du rechargement tant pour les plages que dans le cadre du projet d'extension.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE PORT-LA NOUVELLE

PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES IMPACTS SUR LE LITTORAL ET LES FONDS MARINS DE L'EXTENSION PORTUAIRE - PROJET DE METHODOLOGIE

3. PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS L'EVALUATION DES IMPACTS SUR LE LITTORAL DU PROJET D'EXTENSION

Les impacts du projet portuaire sur l'évolution du trait de côte seront évalués à l'aide d'une modélisation numérique basée sur le code de calcul UNIBEST-TC. Cette modélisation qui couvre le littoral entre Cap Leucate et Saint-Pierre-sur-Mer ne peut, comme indiqué ci-avant prendre en compte l'élévation du niveau de la mer. Pour intégrer ce phénomène nous proposons de mettre en œuvre la méthode présentée ci-après.

Une fois le modèle calé (méthode historique consistant à reproduire des évolutions passées et plus particulièrement la période 1991 - 2012) il permettra de calculer la position du trait de côte à 20 ans en partant de l'état 2012 (état initial) d'une part dans l'état actuel (sans le projet) et d'autre part avec le projet d'extension ce qui permettra d'en déduire, par comparaison des résultats, l'impact du projet sur l'évolution du trait de côte.

Pour la position du trait de côte à l'horizon 2100 pour les deux cas (sans et avec projet) nous proposons de :

- Définir la position du trait de côte à 2100, sans prise de l'élévation du niveau de la mer, par extrapolation de l'évolution des résultats sur 20 ans obtenus à l'aide du modèle comme cela est fait dans le cadre des PPRL,
- D'ajouter ensuite le recul du trait de côte dû à l'impact de l'élévation du niveau de la mer tel que décrit au § 2.1

Ceci permettra d'évaluer les positions du trait de côte à l'échéance 2100 avec et sans le projet et d'en déduire une tendance concernant l'impact du projet incluant la surélévation liée au changement climatique.

Il est à noter que si des apports de sables étaient effectués sur le littoral comme indiqué au §2.2, ils pourraient être pris en compte sur le modèle qui permettrait d'évaluer leurs effets sur l'évolution à long terme du trait de côte et en particulier de comparer la situation sans et avec apports de sables.

ANNEXE C FIGURES

PORT - LA NOUVELLE
Mission de Maîtrise d'Œuvre pour l'agrandissement du port



Annexe C : Figures



Figure C1 : Climats de houle schématisés dans le modèle d'évolution du trait de côte sur les 17 points considérés

P10						P30						P50						P70						P90						P110					
H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.
0	1,00	7,8	89	41,5	11,4%	0	1,00	7,6	94	41,5	11,4%	0	1,01	7,7	96	41,5	11,4%	0	0,95	7,4	96	41,1	11,3%	0	0,79	6,5	96	38,2	10,5%	0	0,71	6,3	96	36,0	9,9%
0	2,09	9,1	100	23,1	6,3%	0	2,11	9,2	105	23,0	6,3%	0	2,11	9,3	107	23,1	6,3%	0	2,12	9,2	107	23,4	6,4%	0	2,12	9,2	107	23,4	6,4%	0	2,03	9,2	107	28,5	7,8%
0	1,72	7,8	110	8,6	2,4%	0	1,68	7,9	115	8,2	2,2%	0	1,76	8,3	117	8,1	2,2%	0	1,77	8,2	117	8,1	2,2%	0	1,76	8,2	117	8,1	2,2%	0	1,90	7,2	117	8,1	2,2%
0	1,20	7,2	120	8,1	2,2%	0	1,25	7,0	125	8,3	2,3%	0	1,29	7,0	127	7,7	2,1%	0	1,33	7,1	127	7,8	2,1%	0	1,28	7,0	127	7,1	1,9%	0	1,35	7,3	127	7,4	2,0%
0	0,85	7,1	130	25,1	6,9%	0	0,90	7,4	135	20,1	5,5%	0	0,93	7,6	137	20,2	5,5%	0	1,01	7,7	137	14,9	4,1%	0	1,05	7,8	137	15,5	4,2%	0	1,02	7,7	137	15,3	4,2%
0	0,57	5,7	145	87,1	23,9%	0	0,58	5,7	149	92,0	25,2%	0	0,59	5,7	151	92,8	25,4%	0	0,61	5,8	151	98,1	26,9%	0	0,62	5,9	152	98,2	26,9%	0	0,62	5,9	152	98,2	26,9%

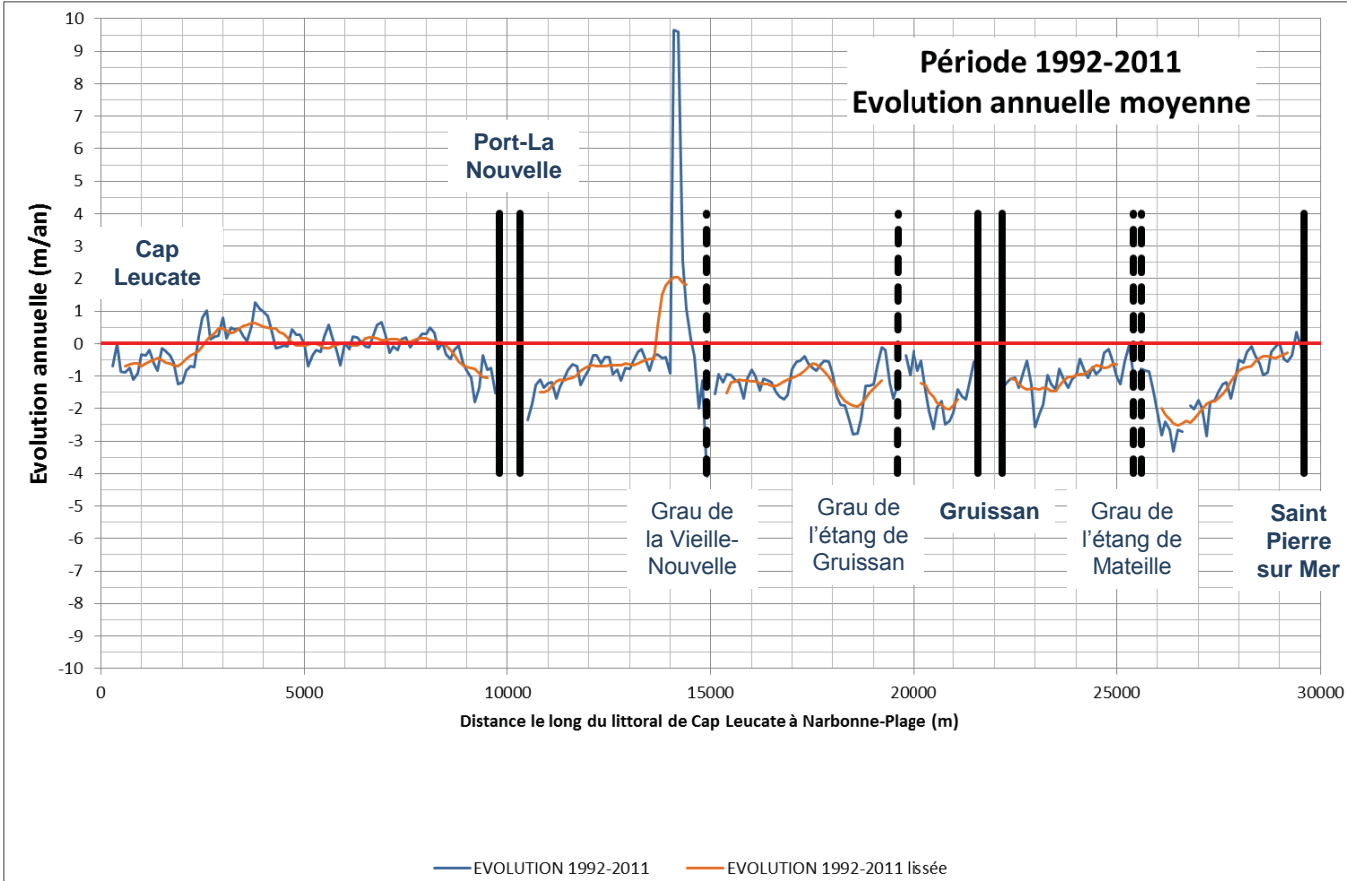
P130						P140						P150						P160						P170						P190					
H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.
0	0,63	5,7	96	33,2	9,1%	0	0,65	5,8	96	33,3	9,1%	0	0,63	5,7	96	33,2	9,1%	0	0,63	5,7	96	33,2	9,1%	0	0,63	5,7	96	33,2	9,1%	0	0,55	5,5	96	30,3	8,3%
0	1,74	8,4	107	29,3	8,0%	0	1,77	8,5	107	29,4	8,1%	0	1,55	8,0	107	26,7	7,3%	0	1,55	8,0	107	26,7	7,3%	0	1,55	8,0	107	26,7	7,3%	0	1,37	7,8	107	26,7	7,3%
0	2,41	9,7	117	10,1	2,8%	0	2,40	9,6	117	10,1	2,8%	0	2,55	9,6	117	12,7	3,5%	0	2,55	9,7	117	12,7	3,5%	0	2,52	9,6	117	12,7	3,5%	0	2,52	9,5	117	15,7	4,3%
0	1,21	6,6	127	6,9	1,9%	0	1,29	6,9	127	7,0	1,9%	0	1,21	6,7	127	6,9	1,9%	0	1,21	6,6	127	6,9	1,9%	0	1,21	6,6	127	6,9	1,9%	0	1,31	7,7	127	7,0	1,9%
0	1,12	8,0	137	10,2	2,8%	0	1,14	7,9	137	10,2	2,8%	0	1,11	7,8	137	10,1	2,8%	0	1,15	7,9	137	9,1	2,5%	0	1,14	7,8	137	9,1	2,5%	0	1,09	7,8	137	8,5	2,3%
0	0,66	6,1	153	103,6	28,4%	0	0,67	6,1	153	103,7	28,4%	0	0,66	6,1	153	103,6	28,4%	0	0,68	6,4	153	104,8	28,7%	0	0,68	6,3	153	104,7	28,7%	0	0,69	6,4	153	105,4	28,9%

P210						P230						P250						P270						P290											
H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.	H0	Hs	TP	Dir	Jours	Occ.
0	0,47	5,5	96	22,0	6,0%	0	0,50	5,8	95	15,8	4,3%	0	0,46	5,5	95	15,7	4,3%	0	0,43	6,3	95	15,3	4,2%	0	0,43	5,3	95	15,3	4,2%	0	0,43	5,3	95	15,3	4,2%
0	1,19	7,7	107	32,8	9,0%	0	1,06	7,4	107	38,9	10,7%	0	1,04	7,5	107	37,1	10,2%	0	0,98	8,2	107	37,2	10,2%	0	0,97	7,1	107	37,2	10,2%	0	0,97	7,1	107	37,2	10,2%
0	2,87	6,7	117	17,8	4,9%	0	2,33	9,1	117	17,5	4,8%	0	2,26	9,1	117	19,5	5,3%	0	2,22	10,2	117	19,3	5,3%	0	2,22	9,2	117	19,3	5,3%	0	2,22	9,2	117	19,3	5,3%
0	1,53	8,2	127	7,1	2,0%	0	1,57	8,1	127	7,3	2,0%	0	1,67	8,5	127	7,4	2,0%	0	1,76	9,3	127	7,9	2,2%	0	1,68	8,4	127	7,8	2,1%	0	1,68	8,4	127	7,8	2,1%
0	1,00	7,0	137	8,2	2,2%	0	1,00	7,1	137	8,2	2,2%	0	1,00	7,1	137	8,2	2,2%	0	1,00	7,9	137	8,2	2,2%	0	0,98	7,0	137	8,2	2,2%	0	0,98	7,0	137	8,2	2,2%
0	0,71	6,5	153	105,7	29,0%	0	0,71	6,5	153	105,7	29,0%	0	0,71	6,5	153	105,5	28,9%	0	0,72	7,5	155	105,8	29,0%	0	0,72	6,5	156	105,6	28,9%	0	0,72	6,5	156	105,6	28,9%



MOE PORT LA NOUVELLE – Groupement ARTELIA – CREOCOAN – GAXIEU 1

Figure C2 : Evolution du trait de côte en nature sur la période 1992-2011 - Taux d'évolution moyen annuel



MOE PORT LA NOUVELLE – Groupement ARTELIA – CREOCOAN – GAXIEU 2

Figure C3 : Transit littoral modélisé sur la période 1992-2011 entre Cap Leucate et Narbonne-Plage

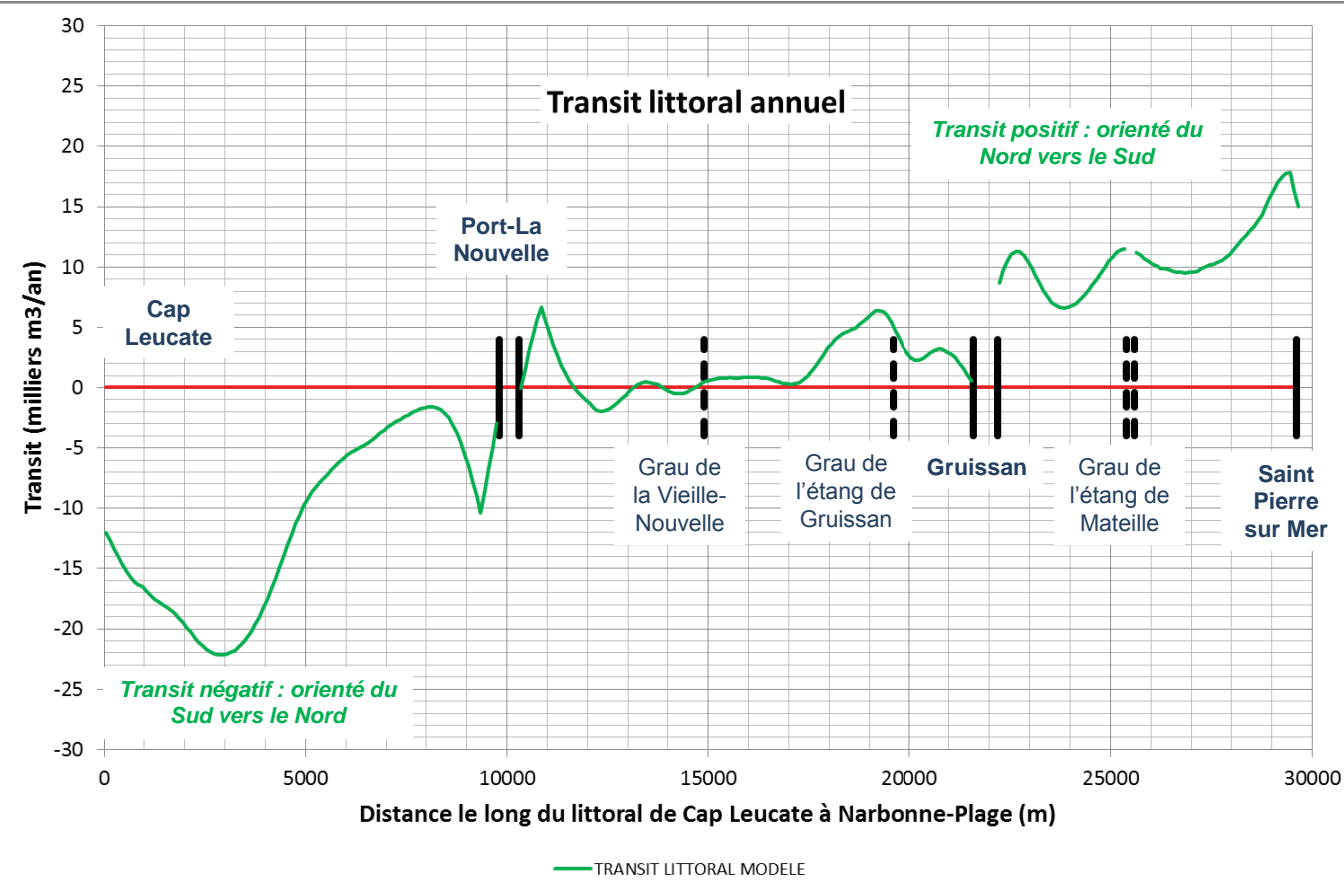


Figure C4 : Evolution du trait de côte sur la période 1992-2011
Taux d'évolution moyen annuel - Comparaison nature-modèle

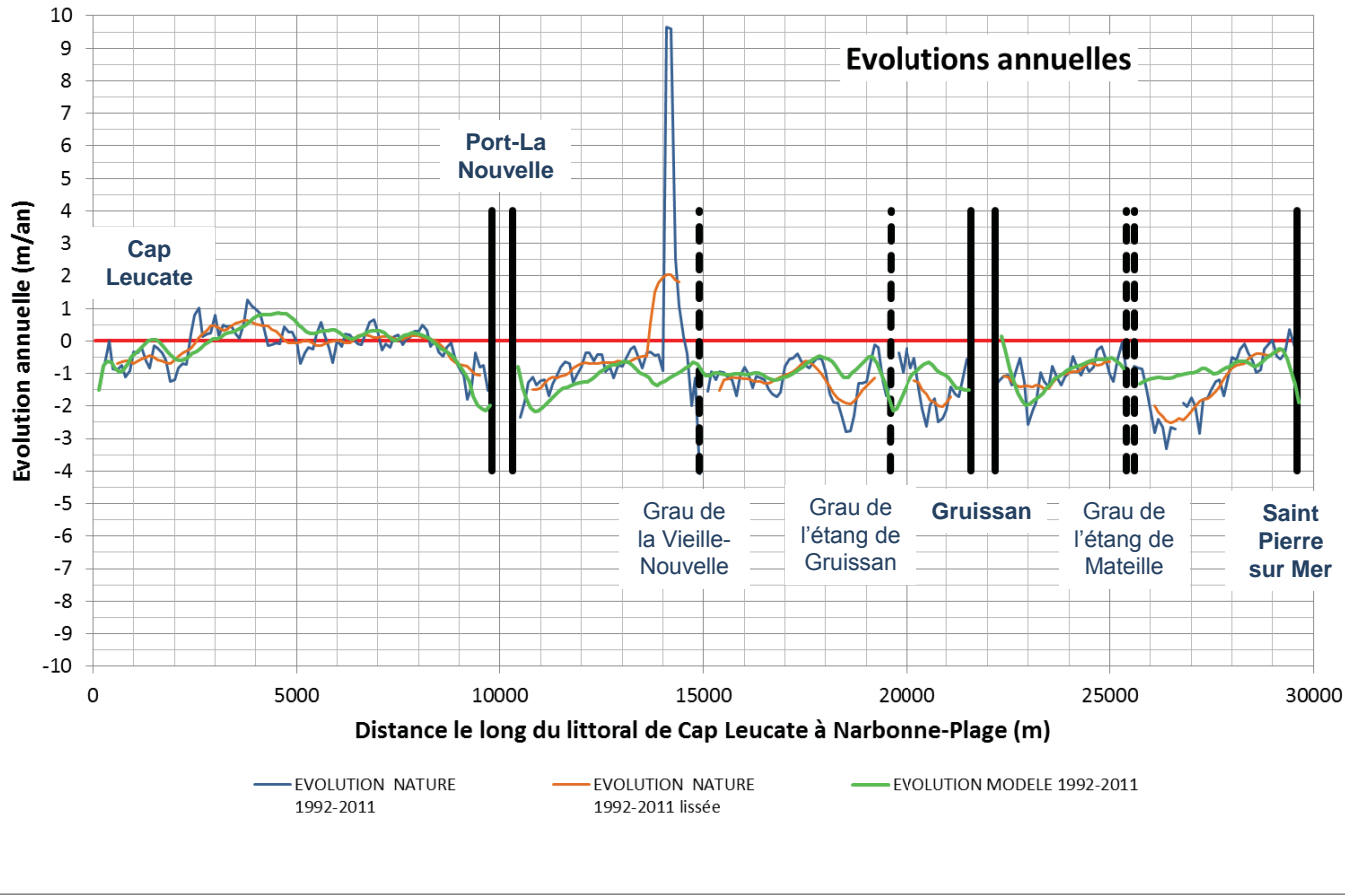


Figure C5 : Période 1992-2011 - Positions du trait de côte initiale et finale en nature et sur le modèle



Figure C6 : Période 1992-2011 - Positions du trait de côte initiale et finale en nature et sur le modèle - Vue de détail sur Port-La Nouvelle

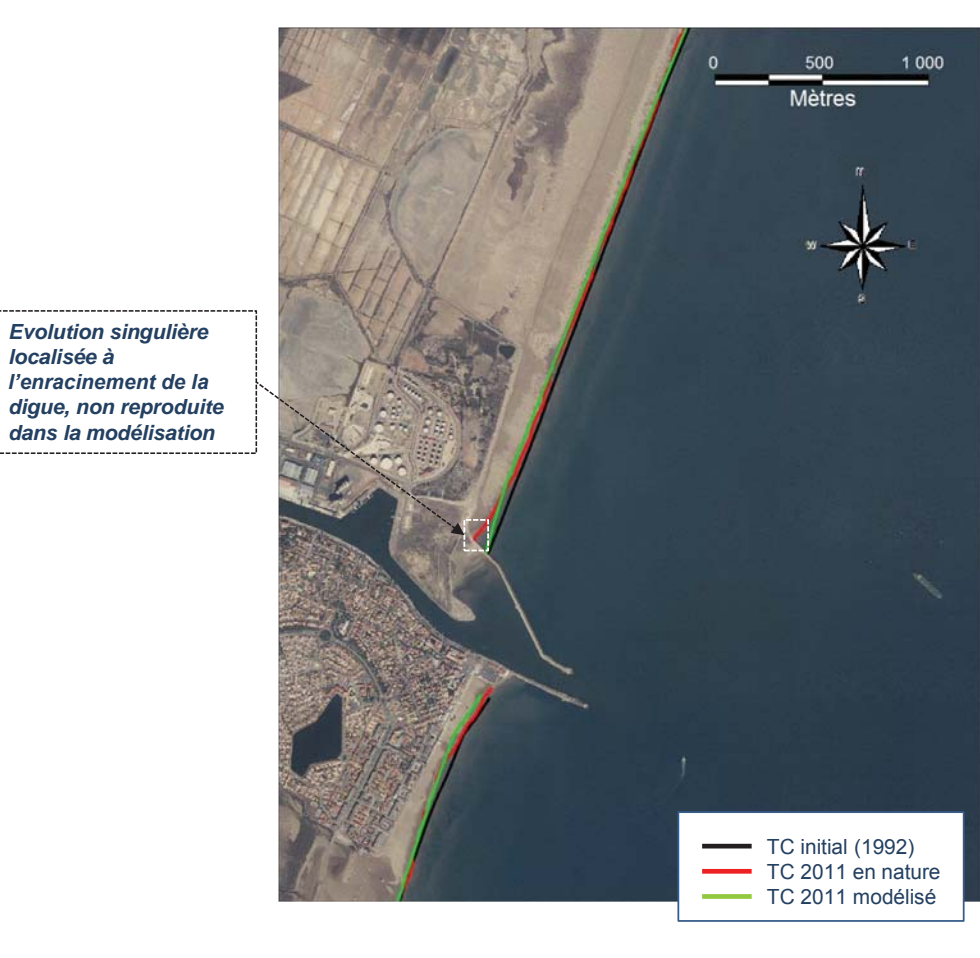


Figure C7 : Evolutions du trait de côte à 20 ans sans et avec aménagement (extension portuaire)

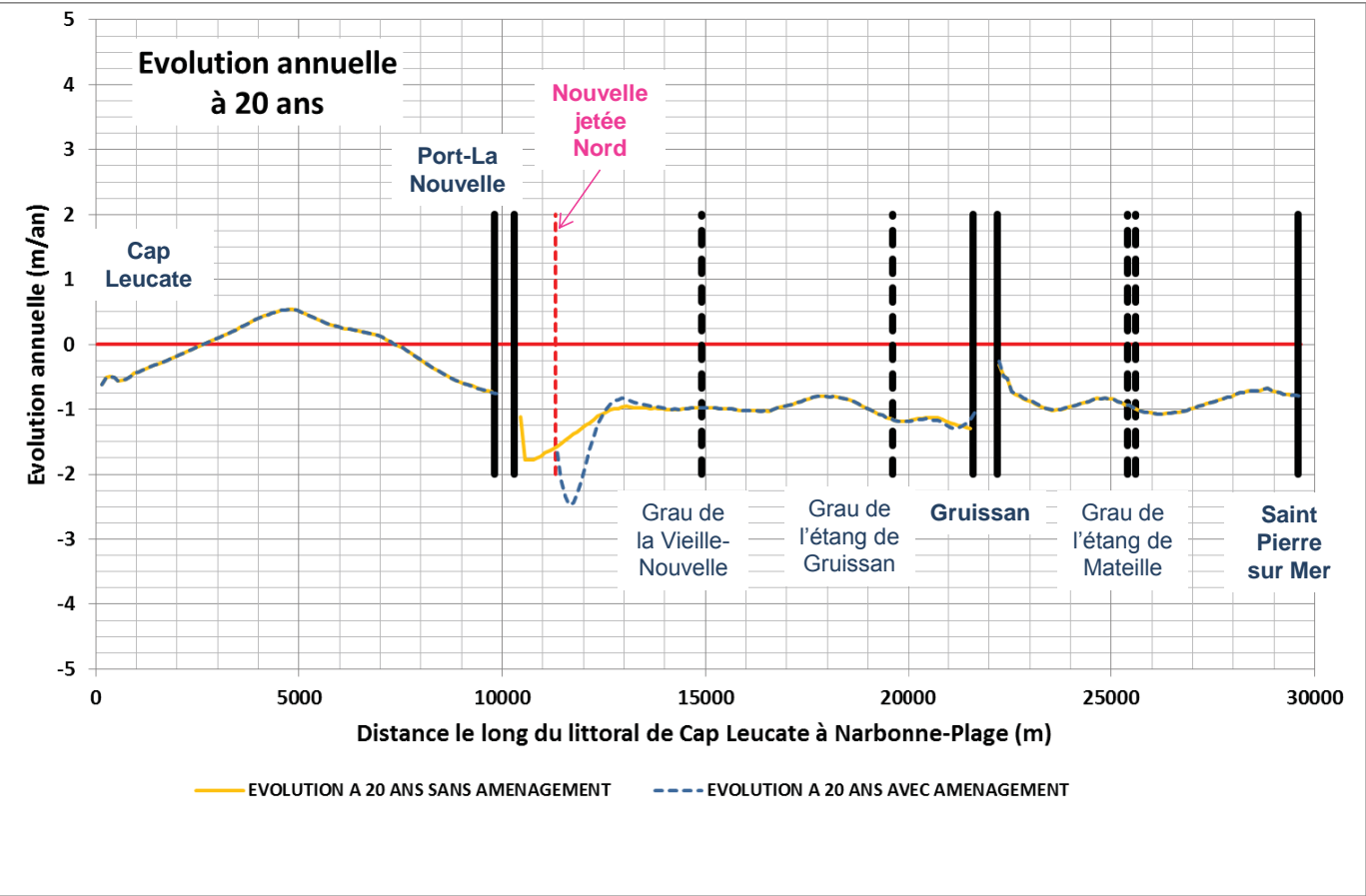


Figure C8 : Positions du trait de côte à 20 ans sans et avec l'extension portuaire



Figure C9 : Positions du trait de côte à 20 ans sans et avec extension portuaire - Vue de détail sur Port-La Nouvelle

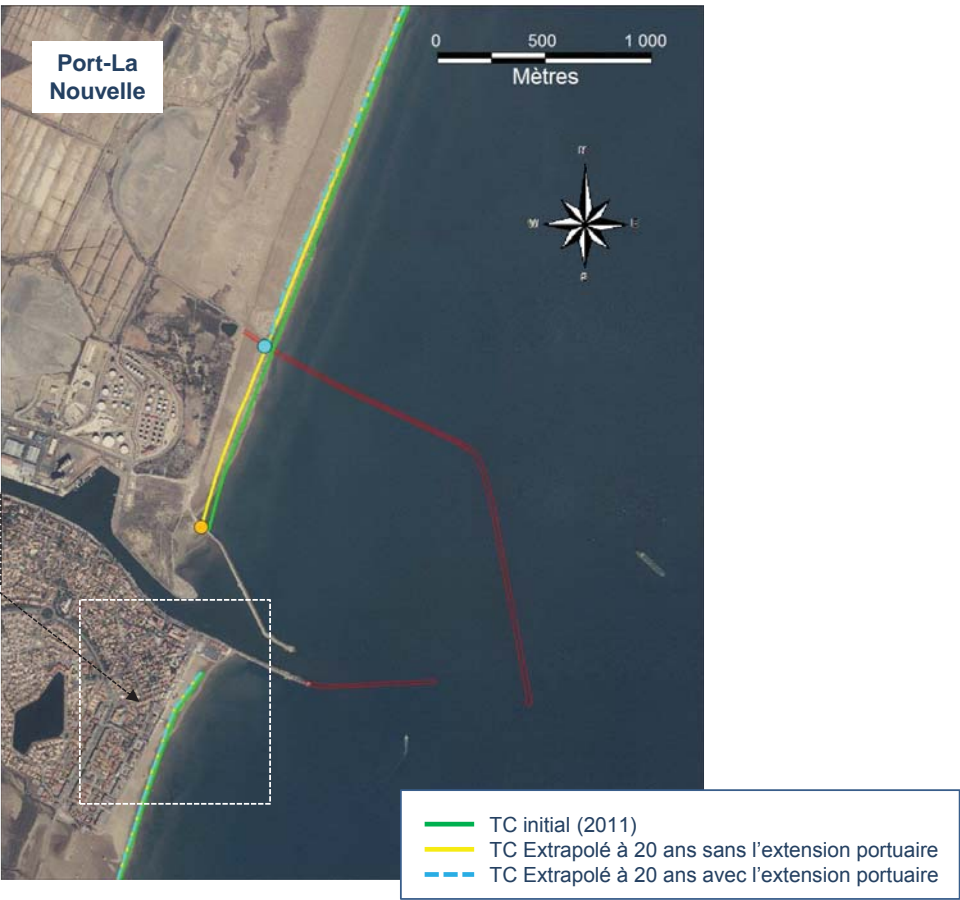


Figure C10 : Tendances évolutives – Extrapolation à l’horizon 2100 (sans effet du réchauffement climatique) sans aménagement

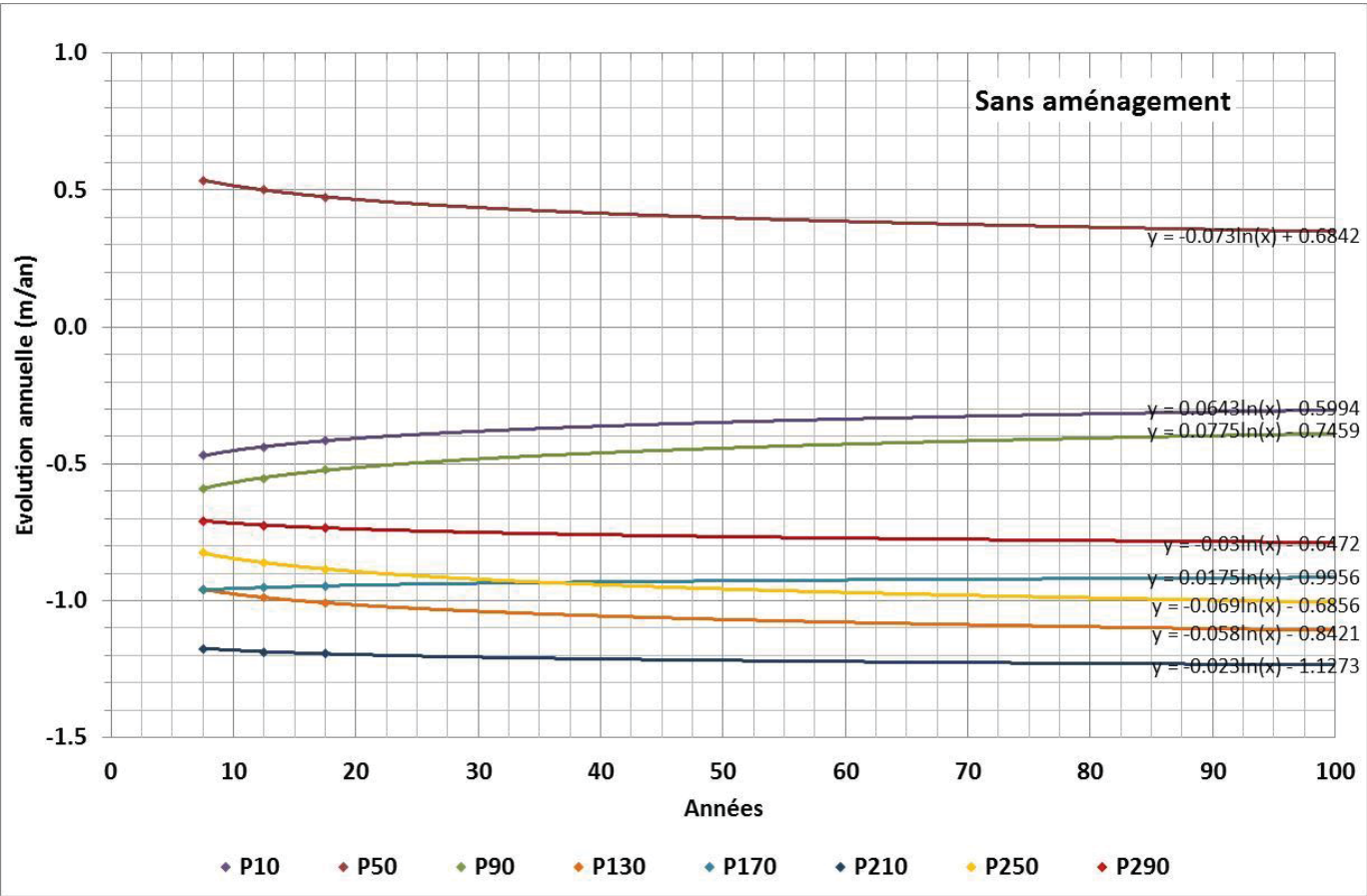
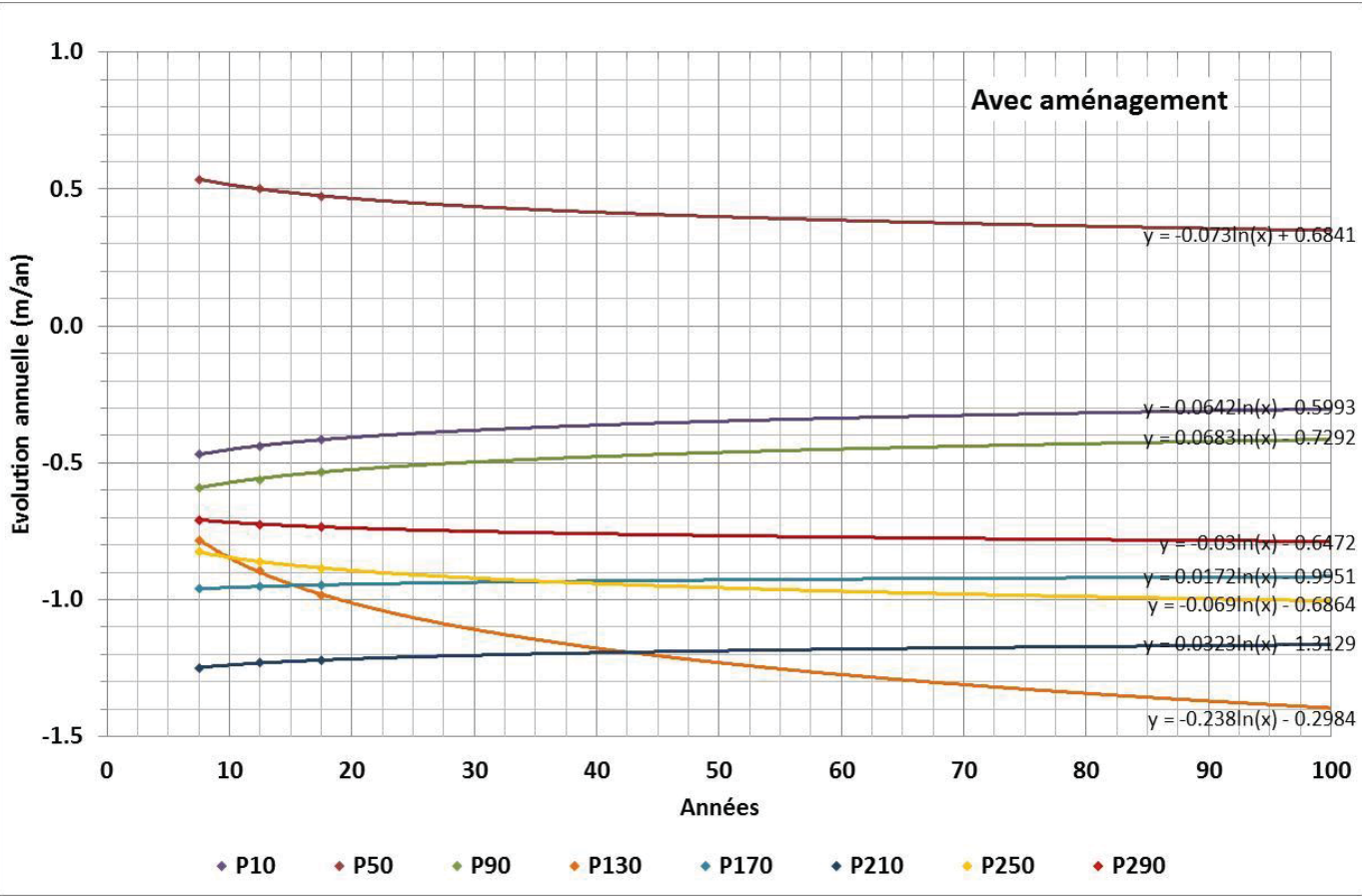
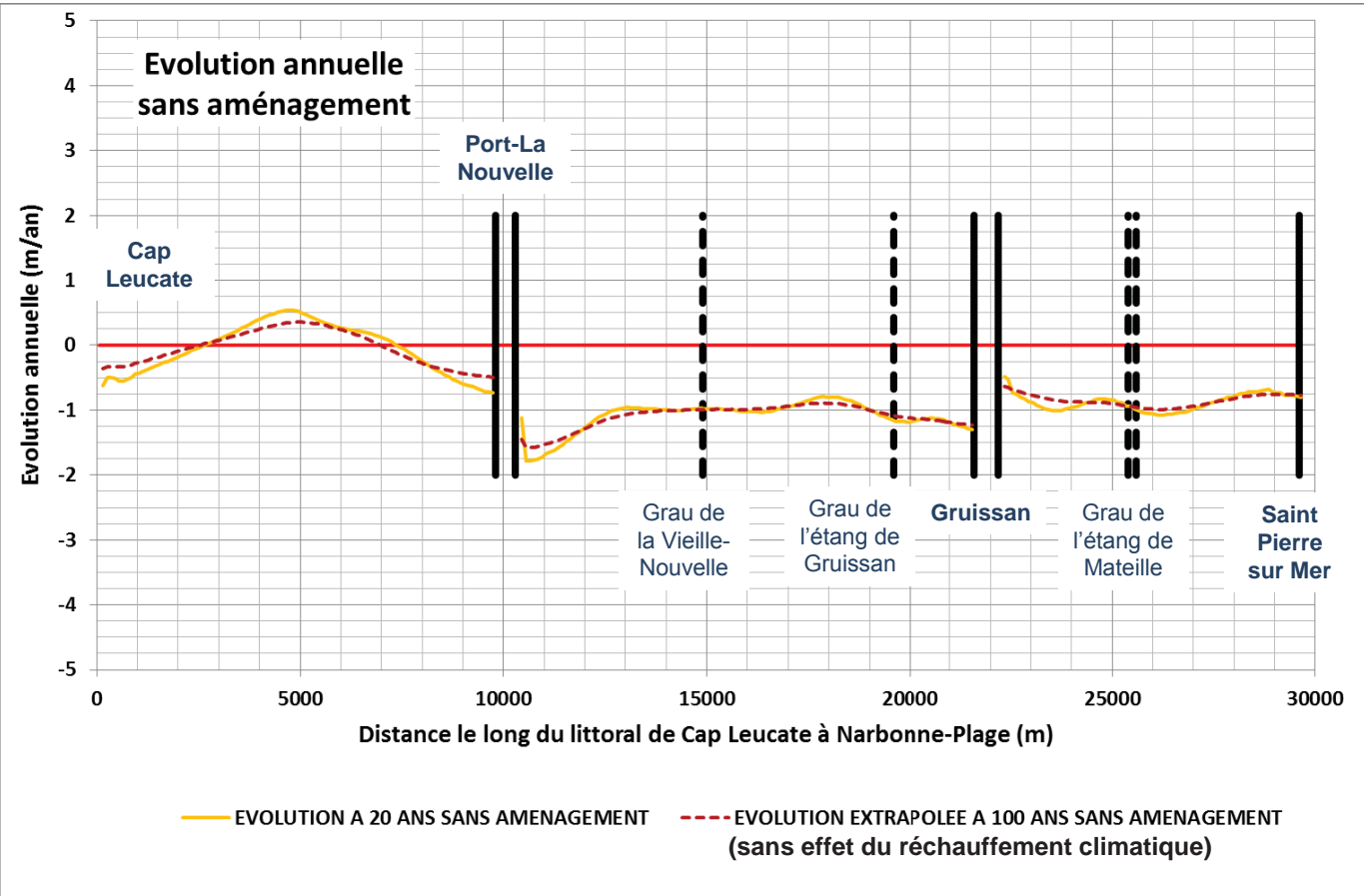


Figure C11 : Tendances évolutives – Extrapolation à l’horizon 2100 (sans effet du réchauffement climatique) avec aménagement



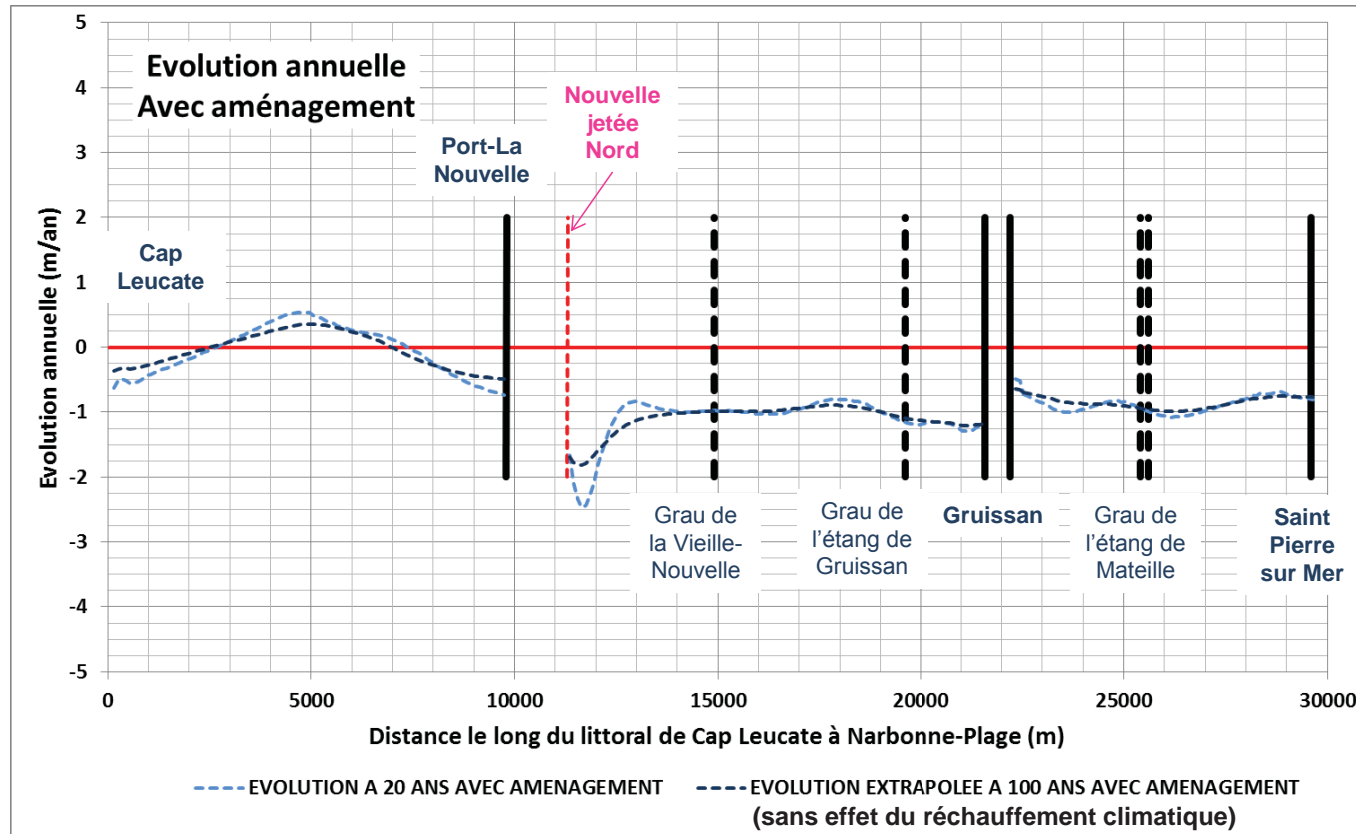
MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 11

Figure C12 : Taux d'évolution annuel du trait de côte extrapolé à l'horizon 2100 (sans effet du réchauffement climatique) sans nouvel aménagement



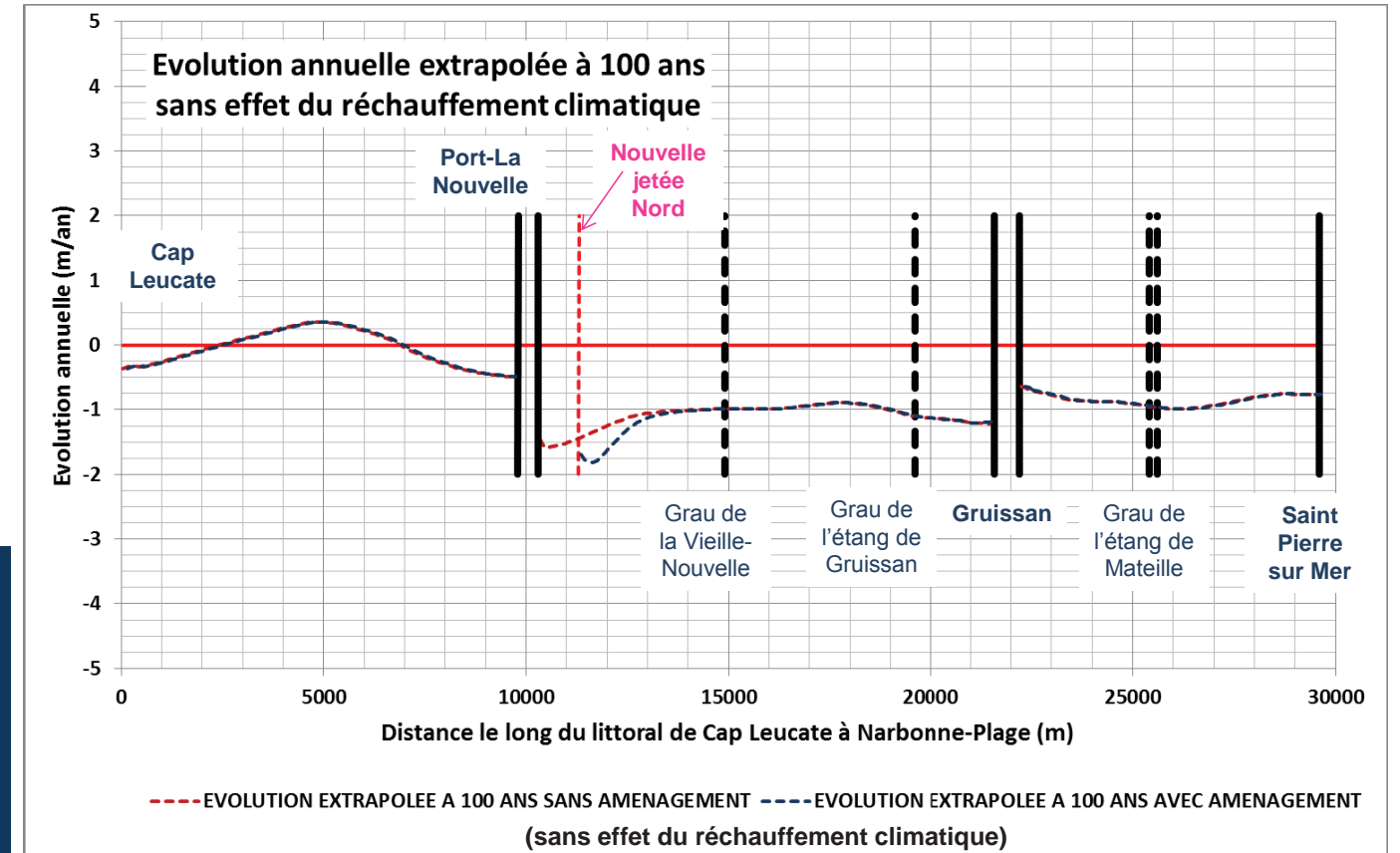
MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 12

Figure C13 : Taux d'évolution annuel du trait de côte extrapolé à l'horizon 2100 (sans effet du réchauffement climatique) avec extension portuaire



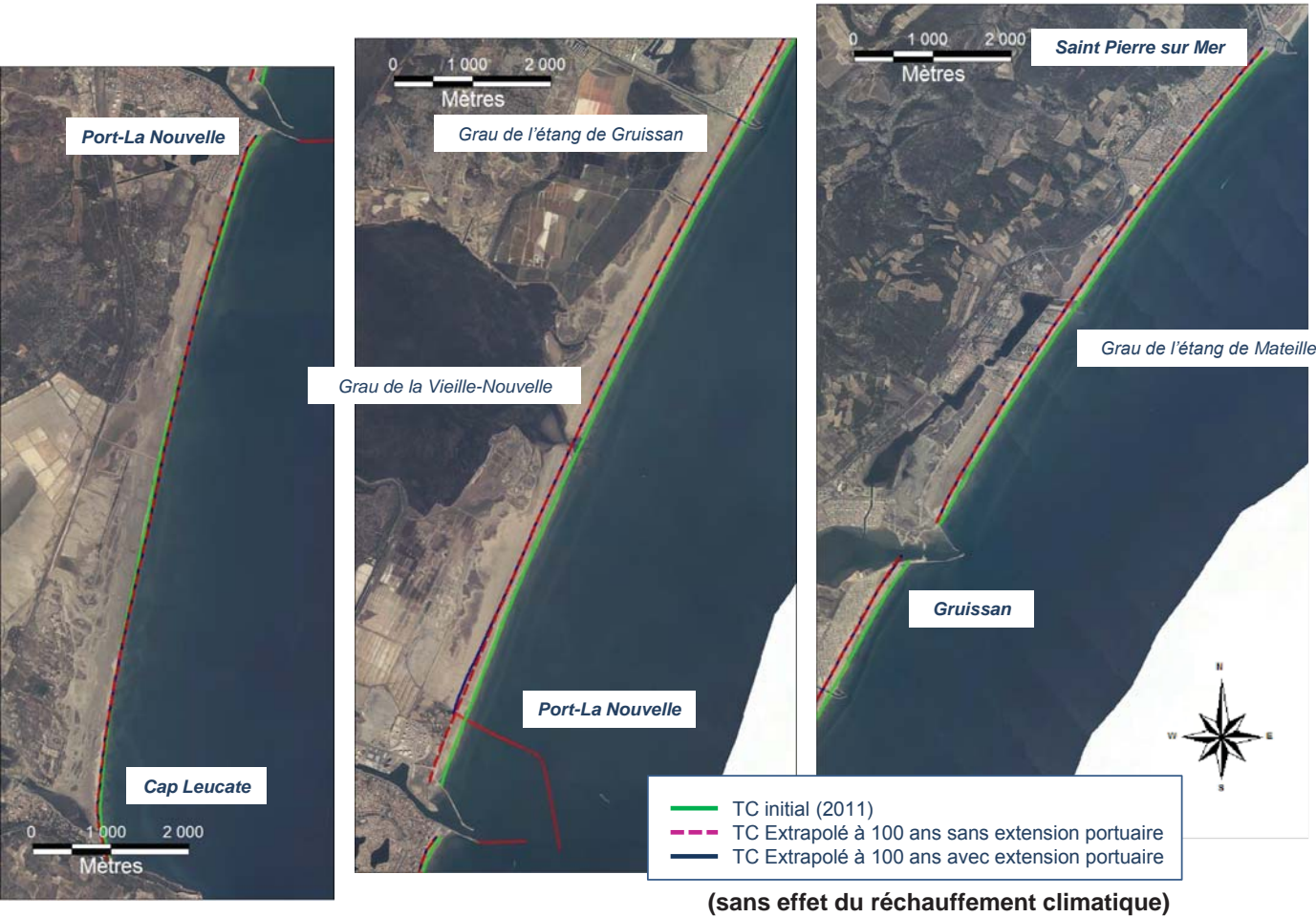
MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 13

Figure C14 : Evolutions du trait de côte extrapolées à l'horizon 2100 sans et avec aménagement (sans effet du réchauffement climatique)



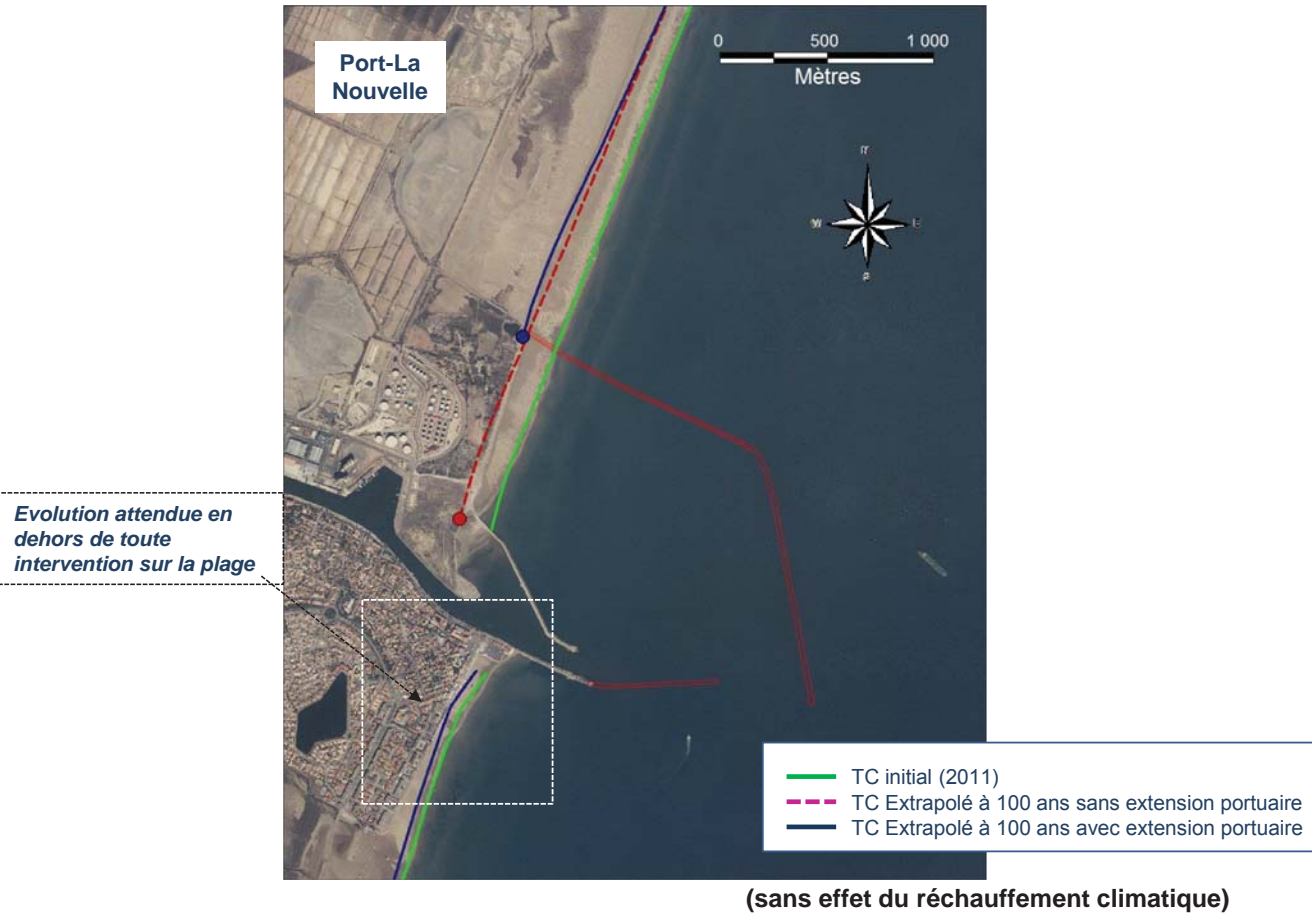
MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 14

Figure C15 : Position du trait de côte – Extrapolation à l’horizon 2100 sans effet du réchauffement climatique - Sans et avec l’extension portuaire



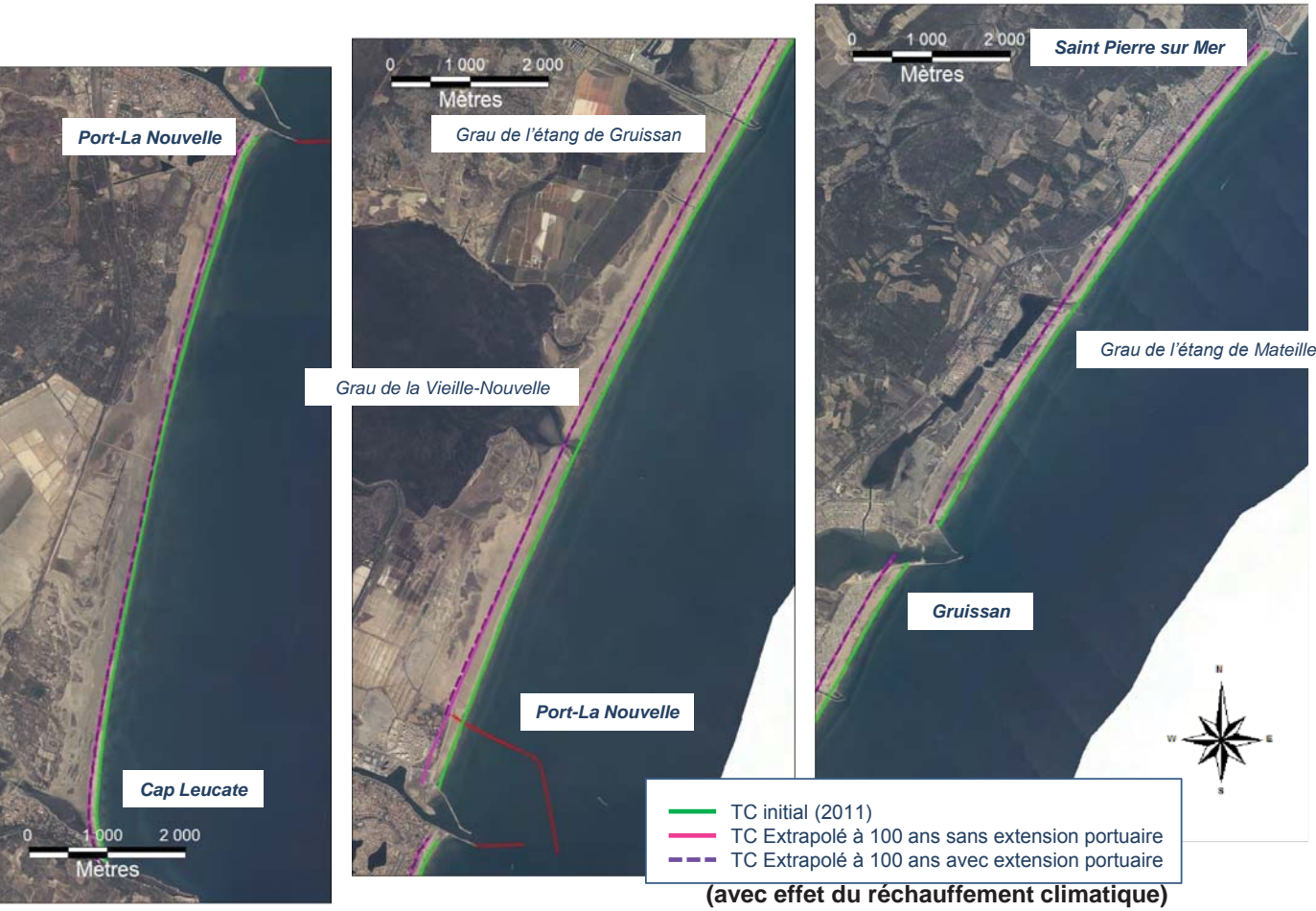
MOE PORT LA NOUVELLE – Groupement ARTELIA – CREOCEAN – GAXIEU 15

Figure C16 : Position du trait de côte – Extrapolation à l’horizon 2100 sans effet du réchauffement climatique - Sans et avec l’extension portuaire - Vue de détail sur Port-La Nouvelle



MOE PORT LA NOUVELLE – Groupement ARTELIA – CREOCEAN – GAXIEU 16

Figure C17 : Position du trait de côte – Extrapolation à l’horizon 2100 ans avec effet du réchauffement climatique sans et avec l’extension portuaire



MOE PORT LA NOUVELLE – Groupement ARTELIA – CREOCEAN – GAXIEU 17

Figure C18 : Position du trait de côte – Extrapolation à l’horizon 2100 avec effet du réchauffement climatique sans et avec l’extension portuaire - Vue de détail sur Port-La Nouvelle



MOE PORT LA NOUVELLE – Groupement ARTELIA – CREOCEAN – GAXIEU 18

Figure C19 : Scénarios de rechargement RN1 & RN2 - Littoral Nord

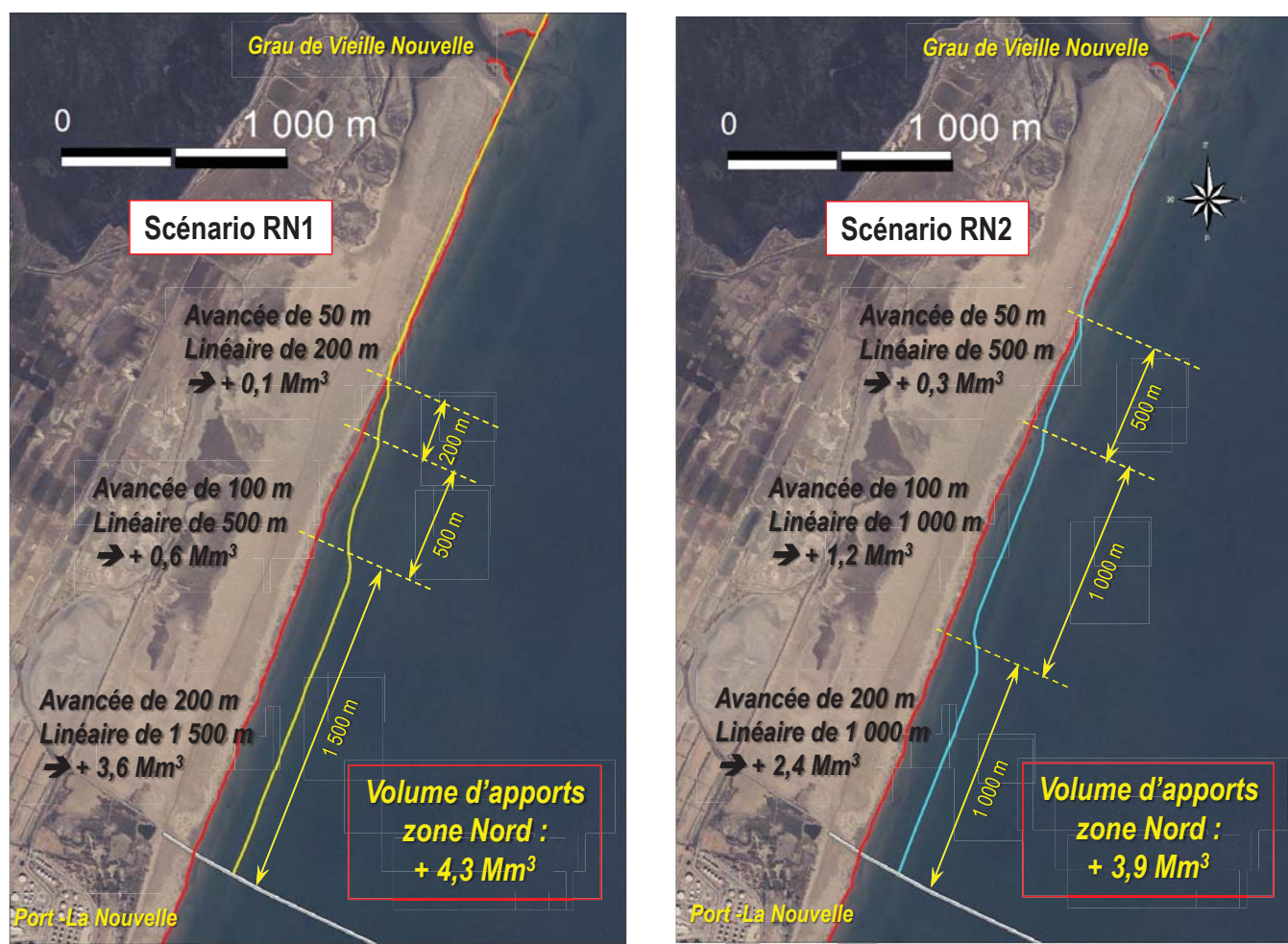


Figure C20 : Scénarios de rechargement RS1 & RS2 - Littoral Sud

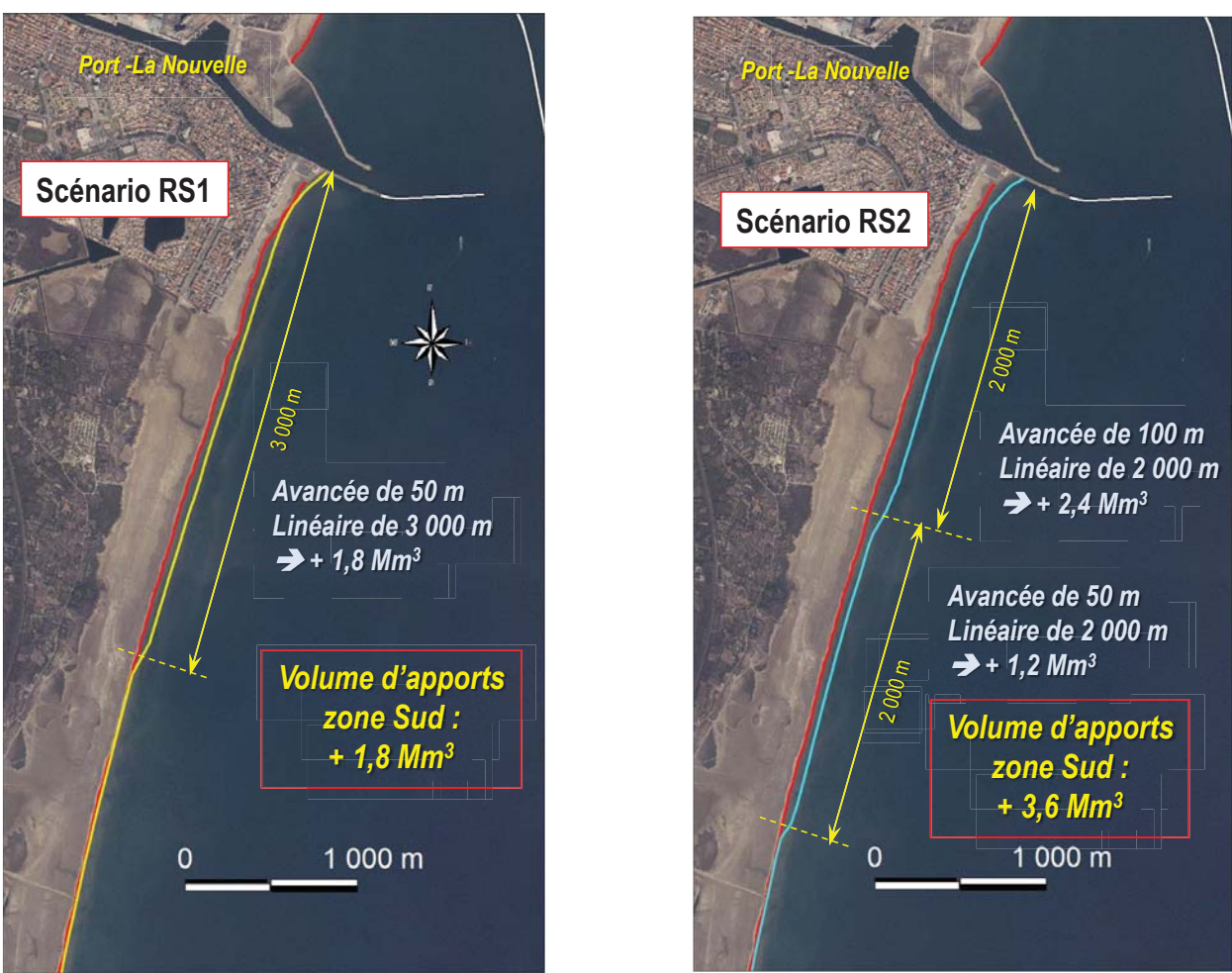


Figure C21 : Evolution moyenne annuelle du trait de côte à 20 ans
Configuration actuelle - Sensibilité aux caractéristiques du sédiment

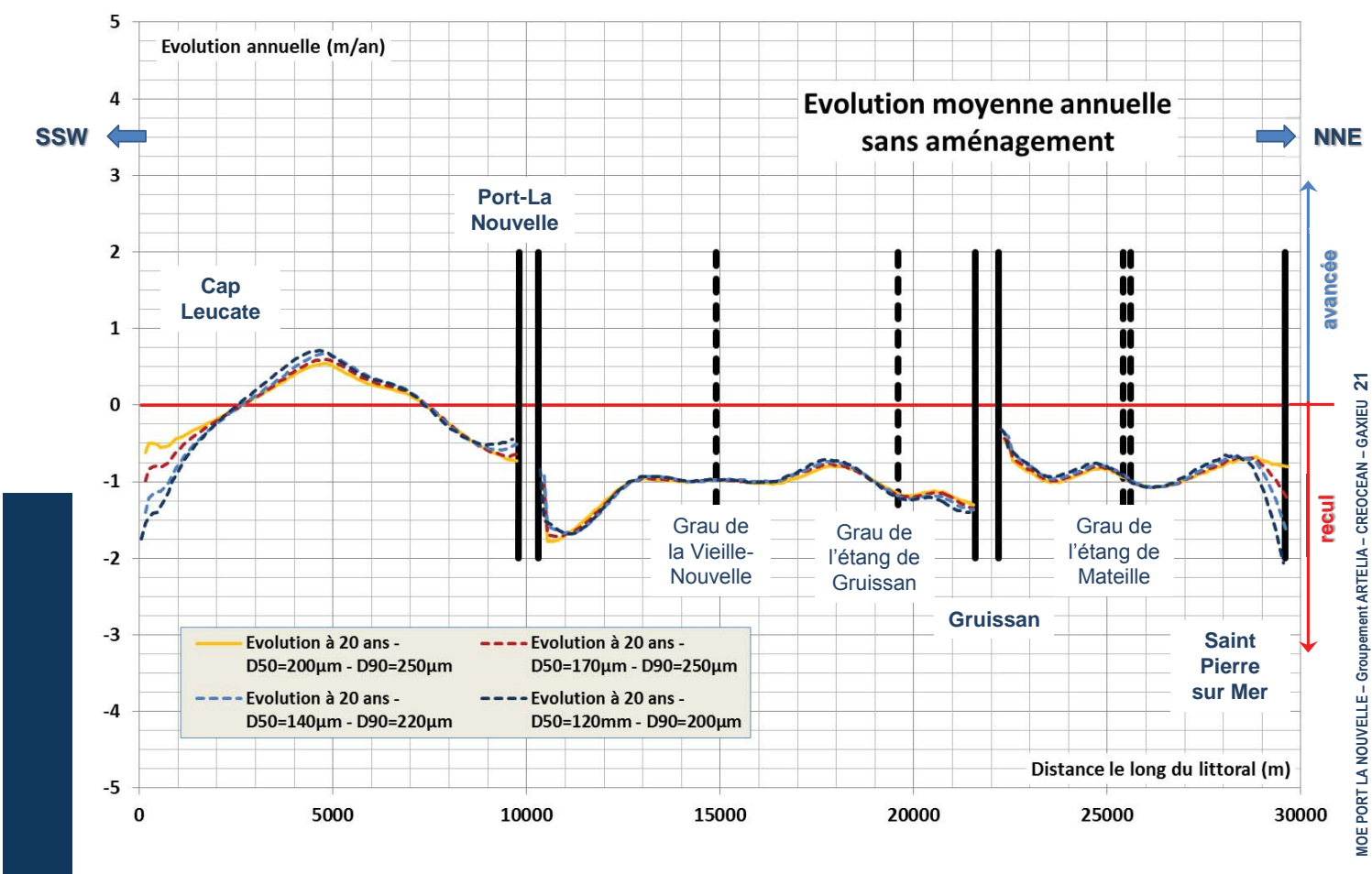


Figure C22 : Evolution moyenne annuelle du trait de côte à 20 ans - Impact du projet portuaire - Calcul 2 (rechargement sur 3 km au Sud et 2,2 km au Nord)

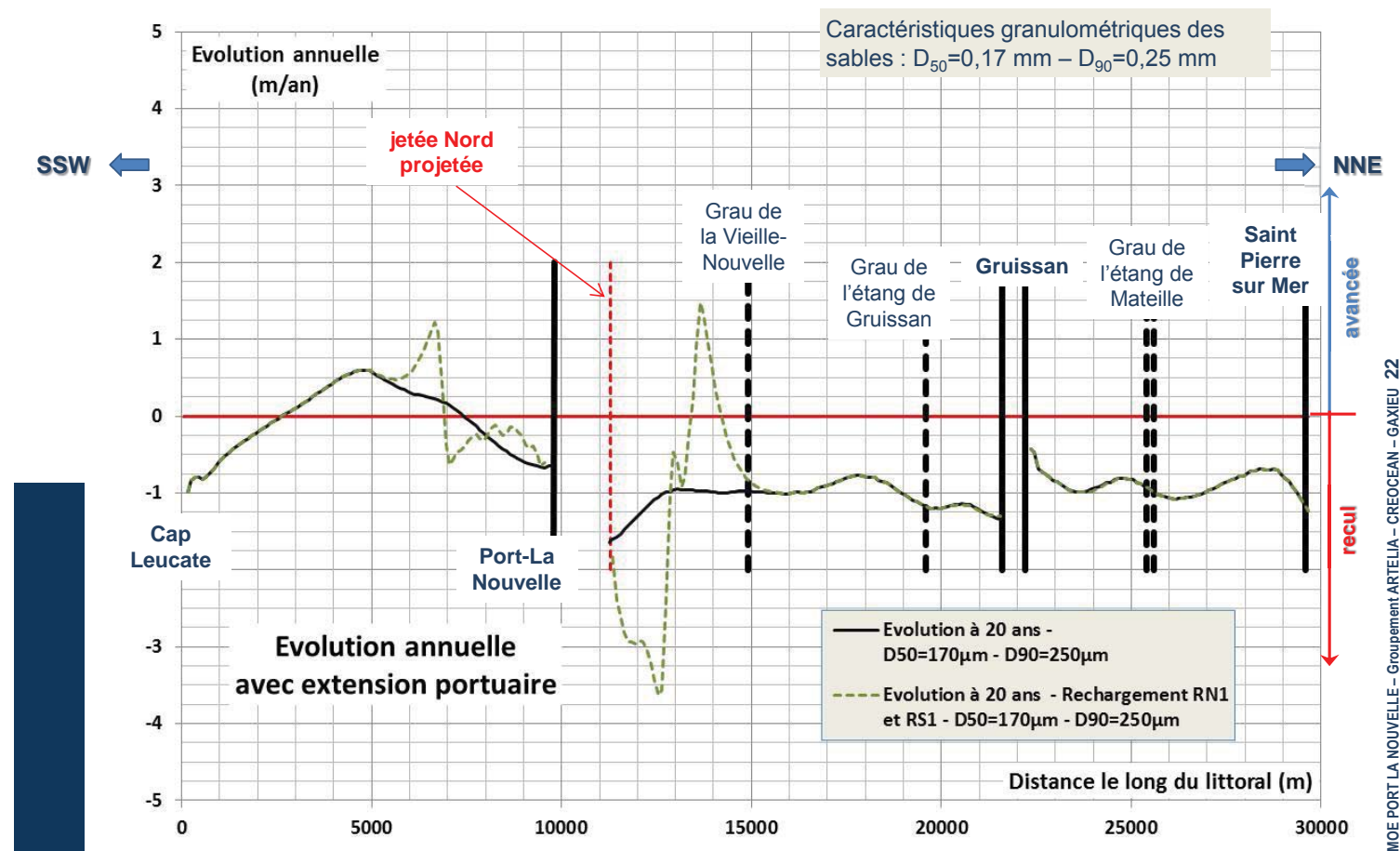
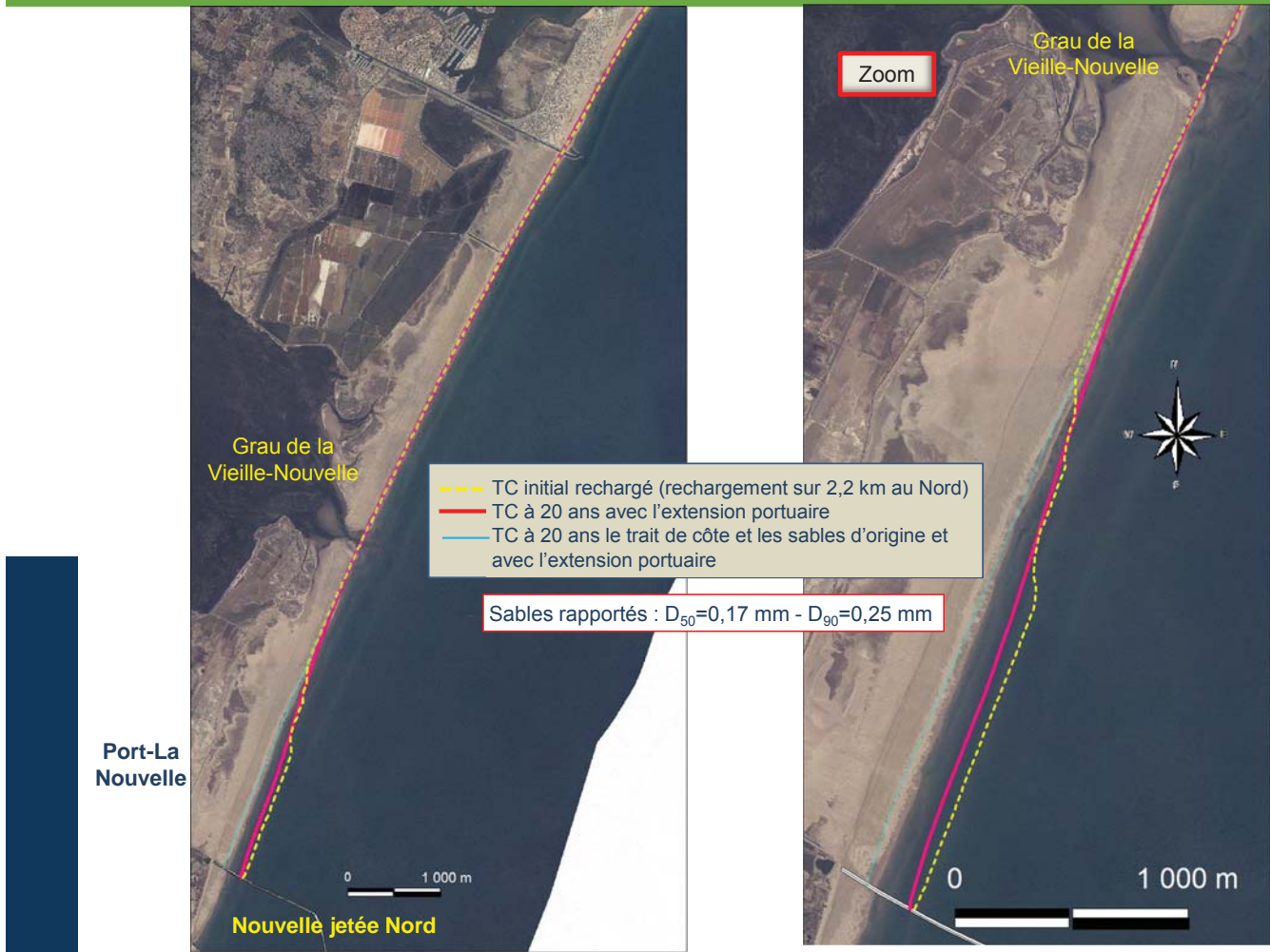
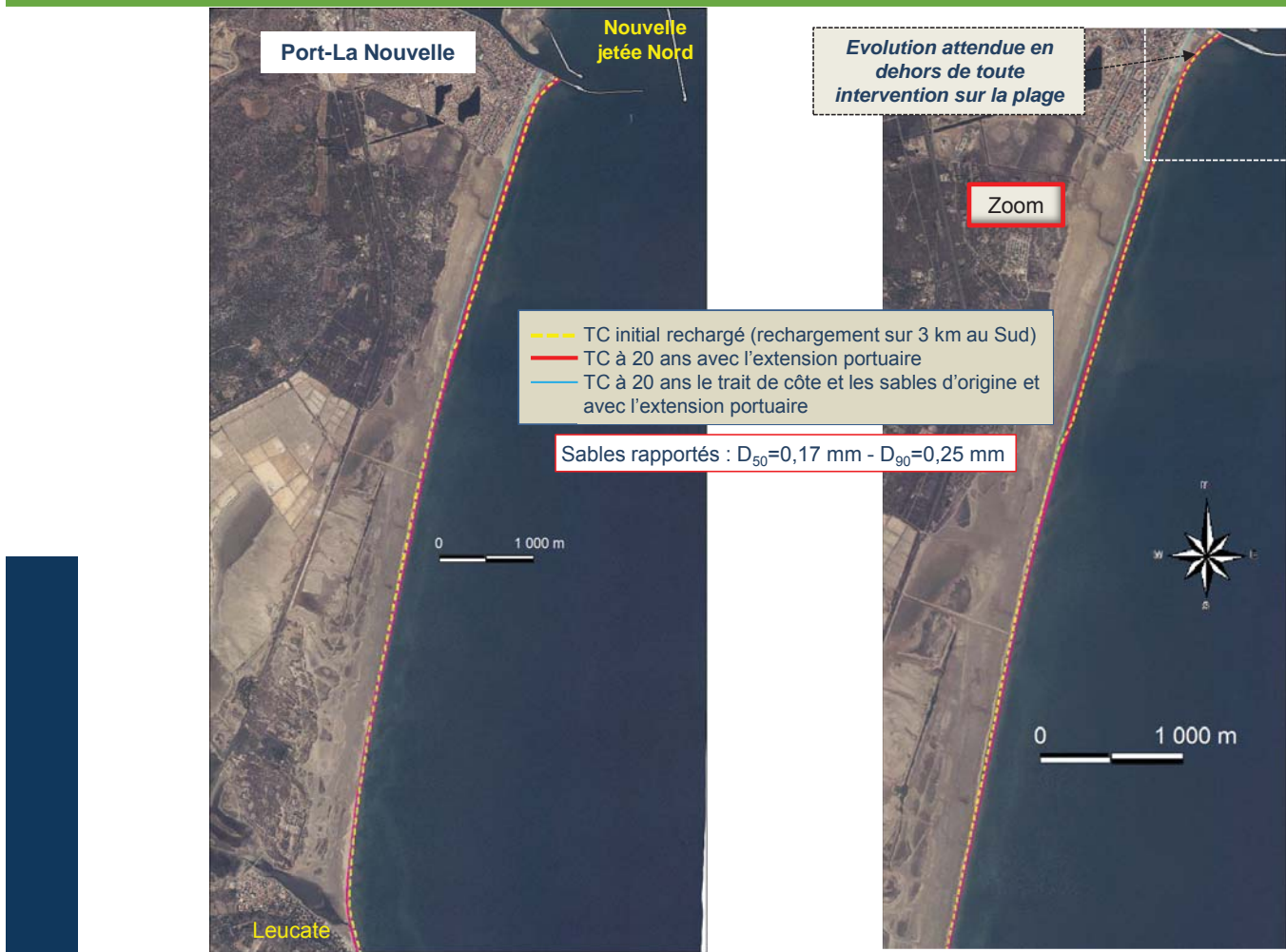


Figure C23 : Scénarios de rechargement - Positions du trait de côte à 20 ans
Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Nord - Calcul 2



MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 23

Figure C24 : Scénarios de rechargement - Positions du trait de côte à 20 ans
Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Sud - Calcul 2



MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 24

Figure C25 : Evolution moyenne annuelle du trait de côte à 20 ans - Impact du projet portuaire - Calcul 3 (rechargement sur 4 km au Sud et 2,5 km au Nord)

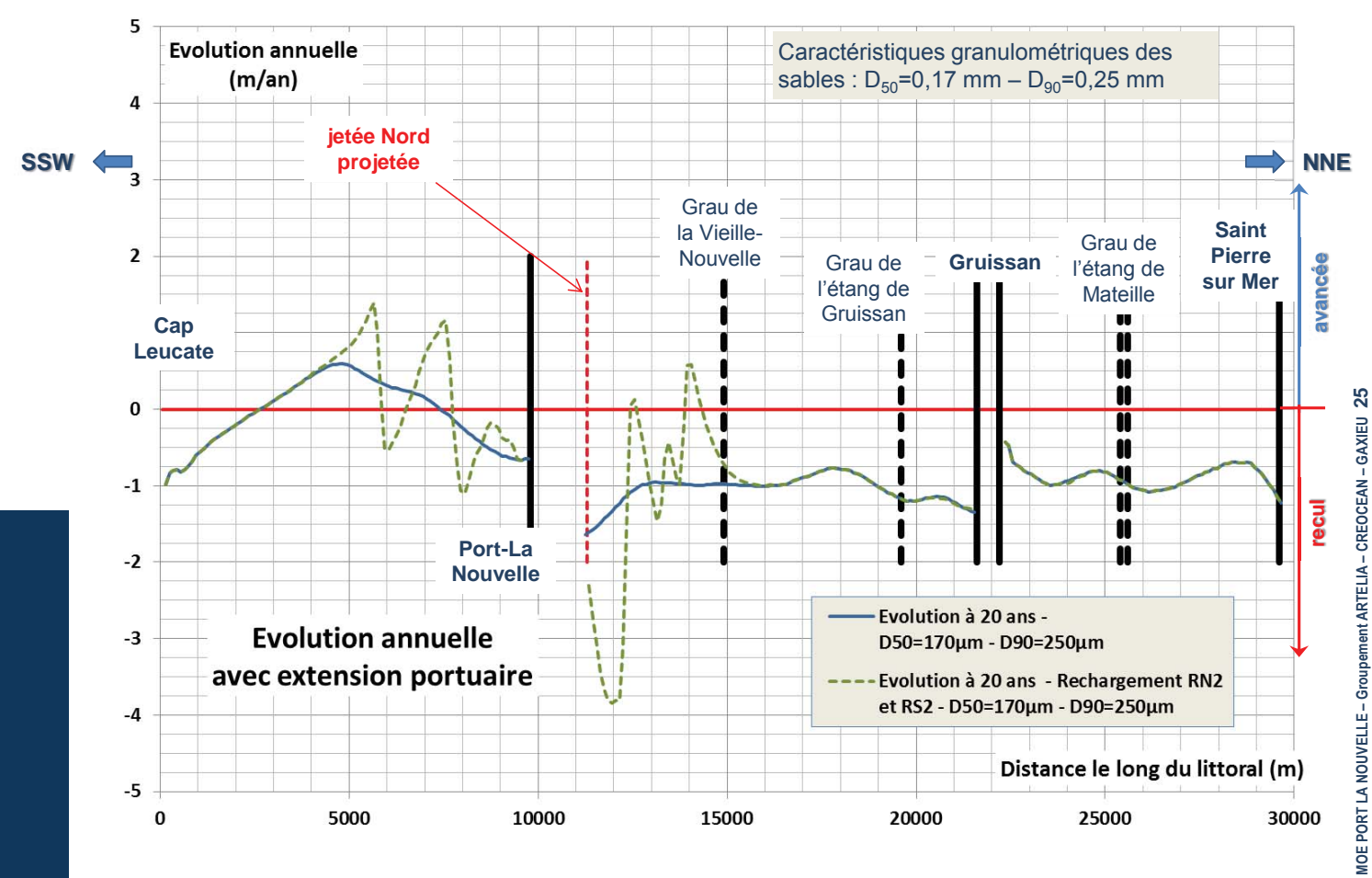
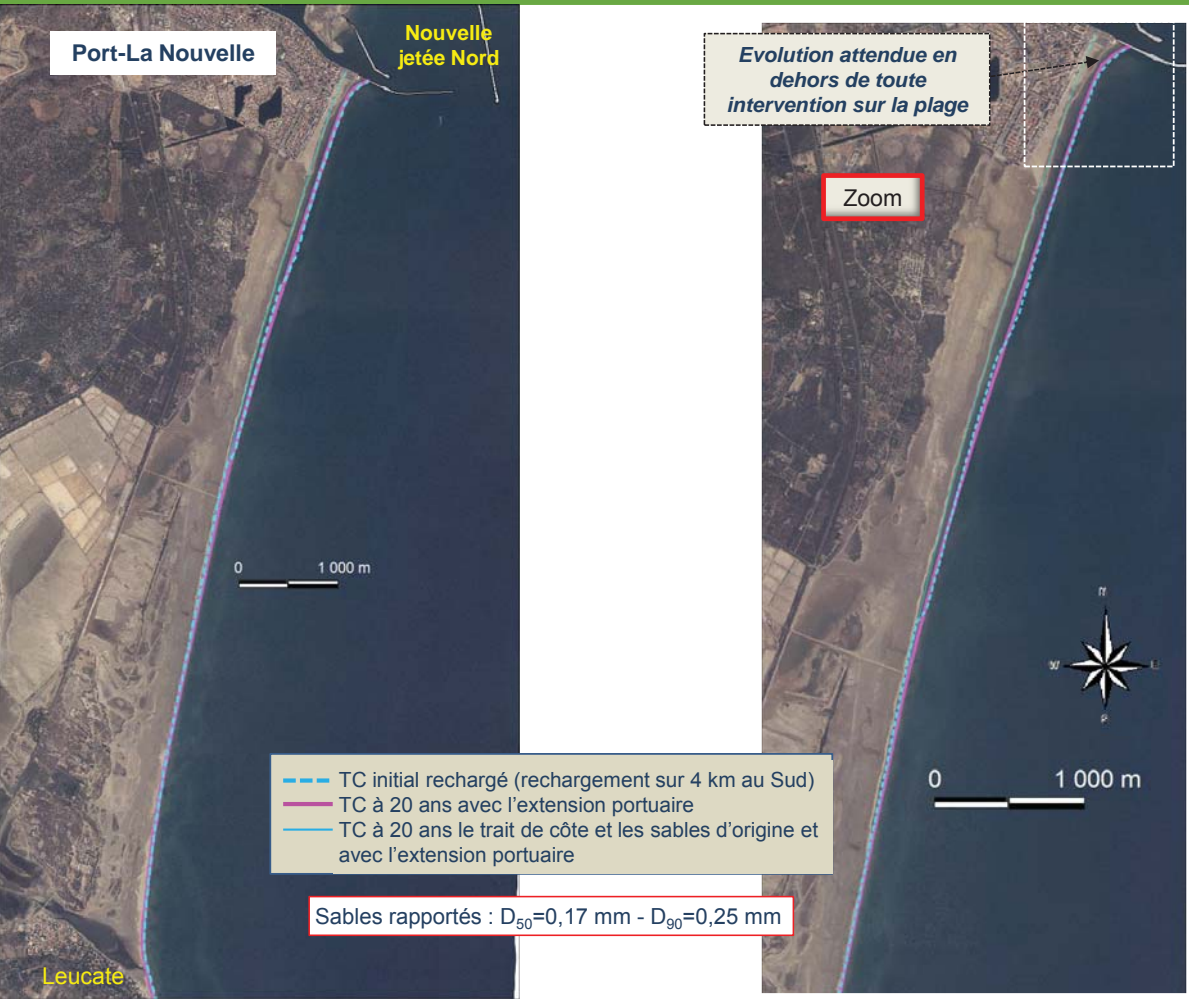


Figure C26 : Scénarios de rechargement - Positions du trait de côte à 20 ans - Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Nord - Calcul 3

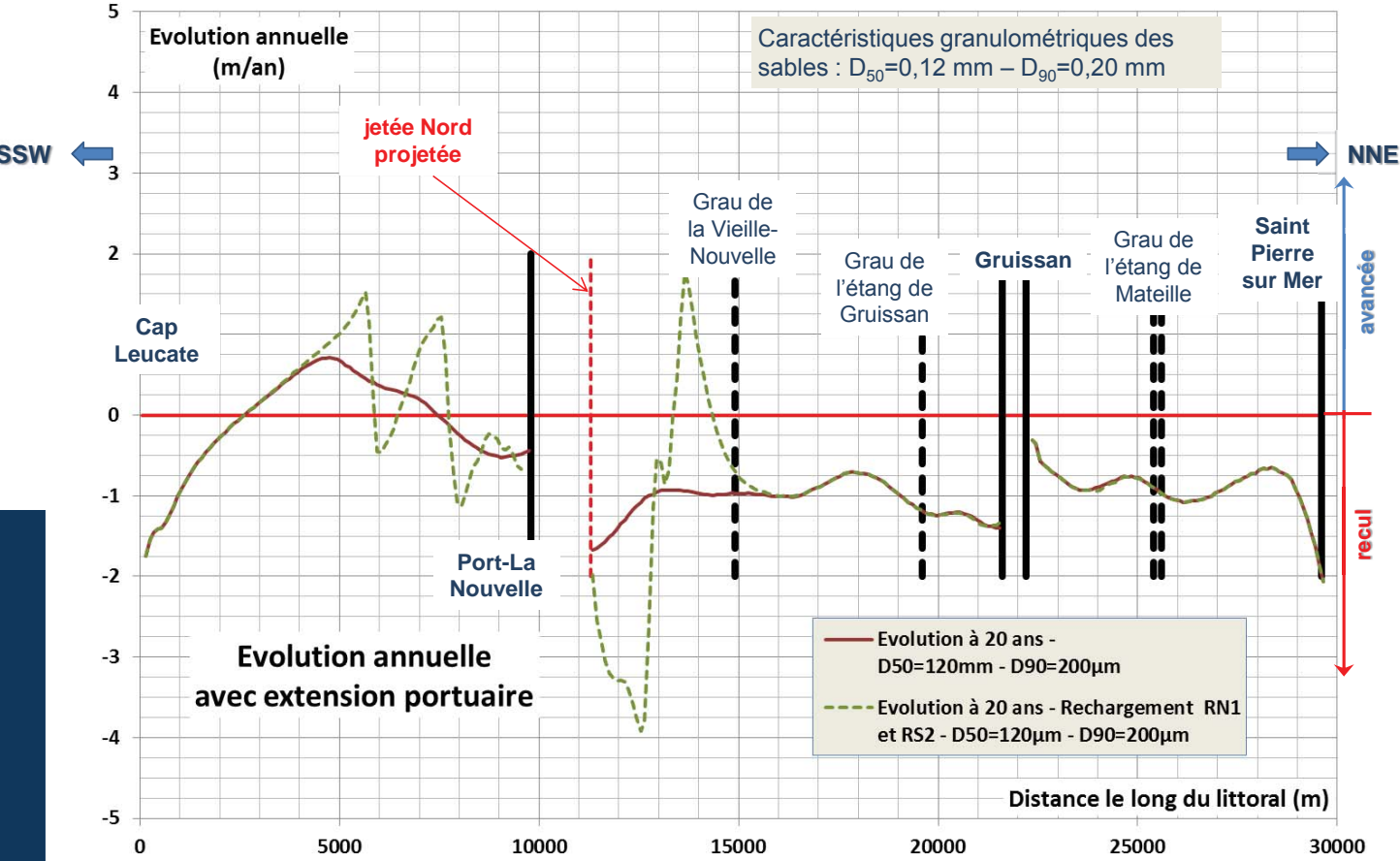


Figure C27 : Scénarios de rechargement - Positions du trait de côte à 20 ans
Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Sud - Calcul 3



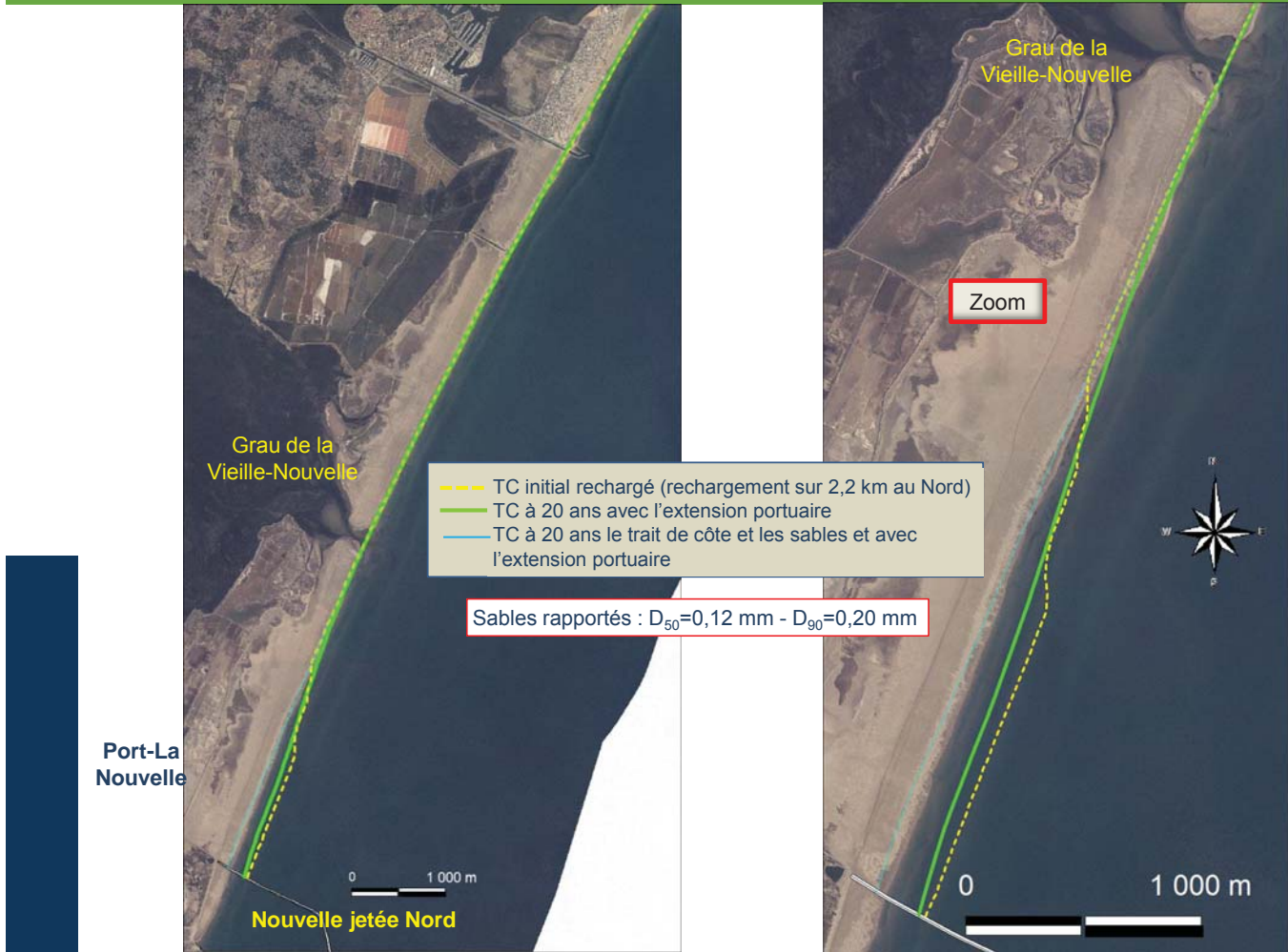
MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 27

Figure C28 : Evolution moyenne annuelle du trait de côte à 20 ans - Impact du projet portuaire - Calcul 5 (rechargement sur 4 km au Sud et 2,2 km au Nord)



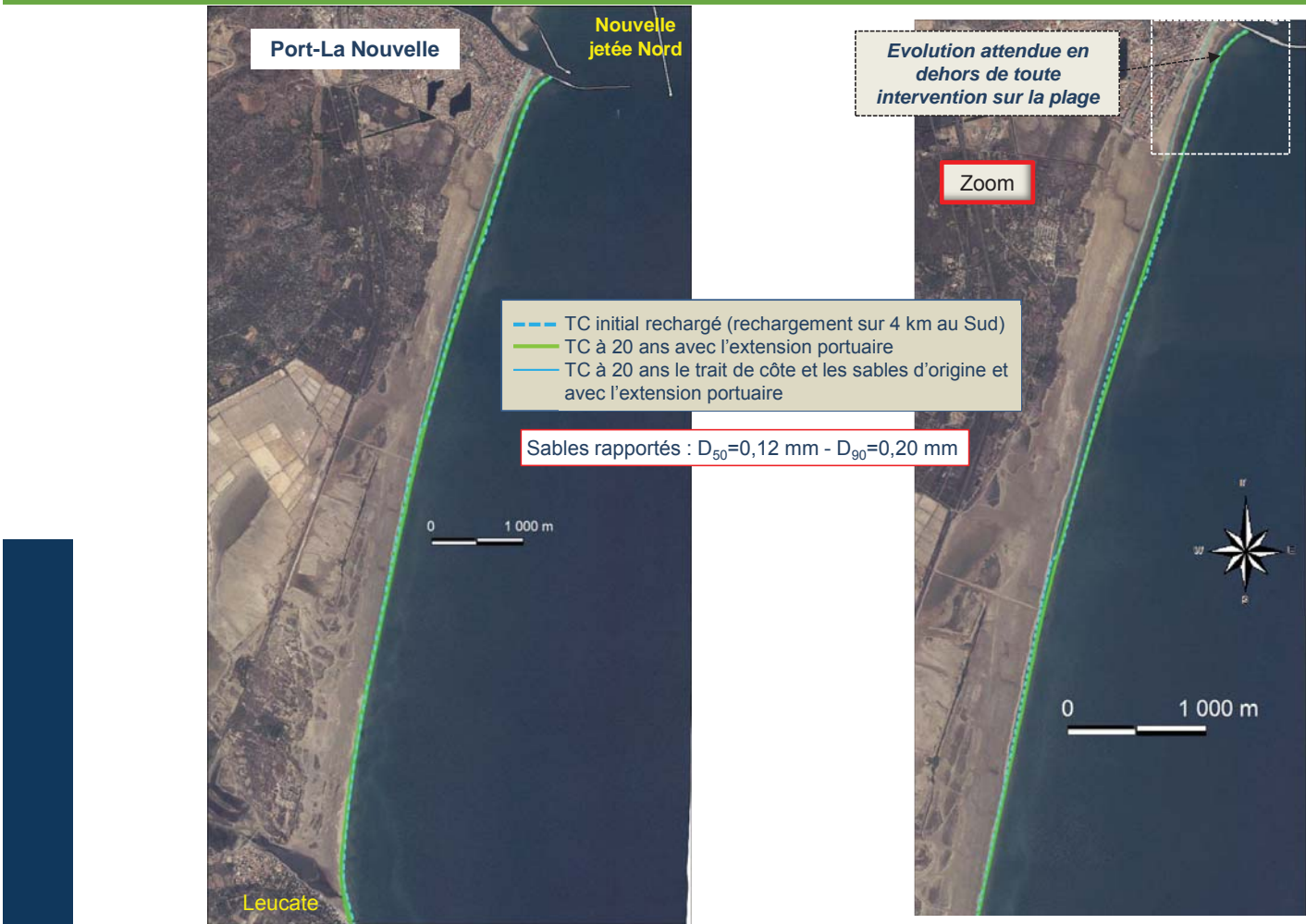
MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 28

Figure C29 : Scénarios de rechargement - Positions du trait de côte à 20 ans
Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Nord - Calcul 5



MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 29

Figure C30 : Scénarios de rechargement - Positions du trait de côte à 20 ans
Impact du projet et devenir du rechargement - Littoral Sud - Calcul 5



MOE PORT LA NOUVELLE - Groupement ARTELIA - CREOCEAN - GAXIEU 30