



Port de Brégaillon
Bâtiment FIRST
B. P. 63
83 502 La Seyne/Mer
Tél. : 04 94 10 97 40
Fax : 04 94 94 42 27
E-mail : contact@oceanide.net



Port de Port la Nouvelle

Projet Grand Port

Etude d'Aménagement sur Modèle Mathématique et Physique



Note d'Hypothèses

Numéro : NH 10-3-091 / 01 / C

Date : 10 mars 2011

Révision : C

Avec la participation financière du :



FICHE D'IDENTIFICATION

REFERENCES DU DOCUMENT

Nature du document	<input type="checkbox"/> pièce d'étude	<input type="checkbox"/> publication	<input checked="" type="checkbox"/> rapport
	<input type="checkbox"/> document final	<input type="checkbox"/> document intermédiaire	<input type="checkbox"/> devis
	Numéro	TITRE	
Classement	NH 10-3-091/01/C	Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port Etude d'Aménagement sur Modèle Mathématique et Physique Note d'Hypothèses	
Pièce	Rév.C		
CLIENT		Région Languedoc Roussillon – Sous direction des Ports – Pôle Ingénierie	
Référence			

VISAS AVANT DIFFUSION

REDIGE PAR	RELU PAR	APPROUVE PAR
Stéphane SCARDIGLI Alban LE QUERRE	Alexis LENOBLE Alban LE QUERRE	Jean-Pierre AULANIER
DATE D'EMISSION		APPROBATION MO
8 février 2011 revA 22 février 2011 revB 10 mars 2011 revC		

DIFFUSION

Fiche d'identification seule		
Document complet	Interne	Externe
	Génie Côtier	RLR – Sous direction des Ports RLR – PTPLN M. Salducci, M. Latteux

MOTS CLES

NOTE D'HYPOTHESES, CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Révision	Date	Objet
A	01/02/2011	1 ^{ère} émission – DOCUMENT PRELIMINAIRE
B	22/02/2011	2 ^{ème} émission : <ul style="list-style-type: none">- Prise en compte des commentaires des experts M. Latteux et M. Salducci- Prise en compte des éléments statués lors de la réunion du 3 février 2011 à Port la nouvelle- Plans masse de l'intérieur
C	10/03/2011	3 ^{ème} émission : <ul style="list-style-type: none">- Prise en compte des éléments discutés lors de la réunion du 24 février 2011

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
1-1 SITUATION DU PORT DE PORT LA NOUVELLE.....	2
1-2 ZONE D'ETUDE.....	3
1-3 EXPOSITION AUX HOULES.....	4
1-4 ENVIRONNEMENT URBAIN.....	5
1-5 ASPECT REGLEMENTAIRE.....	5
1.5.1. <i>Espaces particuliers</i>	5
1.5.2. <i>Périmètres de sécurité</i>	5
1.5.3. <i>Divers</i>	5
II- HYPOTHESES	6
2-1 DONNEES BATHYMETRIQUES.....	6
2-1.1 <i>Zones non draguées</i>	6
2-1.2 <i>Etude des différentes configurations</i>	7
2-2 DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES.....	10
2-3 NIVEAUX DE REFERENCE.....	10
2-4 NIVEAUX D'EAU.....	10
2-5 COURANTS MARITIMES A L'EXTERIEUR DU PORT.....	11
2-5.1 <i>Etude de navigabilité</i>	11
2-5.2 <i>Etude courantologique</i>	11
2-5.3 <i>Etude sédimentologique</i>	11
2-6 COURANTS DANS LE GRAU.....	12
2-7 VENTS.....	12
2-7.1 <i>Tenue à quai – Orientation des quais de la Jetée Nord</i>	12
2-7.2 <i>Fetch</i>	13
2-7.3 <i>Autre</i>	13
2-8 HOULES ET CLAPOT.....	14
2-8.1 <i>Houles au large</i>	14
2-8.2 <i>Clapot</i>	15
2-8.3 <i>Action du courant sur la houle</i>	15
2-8.4 <i>Agitation liée aux navires</i>	15
2-9 SEDIMENTOLOGIE.....	16
2-9.1 <i>Aspects généraux</i>	16
2-9.2 <i>Sédiments maritimes</i>	16

2-10	NAVIGABILITE : PORT ACTUEL	18
2-10.1	Navire projet 145 m	18
2-10.2	Chenal d'approche extérieur	18
2-10.3	Profondeurs	19
2-10.4	Girations	20
2-10.5	Distance d'arrêt.....	21
2-10.6	Chenal intérieur	21
2-10.7	Largeur actuelle de la passe	23
2-10.8	Synthèse.....	23
2-11	NAVIGABILITE : FUTUR PORT.....	24
2-11.1	Navire projet de 200 m	24
2-11.2	Navire projet de 160 m	24
2-11.3	Chenal d'approche extérieur	25
2-11.4	Profondeurs	26
2-11.5	Girations	27
2-11.6	Distance d'arrêt.....	28
2-11.7	Chenal intérieur	28
2-11.8	Cercle d'évitage	29
2-11.9	Remorqueurs	29
2-11.10	Divers.....	29
2-11.11	Synthèse.....	30
2-12	SEICHES.....	32
2-13	CRITERES.....	32
2-13.3	Bibliographie	32
2-13.4	Agitation.....	34
2-13.5	Franchissements	35
2-13.6	Stabilité	36
III-	MODELISATIONS NUMERIQUES	37
3-1	PROPAGATION	37
3-1.1	Modèle	37
3-1.2	Cas étudiés.....	37
3-1.3	Objectifs.....	37
3-2	AGITATION.....	38
3-2.1	Modèle	38
3-2.2	Cas étudiés.....	38
3-2.3	Coefficients de réflexion	38
3-3	COURANTOLOGIE	39

3-3.1	Modèle	39
3-3.2	Cas étudiés	39
3-4	SEDIMENTOLOGIE	40
3-4.1	Modèle	40
3-4.2	Paramètres	40
3-4.3	Cas étudiés	40
ANNEXE A : DISTANCE D'ARRET		41

CARTES

Carte 1 : Situation du port de Port la Nouvelle	2
Carte 2 : Secteurs d'incidence au niveau du port	4

FIGURES

Figure 1 : Zone d'étude des nouveaux aménagements	3
---	---

TABLEAUX

Tabl. 1 : Niveaux d'eau de projet	10
Tabl. 2 : Courants de projet dans le chenal (à proximité de l'étang)	12
Tabl. 3 : Courants de projet dans la passe d'entrée actuelle du port	12
Tabl. 4 : Houles de projet au large	14
Tabl. 5 : Synthèse du transport sédimentaire	17
Tabl. 6 : Largeur du chenal exposé pour le navire projet (port actuel)	19
Tabl. 7 : Rayon de giration d'un navire en fonction de l'angle de barre	20
Tabl. 8 : Largeur du chenal abrité pour le navire projet (port actuel)	22
Tabl. 9 : Synthèse des caractéristiques géométriques (port actuel)	23
Tabl. 10 : Largeur du chenal extérieur pour le navire type Handymax	25
Tabl. 11 : Rayon de giration d'un navire en fonction de l'angle de barre	28
Tabl. 12 : Largeur du chenal abrité pour le navire projet (futur port)	28
Tabl. 13 : Synthèse des caractéristiques géométriques (futur port)	30
Tabl. 14 : Hs maximale dans les ports en fonction des navires (Port Designer's Handbook)	32
Tabl. 15 : Hs maximale dans les ports en fonction des navires (CETMEF)	33
Tabl. 16 : Critères d'agitation dans les zones de navigation	34
Tabl. 17 : Critères d'agitation pour les grandes périodes de retour	34

REFERENCES

- [1]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port-la-Nouvelle – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Etude bibliographique – EB 09-3-067 / 01 / D – 2 août 2010
- [2]** : Courrier du 4 janvier 2001 – Région Languedoc Roussillon – Objet : Port de PORT LA NOUVELLE, Etude d'aménagement de l'avant-port sur modèles mathématiques et physiques
- [3]** : Note en réponse au document OCEANIDE n°DC 10-3-091 /01/0 du 19 janvier 2001 – Région Languedoc Roussillon – 28 janvier 2011
- [4]** : International commission for the reception of large ships (supplement to bulletin n°35) – Report of Working Group IV – PIANC
- [5]** : Approach Channel – A Guide for Design – IAPH – PIANC
- [6]** : First International Symposium on Ship Approach and Berthing Manœuvres – Grenoble – Septembre 1977 – SOGREAH
- [7]** : Commentaire sur la navigabilité configurations passé d'accès PLN 1,2 et 3 – Syndicat Professionnel des Pilotes Maritimes des ports de Port-La-Nouvelle – Port-Vendres
- [8]** : Engineering and Design - Hydraulic Design of Deep Draft Navigation Projects - EM 1110-2-1613 – Chapter 9 – 31 May 2006
- [9]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Modélisation Numérique de Nouvelles Configurations – MN 09-3-067-02-B – 26 juin 2010
- [10]** : OCEANIDE - Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Note intermédiaire sur la navigabilité (configuration actuelle) – NN 09-3-067-02-B – 25 juin 2010
- [11]** : Port Designer's Handbook – Thomas Telford – October 2003 – ISBN 0727732285
- [12]** : OCIMF: Mooring Equipment Guidelines – 3rd edition 2008
- [13]** : Compte rendu de la réunion du 3/02/2011 à Port la Nouvelle – 8 février 2011 – révision B
- [14]** : Plans d'aménagement intérieur – Projet "Grand Port" Phase 1 et Phase 2 – Région Languedoc Roussillon – 21 février 2010
- [15]** : mail de Monsieur F. Cazenave du 22 février 2011 précisant la disposition des navires projets, l'orientation des quais – Région Languedoc Roussillon
- [16]** : Compte rendu de la réunion du 24/02/2011 à Nice – 8 mars 2011 – révision C
- [17]** : Note intermédiaire sur la définition des plans masse – NN 10-3-091/01/B – Océanide – Mars 2011
- [18]** : Parc naturel régional de la Narbonnaise en Méditerranée – Accumulation inhabituelle de déblais végétaux dans le port de Port la Nouvelle – Note explicative – Janvier 2011

C

INTRODUCTION

Afin de préciser les possibilités d'aménagement pour le port de Port la Nouvelle, la Région Languedoc-Roussillon a confié à OCEANIDE la réalisation de modélisations mathématiques complémentaires.

L'objectif de cette étude est de définir et de caractériser le projet de Grand Port, dont l'implantation se fera au Nord de l'entrée actuelle du port.

La solution proposée devra répondre à différentes **contraintes** :

- Agitation portuaire : l'agitation en différentes zones devra être sous certaines valeurs seuils ;
- Navigabilité et accueil de grands navires : la passe d'entrée et les nouveaux postes devront être définis en fonction des capacités d'accueil projetées ;
- Impact sédimentaire : les évolutions du port devront être en adéquation avec le respect de l'environnement et assurer la durabilité de l'exploitation portuaire à travers un impact environnemental évalué et contrôlé ;
- Stabilité des ouvrages : les ouvrages et aménagements devront répondre à des critères spécifiques (stabilité, franchissements) ;
- Sécurité : le terminal pétrolier doit être distant des zones urbaines.

Ce document a pour but de préciser les hypothèses retenues pour l'étude. Il décrit en particulier :

- La zone étudiée ;
- Les principales hypothèses et valeurs retenues (ou à définir) ;
- Les modélisations numériques qui seront mises en œuvre.

Note : Les différentes hypothèses sont soumises à l'approbation du Maître d'Ouvrage.

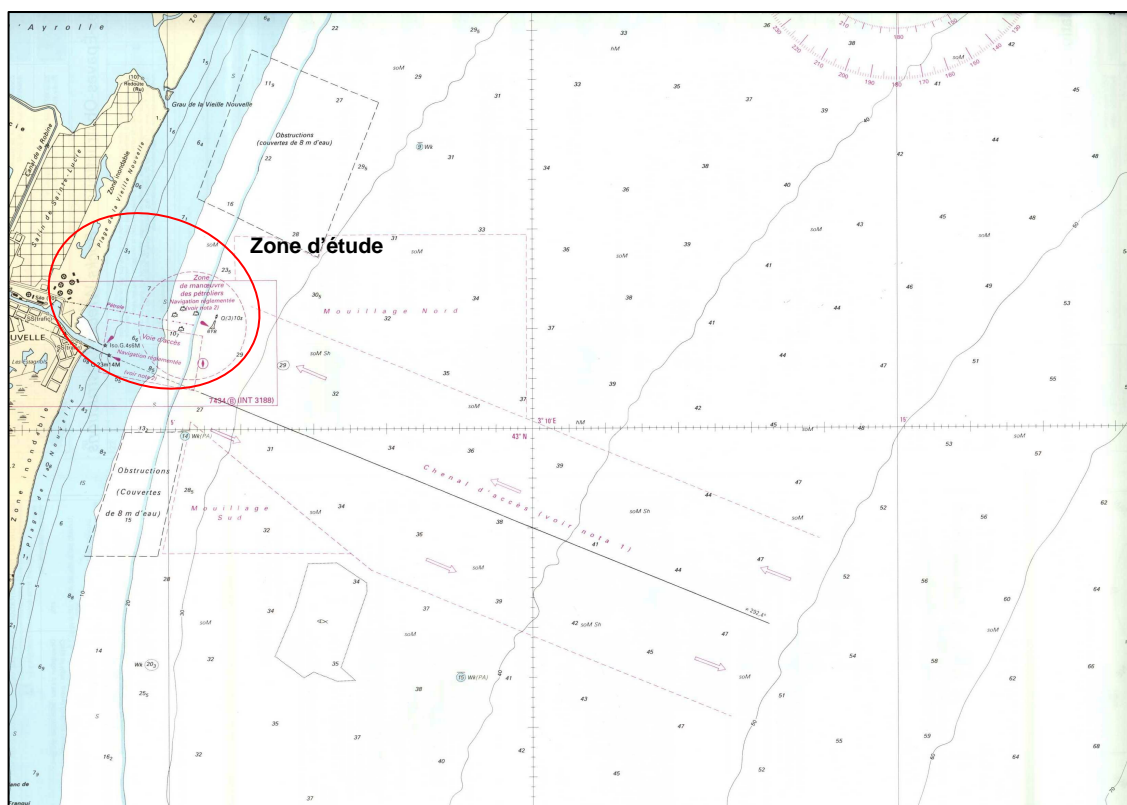
I- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1-1 Situation du port de Port la Nouvelle

Port la Nouvelle appartient au département de l'Aude et à la région Languedoc-Roussillon.

Le port est situé à l'Ouest du Golfe du Lion. Il est entouré de deux plages (au Nord : la Vieille Nouvelle et au Sud : la Nouvelle). Il sert de grau pour les étangs de Bages-Sigean.

Le relief sous-marin est peu marqué : il faut aller à plus de 25 km des côtes pour avoir des profondeurs supérieures à 80 m (cf. carte 1).



Carte 1 : Situation du port de Port la Nouvelle
(Extrait de la carte SHOM 6844)

Un chenal d'accès est actuellement dragué à -9,6 m (CM). L'avant port jusqu'au dépôt pétrolier est quant à lui dragué à -8,7 m (CM).

1-2 Zone d'étude

La zone d'étude englobe le port de Port la Nouvelle et ses environs.

En particulier, les modélisations numériques de propagation réalisées lors de l'étude précédente de réaménagement de la passe d'entrée et de l'avant-port ont été étendues jusqu'à des profondeurs proches de 80 m (c'est-à-dire dans des fonds suffisamment importants pour que la houle ne soit pas influencée).

L'étude de courantologie et de sédimentologie a également été faite dans un premier temps en considérant les alentours du port de manière à évaluer les phénomènes globaux à proximité de celui-ci.

Les futures études numériques d'agitation, de sédimentologie et d'aménagement concerneront l'emprise administrative actuelle du port, ses abords ainsi que la passe d'entrée du port (cf. figure 1).



Figure 1 : Zone d'étude des nouveaux aménagements

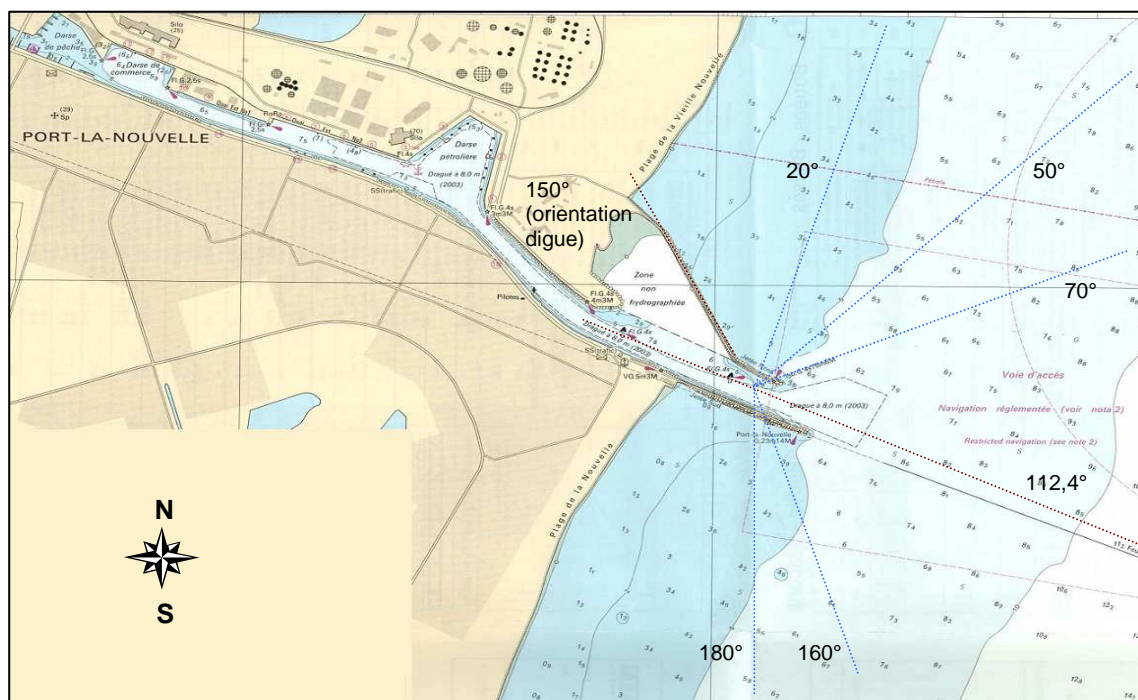
Note : le projet devra s'inscrire dans la limite administrative du domaine portuaire. Cette limite apparaît sur la figure 1 précédente.

1-3 Exposition aux houles

En théorie, de par la topographie de la zone d'étude, la zone d'étude peut être exposée aux directions de houle suivantes (cf. carte 2 p.4) :

- 20°N à 50°N (plages de Narbonne au Cap d'Agde) : ce secteur est le plus défavorable à la Jetée Nord actuelle (extrémité Est) ou à tout ouvrage projeté au Nord. En revanche, les distances de fetch sont faibles (quelques kilomètres à moins de 50 km), les profondeurs faibles (de 0 à 30 m) et les vents peu fréquents et peu violents ;
- 50°N à 70°N : ce secteur présente des fetchs plus importants (plusieurs dizaines de kilomètres). Ce secteur d'incidence est le plus défavorable à la Jetée Nord (sur l'ensemble de son linéaire) et à l'extrémité de la digue Sud. Il devrait être pénalisant pour tout ouvrage réalisé au Nord et orienté Est-Ouest ;
- 70°N à 160°N : ce secteur correspond aux houles du large les moins impactées par les fonds et pouvant présenter de très grands fetchs ;
- 160°N à 180°N (Cabo Creus à Leucate) : ce secteur est le plus défavorable à la digue Sud. En revanche, comme pour le secteur 20°N à 50°N, les fetchs et profondeurs restent faibles. De plus les vents sont peu fréquents et peu violents.

Remarque : l'entrée du port actuel est orientée à 112,4°N (cap 292,4°). Le secteur [70°N à 160°N] est le plus défavorable pour l'agitation.



Carte 2 : Secteurs d'incidence au niveau du port

1-4 Environnement urbain

Dans le cadre du projet d'aménagement, on retrouve différentes zones urbaines pour le site d'étude (UJ et UC), ainsi qu'une **zone de protection des sites (ND)** au Nord de la plage d'amortissement (cf. étude bibliographique [1]).

Un PLU est en cours.

1-5 Aspect réglementaire

1.5.1. Espaces particuliers

Il est à noter à proximité de la zone d'étude :

- Le complexe lagunaire de Bages-Sigean, statut : Site ou proposition de Site d'Importance Communautaire, code : FR9101440 ;
- Les côtes sableuses de l'infralittoral languedocien, statut : Site ou proposition de Site d'Importance Communautaire, code : FR9102013 ;
- Les étangs du Narbonnais, statut : Zone de Protection Spéciale (ZPS), code : FR9112007 ;
- La côte languedocienne, statut : Zone de Protection Spéciale (ZPS), code : FR9112035.

Note : Le rapport Ecotone (Port de Port la Nouvelle – Inventaire Faune Flore et habitats naturels – Région Languedoc Roussillon – Chambre de Commerce et d'Industrie de Narbonne – ECOTONE – AUDE NATURE – Avril 2010) présente un inventaire faunistique et floristique complet des **zones terrestres**.

1.5.2. Périmètres de sécurité

Les zones du chenal d'accès et de l'avant-port ne sont pas concernées par des risques particuliers liés aux installations industrielles du port de Port la Nouvelle.

Néanmoins, les périmètres de sécurité des nouvelles installations devront être compatibles avec les ouvrages existants.

Remarque : la navigation est actuellement réglementée sur une partie de la zone étudiée avec la présence du sealine. Le projet étudié engendrerait sa dépose.

1.5.3. Divers

Note : Il conviendra de s'assurer que la zone d'étude marine, ne présente aucune espèce protégée pouvant contraindre les choix d'aménagement. Nous ne disposons à ce jour d'aucun élément à ce sujet.

II- HYPOTHESES

N. B. : Les différentes informations contenues dans ce chapitre sont extraites en partie des études antérieures. En particulier, la synthèse bibliographique (cf. [1]) analyse les différentes valeurs, les commente et justifie les choix faits.

Les éléments relatifs à la navigabilité sont basés sur les documents référencés [4] à [12].

2-1 Données bathymétriques

2-1.1 Zones non draguées

Les données ci-dessous référencées seront utilisées dans les zones non modifiées par le projet du Grand Port c'est-à-dire principalement non draguées.

Fichiers de bathymétrie du port communiqués par le Maître d'Ouvrage :

- Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – données x-y-z du levé bap 2010 (pln-print(bap-ext).xyz) – 2010 ;
- Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – données x-y-z du plan de 2010 du chenal extérieur (pln-chenalext-0102(2).xyz) – 2010 ;
- Région Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Plan printemps 2010 – Zone extérieure – Plan bathymétrique – Echelle 1/2 500 – Date du levé : juin 2010 – PNⁿ104 – 10 juin 2010 (fichier des sondes : PLN-nord-sud-ext(5m).xyz) ;
- Préfecture de Région Languedoc Roussillon – Service Maritime et de Navigation du Languedoc Roussillon – Port la Nouvelle – Chenal extérieur et sealine – Levé de contrôle – Plan bathymétrique – Echelle 1/2 000 – Date du levé : 17 janvier 2006 – PNⁿ73 (fichier des sondes : sondes sealine.xyz).

Les **cartes SHOM** suivantes seront utilisées pour compléter ces éléments :

- 7434 – Port la Nouvelle – 1/10 000 – mars 2010 (correction 11) ;
- 6844 – de Port-Barcarès à l'embouchure de l'Aude – 1/50 000 – février 2010 (correction 11) ;
- 7008L – du Cabo de San Sebastian à Fos-sur-Mer – 1/250 000 – 2009.

Remarque 1 : le contour du port et les fonds de plan seront basés sur le plan général de Port la Nouvelle (Plan_Global_2010-03-04).

Remarque 2 : le plan de juin 2010 (plan printemps 2010) sera principalement utilisé pour l'extérieur du port actuel.

Remarque 3 : les profondeurs modélisées pour le port actuel seront celles des profondeurs théoriques après dragage.

2-1.2 Etude des différentes configurations

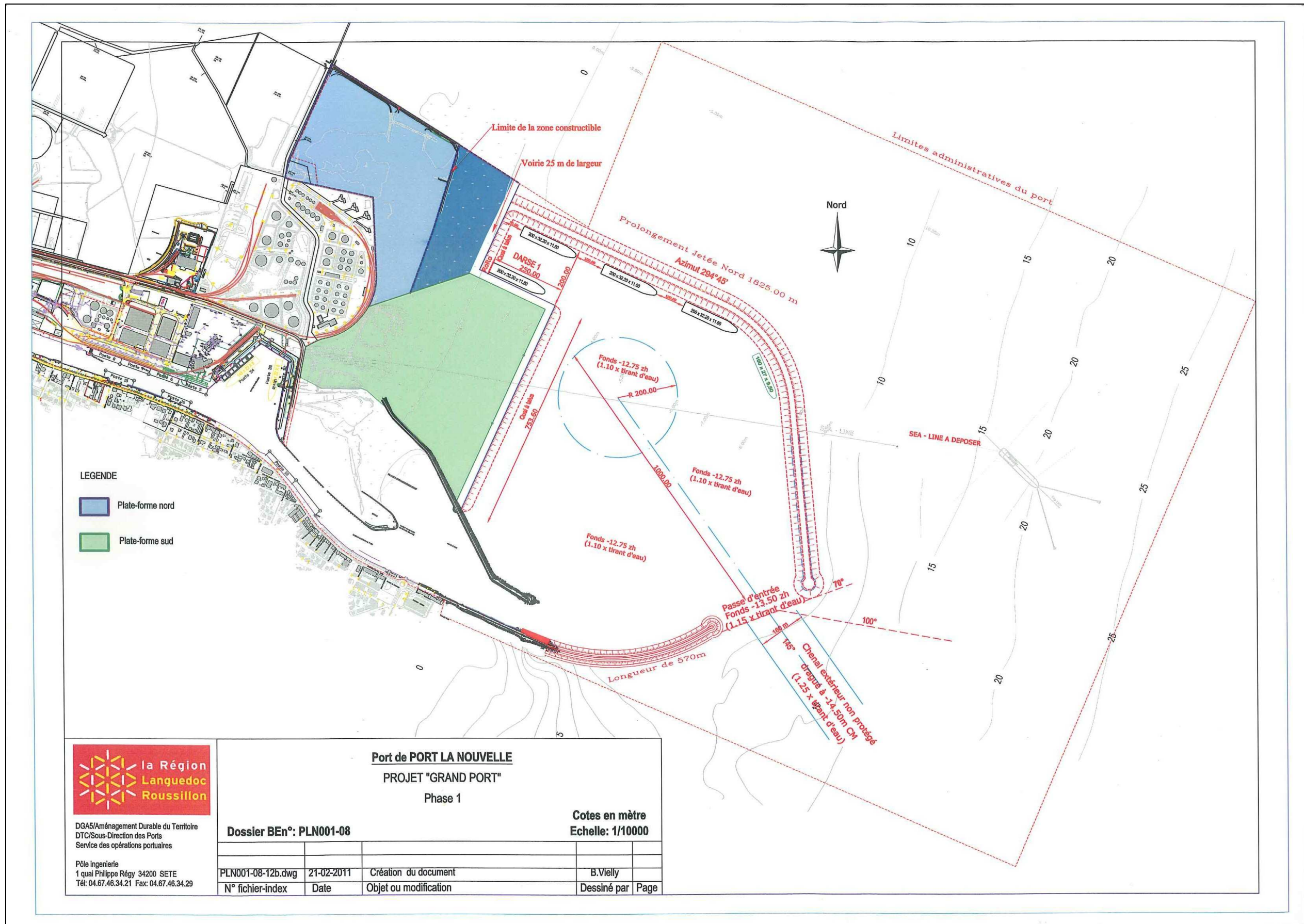
La bathymétrie des nouvelles configurations sera celle de la configuration actuelle corrigée des profondeurs théoriques de dragage (cf. recommandations relatives aux tirants d'eau des paragraphes 2-10 et 2-11).

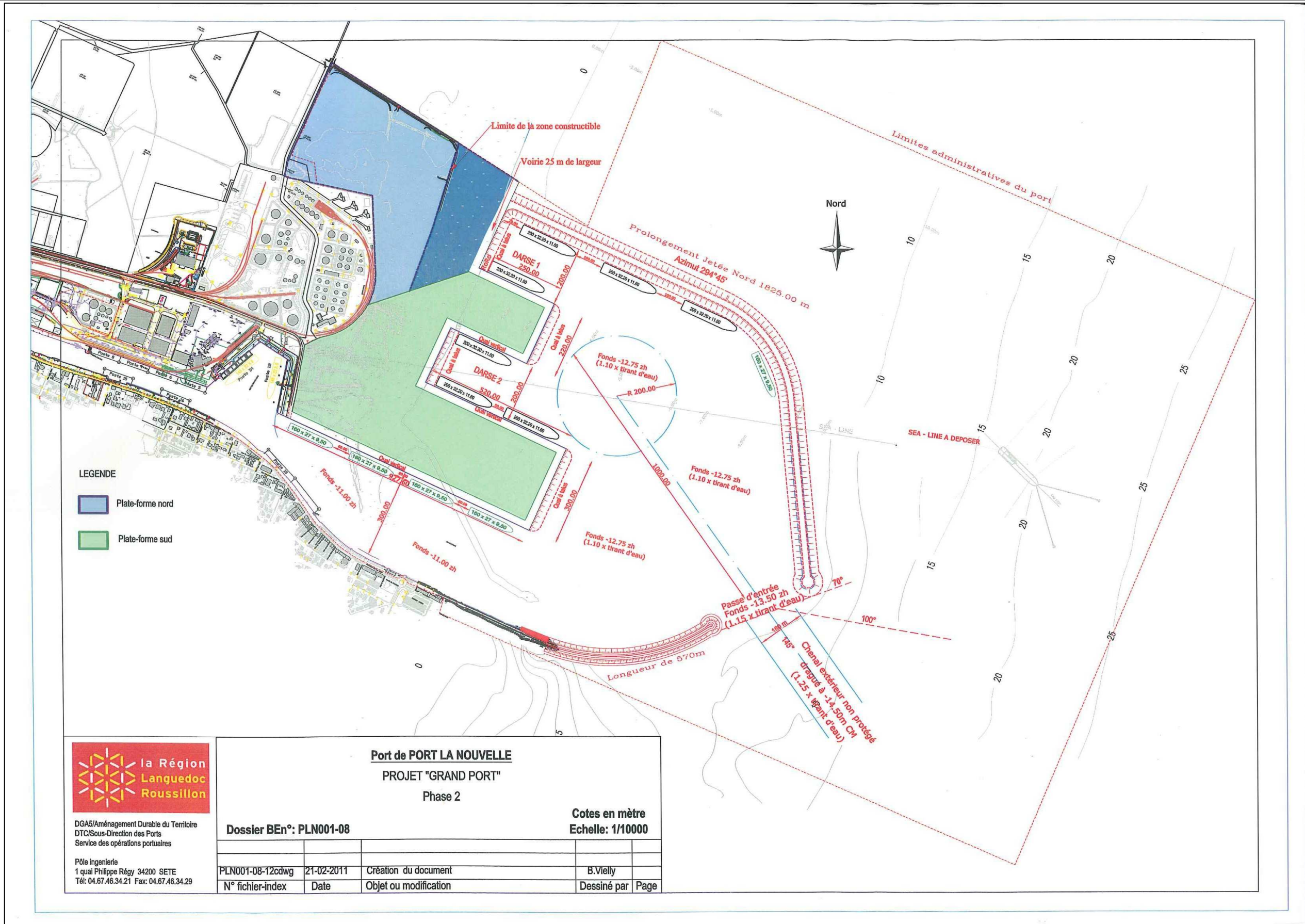
Les aménagements intérieurs sont définis par la Région Languedoc Roussillon (cf. réf [14]). Ils sont rappelés ci-après.

Le premier plan présente les aménagements liés au projet "Grand Port" en phase 1. Le deuxième présente les aménagements intérieurs projetés dans une deuxième phase (phase 2).

Note : ces aménagements sont à considérer vis-à-vis des quais et non des ouvrages de protection maritime.

Remarque : les plans des nouvelles configurations de la passe d'entrée seront réalisés par Océanide et soumis à l'approbation du Maître d'Ouvrage.





2-2 Données physico-chimiques

La salinité et la température de l'eau influencent principalement les conditions de corrosion des structures métalliques ainsi que le vieillissement des structures en béton et mortiers.

Etant donné le rôle de grau joué par le port de Port la Nouvelle, la salinité est assez variable dans le temps.

A ce stade de l'étude, la **masse volumique de l'eau de mer** sera prise égale à **1 027 kg/m³** pour les **calculs de stabilité** et les **modélisations numériques**.

2-3 Niveaux de référence

C

A Port la Nouvelle le zéro hydrographique (zéro des cartes marines) était situé **0,39 m** au dessous du zéro du nivellement général de la France (IGN69). La dernière révision des niveaux de référence du SHOM fait état d'une différence de **0,427 m** à Port la Nouvelle. Pour assurer une continuité des études, il sera conservé une différence de **0,39 m**.

2-4 Niveaux d'eau

Compte tenu des marées astronomiques et météorologiques, il est proposé de retenir les niveaux d'eau suivants :

	Niveau d'eau par rapport au Niveau Hydrographique
Niveau extrême bas	0,00 m
Niveau d'eau moyen	+ 0,60 m
Tr < 1an	+ 1,00 m
Tr = 1an	+ 1,20 m
Tr = 10 ans	+ 1,40 m
Tr = 50 ans	+ 1,80 m
Tr = 100 ans	+ 2,00 m

Tabl. 1 : Niveaux d'eau de projet

C

Remarque : Pour un pré-dimensionnement des ouvrages sur une période de retour de 50 ans, il a été rajouté **0,2 m** à la valeur de +1,6 m afin de prendre en compte l'élévation du niveau de la mer, du fait du réchauffement climatique, avec un scénario plutôt optimiste. De même, une surélévation de **0,4 m** a été ajoutée pour une période de retour de 100 ans. Ces combinaisons par addition sont conservatives. Elles associent en effet de la manière la plus pénalisante un phénomène aléatoire (surcote) et une estimation linéaire (élévation du niveau de la mer).

2-5 Courants maritimes à l'extérieur du port

D'après les études réalisées, les courants de circulation et de marée sont très faibles. De même, le vent génère un courant surfacique modéré (inférieur à 0,5 m/s) avec peu d'influence sur le transport sédimentaire aux abords de l'entrée du port.

D'un point de vue sédimentologique, seule la houle semble être susceptible de créer un courant significatif en profondeur : il sera pris en compte dans les modélisations en fonction des houles de projet finalement retenues (calcul automatique des courants de houle).

D'un point de vue navigabilité, un courant traversier est observé sous certaines conditions météorologiques à l'entrée du port actuel. Des valeurs extrêmes de 1 m/s ont été relevées mais correspondent à des fortes tempêtes sans circulation des navires. Des valeurs de 0,5 m/s semblent correspondre à des vitesses maximales plus régulièrement rencontrées en période hivernale. La direction de ce courant est directement liée à la direction du vent et à la houle : il peut être aussi bien orienté Nord-Sud (cas le plus fréquent) que le contraire.

2-5.1 Etude de navigabilité

On rappelle que cette nouvelle étude ne met pas en œuvre de modélisations numériques de navigabilité. Seule une expertise est prévue.

2-5.2 Etude courantologique

L'étude courantologique ne sera réalisée que dans le cadre de l'étude sédimentologique. Pour cette dernière, les courants seront principalement des courants de houle (résultats des modélisations numériques de propagation).

Remarque : si des éléments nouveaux mettent en évidence des apports de l'étang pouvant être modifiés par les futurs ouvrages, un modèle courantologique du grau et du nouveau port sera mis en œuvre.

2-5.3 Etude sédimentologique

Les courants imposés seront principalement des courants de houle. Les résultats des premières modélisations de propagation et d'agitation permettront de préciser les valeurs à retenir.

2-6 Courants dans le grau

D'un point de vue hydraulique, les valeurs suivantes peuvent être retenues :

Unité : cm/s	ENTRANT Grau → Etang	SORTANT Etang → Grau
Max	70	120
Moyenne	10	15

Tabl. 2 : Courants de projet dans le chenal (à proximité de l'étang)

Remarque : un calcul reposant sur la conservation de débit permet d'évaluer les vitesses du courant au niveau de la passe d'entrée. Ces vitesses sont moyennées sur l'ensemble de la section, il n'est donc pas tenu compte d'un profil vertical de courant. Le tableau 3 suivant présente ces valeurs. A noter que le courant maximum sortant ainsi calculé est de 20 cm/s, ce qui ne veut pas dire qu'un courant de surface nettement supérieur n'existe pas (exemple : en présence d'une forte Tramontane).

Unité : cm/s	ENTRANT Mer → Grau	SORTANT Grau → Mer
Max	11	20
Moyenne	2	2,5

Tabl. 3 : Courants de projet dans la passe d'entrée actuelle du port

Note : étant donné les faibles valeurs du courant (lié au grau) à l'entrée du port actuel et son faible potentiel d'influence sur le futur projet, il ne sera pas imposé (à ce stade de l'étude) de courant dans la passe actuelle du port dans les modélisations numériques.

2-7 Vents

2-7.1 Tenue à quai – Orientation des quais de la Jetée Nord

Le vent a une influence sur les navires navigants mais aussi à quai. Le paragraphe 2-8 de l'Etude bibliographique (cf. [1]) précise les conditions pouvant être rencontrées sur site.

On rappelle que les vents sont majoritairement de secteur Ouest (principalement NO), et de façon moindre de secteur Est. Leur répartition peut s'établir ainsi :

- Vents de secteur NO : plus de 55 % des vents sur zone ;
- Vents de secteur E à SE : environ 15 % des vents sur zone.

Il est à noter également que 3,5 % du temps le vent est supérieur à 10 m/s (vent à 10 m sur 1 h).

La rose des vents à l'entrée du port conduit à une orientation des quais proche du 310°N. La limite administrative Nord du port est orientée aux environs du 300°N (dans les plus faibles profondeurs). La Jetée Sud existante est orientée aux environs du 293°N. Afin de ne pas réaliser une géométrie trop "parfaite", plus propice aux phénomènes de seiche, Océanide propose une orientation des quais Nord au 305°N.

C

Afin de privilégier un parallélisme dans l'implantation des quais, une orientation au 294°45' a été retenue dans un premier temps par le Maître d'Ouvrage (cf. réf. [15] et plans d'aménagement intérieur).

Dans le but de limiter le linéaire de la jetée Nord, il a été retenu pour la suite des études (réf. [16]) :

- **Une orientation des 2 premiers postes (enracinement) au 294°N,**
- **Un troisième poste orienté au 305°N,**
- **Un quatrième poste orienté au 315°N.**

Dans cette configuration, le linéaire de la jetée Nord est optimisé (cf. [17]) et les postes sont maintenus dans le lit principal du vent.

Remarque 1 : *la géométrie du port actuel et le comportement hydrodynamique des grands navires semblent être, pour les Pilotes du port, des paramètres plus pénalisants que le vent.*

Remarque 2 : *on rappelle qu'il ne sera pas effectué d'étude numérique de navigabilité. Ainsi, aucune valeur de vent de référence n'est communiquée dans ce paragraphe (pour la navigabilité).*

2-7.2 Fetch

D'après les observations faites sur site, le vent dominant ne génère pas de clapot pouvant se cumuler aux houles du large car de direction opposée.

Dans certains cas jugés très rares, le vent d'Est peut générer du clapot dans le chenal en plus de l'agitation liée aux houles incidentes du large (d'après les Usagers du port). Ce clapot n'apparaît pas comme significatif par rapport aux agitations liées aux phénomènes extérieurs au port.

La présente étude va évaluer le clapot pouvant être levé dans l'enceinte du nouveau port. Les **distances de fetch** seront mesurées à partir du plan masse projeté.

Concernant le vent, il est proposé d'évaluer l'agitation liée au vent avec les caractéristiques suivantes :

- **Vent 1 :** 15 m/s de direction 300°N (vent établi sur 1h, à 10 m de haut, applicable à la future enceinte) ;
- **Vent 2 :** 15 m/s de direction 110°N (vent établi sur 1h, à 10 m de haut, applicable à la future enceinte).

Remarque : *les directions pourront être modifiées afin de se placer dans les cas les plus défavorables (plus grand fetch et plus fort vent).*

2-7.3 Autre

Le vent participe localement au transport de sable. En particulier, il peut produire une accumulation au niveau de l'enracinement de la Jetée Nord par érosion de la plage amortissante. Ce phénomène restant localisé et de faible ampleur par rapport aux apports liés aux courants, il ne sera pas pris en compte dans la modélisation numérique de sédimentologie.

2-8 Houles et clapot

2-8.1 Houles au large

Comme pour l'étude précédemment réalisée, il est proposé de mener une étude en distinguant les secteurs directionnels.

Pour les ouvrages projetés il sera ainsi étudié au moins deux directions principales :

- **La direction la plus défavorable en termes d'agitation dans le bassin portuaire** (face à la future passe d'entrée) ;
- **La direction la plus défavorable en termes de stabilité** (direction défavorable à la Jetée Nord et aux ouvrages à l'entrée du port, 70°N a priori).

Note : on rappelle que lors de l'étude précédente une analyse statistique des houles mesurées à proximité du sealine a été menée. L'étude d'agitation ainsi que le prédimensionnement des ouvrages s'appuieront sur ces résultats.

Le tableau suivant présente les caractéristiques des houles au large associées aux deux directions (70°N et 100°N) retenues pour l'étude précédente du port actuel.

Période de retour	Hs	Tp	Incidence	Objectif
0,9 %	2,0 m	6 s	100°N	Agitation
0,05 %	3,3 m	6 s	100°N	Agitation
1 an	4,0 m	8 s	100°N	Agitation
1 an	4,3 m	8 à 10 s	70°N	Franchissements
10 ans	6,0 m	10 à 12 s	70°N	Franchissements
50 ans	7,4 m	10 à 13 s	70°N	Stabilité + Franchissements
100 ans	7,9 m	11 à 14 s	70°N	Stabilité + Franchissements

Tabl. 4 : Houles de projet au large

Remarque 1 : Les caractéristiques des houles étudiées seront précisées suite à la définition du plan masse.

Remarque 2 : L'étude réalisée modélisera plusieurs directions de houle afin de vérifier le caractère dimensionnant des directions retenues.

Le spectre de houle modélisé en entrée des modèles sera un spectre de Jonswap avec un gamma égal à 3,3 et un étalement directionnel de $\pm 5^\circ$.

2-8.2 Clapot

Le vent de terre (secteur O) atténue la houle entrant dans la future enceinte, le vent de mer (secteur E) est associé à une houle formée. En fonction des résultats des calculs de fetch, l'agitation engendrée par les houles du large pourrait être majorée.

2-8.3 Action du courant sur la houle

De manière générale, les courants peuvent agir sur la houle en faisant subir aux trains de vagues des compressions ou des étirements.

A partir d'abaques (Coastal Engineering Manual, Part II Chapter 6), le facteur d'interaction Houle/Courant a été évalué dans le cadre du port actuel de Port la Nouvelle pour des houles de périodes 6 s et un courant de 0,2 m/s. Il ressort que les hauteurs de houle à l'entrée du port (présence du courant contraire) peuvent être modifiées d'environ 3% sur la base de ces hypothèses. Etant donnée cette faible valeur et des faibles possibilités de cumuler les deux phénomènes, il ne sera pas pris en compte l'influence du courant sur la houle.

2-8.4 Agitation liée aux navires

Le design des nouveaux aménagements se fera sur des critères d'agitation associés à des houles du large (premier paramètre dimensionnant). Les phénomènes d'agitation liés aux déplacements des navires ne seront pas analysés dans cette phase d'étude (niveau étude de faisabilité).

2-9 Sédimentologie

2-9.1 Aspects généraux

A la lecture des données bibliographiques, il apparaît **deux sources principales d'apport de sédiments dans le port** :

- Un apport de sédiments (plutôt de type vaseux) en provenance de l'étang de Bages-Sigean ;
- Un apport de sédiments (de type sableux) de provenance maritime.

La configuration géométrique du port actuel, les débits rencontrés dans le grau et les vitesses de chute des sédiments vaseux conduisent principalement à des dépôts en amont du chenal aval et de la darse pétrolière. Les vases les plus fines, en suspension, sortent actuellement du port et représentent environ 5 % des quantités extraites (quantité difficilement évaluable). Compte tenu de la faiblesse des vitesses de chute de ces sédiments et de la relativement faible turbidité résiduelle au niveau de l'avant-port, il est raisonnable de supposer que la modification de l'avant-port n'impactera pas sensiblement ces dépôts.

C'est pourquoi seuls les **apports maritimes** seront considérés car soumis à l'influence directe de la nouvelle configuration du port.

C

Remarque : Il faut cependant noter que de récents dragages ont révélé la présence d'un amas d'algues et de vases entre la darse pétrolière et l'entrée du port (cf. [16] et [18]). Ce phénomène nouvellement observé sera analysé précisément afin d'infirmier ou de confirmer la cohérence de l'hypothèse précédente (prise en compte des apports maritimes uniquement).

D'autre part les différentes informations concernant la répartition des sédiments concordent pour indiquer que **la région de Port la Nouvelle constitue un point de convergence pour le transport littoral**.

Sur une période **récente**, l'examen des photographies aériennes montre une certaine **stabilité du littoral aux abords immédiats des digues**.

2-9.2 Sédiments maritimes

Caractéristiques des sédiments

Le D_{50} caractérisant les sables est compris entre 0,21 mm (à la côte) et 0,15 mm (au-delà de la profondeur -5m).

Zones de dépôt

Du sable est régulièrement dragué à l'entrée du port. Un mélange de sable vasard a été détecté dans le chenal aval du port, mais à partir de la darse pétrolière il ne subsiste que de la vase.

Les zones de dépôt de sédiments marins sont donc par ordre d'importance décroissante :

- Le chenal d'accès extérieur ;
- La passe d'entrée ;
- Le plan d'eau de l'avant-port.

Il peut être considéré que seuls des événements exceptionnels génèrent un transit sédimentaire marin dans le chenal entre le môle et la darse pétrolière.

Quantités moyennes annuelles

On constate que les apports sédimentaires dans le grau proviennent principalement de l'étang (dans des proportions trois fois plus importantes).

Le chenal extérieur est principalement comblé par les apports de sédiments locaux, lors des fortes tempêtes.

Le tableau 5 suivant présente les quantités associées aux différents apports.

provenance	quantité moyenne draguée / an
Etang	90 000 t/an (vases)
Maritime (dépôt : chenal extérieur et passe)	15 000 t/an (sable) (*)

Tabl. 5 : Synthèse du transport sédimentaire

(*) Pour les campagnes réalisées avant 1996, des valeurs de 60 000 t/an sont signalées et 30 000 t/an pour l'intérieur du port (quantité de sable).

Remarque : un transport de sable d'environ 15 000 m³/an orienté du Sud vers le Nord ressort des études antérieures. Ce transit n'intéresse que la zone littorale ; il est quasiment confiné dans la zone de déferlement, située entre le point de déferlement des fortes houles et la côte (avec un maximum au niveau de la barre de déferlement, lorsqu'elle existe), l'action de la houle sur les fonds étant, au-delà, d'autant plus faible que la profondeur est importante. Ceci est bien mis en évidence sur le site de Port la Nouvelle par l'étude du CRSM sur le comblement du chenal en fonction de l'éloignement des jetées : en effet, **au-delà des fonds de – 7 m CM, le chenal ne piège plus de sédiments**, témoignant de l'inexistence à ce niveau d'un transport littoral significatif.

Note : on rappelle que les apports de sable varient du simple au sextuple suivant les sources bibliographiques. Les valeurs présentées ci-dessus sont donc à utiliser avec précaution. Elles sont basées sur les derniers dragages réalisés par le Port et jugés représentatifs (Cf. compte rendu des opérations de dragage pour l'année 2009).

Quantités lors d'un évènement spécifique

A la vue des données communiquées, aucune valeur spécifique et relative à un évènement particulier ne peut être renseignée : la durée des modélisations devra donc être représentative des observations annuelles.

Rappel : les données bibliographiques ne convergent pas pour renseigner les quantités annuelles de sable se déposant dans le chenal extérieur du port et au niveau de la passe d'entrée. La valeur la plus récente (15 000 t/an de sable) est donc retenue car jugée la plus pertinente par les services du port, même si elle n'est représentative que du climat des houles de l'année 2009.

2-10 Navigabilité : Port actuel

Dans le cadre de l'élaboration du plan masse du nouveau port de Port-la-Nouvelle, une réflexion sur la compatibilité du tracé avec l'entrée de navires dans le port actuel doit être engagée. A cette fin des préconisations géométriques en lien avec le navire projet sont ici formulées.

Il est attiré l'attention sur le fait que ces recommandations ne remplacent pas des modélisations numériques ou des simulations, seuls outils pouvant permettre d'affiner (voir d'optimiser) le tracé des ouvrages en fonctions des caractéristiques du site et des navires.

2-10.1 Navire projet 145 m

Suite à la réunion du 3 février 2011 (cf. [13]), le navire projet devant être accueilli dans l'actuel port de Port-la-Nouvelle (**phase I**) présente un gabarit similaire au "Thaïs". Les caractéristiques, retenues pour la suite de l'étude, sont les suivantes :

- Longueur L = 145 m ;
- Largeur B = 22 m ;
- Tirant d'Eau TE = 8 m ;
- Déplacement : 25 000 t ;
- Type vraquier ;
- Maniabilité = faible (mauvaise) ;
- Degré de risque de la cargaison = faible.

Remarque 1 : les fonds au droit des zones de navigation seront des fonds meubles, réguliers, de type vase et/ou sable.

C | **Remarque 2 :** un navire projet de 160 m sera pris en compte lors de la deuxième phase (**phase II**) d'aménagement du port. Les contraintes engendrées par ce dernier sont décrites dans le paragraphe relatif au futur port.

2-10.2 Chenal d'approche extérieur

Le chenal d'approche extérieur du port actuel de Port-la-Nouvelle fera l'objet de recommandations propre à l'entrée du navire projet du futur port, de gabarit plus élevé. Les recommandations pour le port actuel concerneront donc essentiellement les rayons de giration, la largeur de chenal intérieur, les distances de parcours ainsi que la profondeur de dragage permettant l'entrée du navire type Thaïs dans le port.

Néanmoins, il est indiqué dans les paragraphes ci-après la largeur rectiligne et courbe pour le chenal extérieur du futur port, en considérant le navire projet du port actuel et les profondeurs draguées du futur port.

Section rectiligne

Paramètre	Caractérisation	Coefficient multiplicatif de B
Maniabilité du Navire	<i>Faible</i>	1,8
Vitesse du Navire	<i>Moyenne (8 – 12 nœuds)</i>	0
Vent Traversier	<i>Moyen (15 – 33 nœuds)</i>	0,4
Courant Transversal	<i>Moyen (0,5 – 1,5 nœuds)</i>	0,7
Courant Longitudinal	<i>Faible (0 – 1,5 nœuds)</i>	0
Houle	<i>Hs < 3m et L_{onde}=L</i>	1
Aide à la Navigation	<i>Moyen</i>	0,2
Surface du Fond	<i>Régulière et meuble</i>	0,1
Profondeur de la Voie d'Eau	<i>> 1,5 TE</i>	0
Degré de Risque Cargaison	<i>Faible</i>	0
Berges du Chenal	<i>Talus</i>	1
TOTAL		5,2 x B = 5,2 x 22 = 115 mètres

Tabl. 6 : Largeur du chenal exposé pour le navire projet (port actuel)

Dans ses sections rectilignes, la largeur du chenal extérieur devra donc être supérieure ou égale à **115 m**.

Section courbe

Les profondeurs projetées au niveau de la passe d'entrée du futur port sont de l'ordre de -13,9 m CM, soit un ratio profondeur / tirant d'eau $\gg 1,5$. La surlargeur correspondante en section courbe serait de 44 m. En considérant un chenal extérieur de 115 m de large, la section courbe à l'entrée du port pour le navire projet du port actuel serait d'une largeur de **159 m**.

Remarque : cette section courbe peut intervenir dans l'implantation du musoir de la jetée Sud.

2-10.3 Profondeurs

Chenal extérieur

C

La profondeur du chenal extérieur est dictée par le tirant d'eau des navires accueillis par le futur port. Elle sera de **-13,9 m CM** (cf. 2-11.4 Profondeurs).

Chenal intérieur

La zone considérée pour le chenal intérieur du port actuel est une zone peu exposée et où les navires ont une faible vitesse. La profondeur du chenal intérieur est fonction de plusieurs paramètres : le tirant d'eau du navire, la surface des fonds, la vitesse d'approche, le surenfoncement ou « ship squat ».

Les différents ouvrages s'accordent pour préconiser une profondeur de dragage comprise entre 110 % et 115% du tirant d'eau du navire, en eau calme. L'Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) recommande un coefficient de 115% (réf. [12]).

Dans le cadre du projet, en présence de fonds sableux et/ou vaseux, le Maître d'Ouvrage retient une valeur de 115 % soit une profondeur de **-9,2 m CM**.

Remarque : Dans le **cas conservatif** ou le chenal serait éventuellement soumis à une faible houle, cette valeur peut être portée à 120% du Tirant d'Eau, ce qui représente une profondeur de **-9,6 m CM**.

Darses et approche des quais

En dehors du chenal intérieur et des bassins, une profondeur de dragage égale à 1,07 fois le tirant d'eau du navire projet est arrêtée car considérée comme suffisante. La profondeur à l'approche des quais et dans les darses sera donc de **-8,6 m CM**.

Rappel : les corrections sur ces profondeurs dues à l'accueil dans le port actuel d'un navire de longueur 160 m figurent dans le paragraphe 2-11.4.

2-10.4 Girations

Rayon de giration

D'après le document [6], les rayons de courbes préconisés pour l'approche d'un navire de doivent pas être inférieurs à 5 longueurs de navire, soit $L \times 5 = 725$ mètres dans notre cas.

D'après document [5], des abaques permettent de déterminer, **sans vent ni courant traversier**, le rayon de giration d'un navire (type porte-conteneur, mono-hélice, mono-gouvernail).

Les résultats pour le navire projet, en fonction de l'angle de barre et avec un ratio profondeur sur tirant d'eau égal à 1,15 sont consignés dans le tableau suivant :

Angle de barre (°)	10 °	20°	30°
Rayon de giration (m)	1640 m	970 m	755 m

Tabl. 7 : Rayon de giration d'un navire en fonction de l'angle de barre

La valeur préconisée pour le rayon de courbure à respecter dans les coudes afin de permettre l'entrée et la sortie du navire projet dans le port actuel est de **R = 970 m**.

Remarque 1 : pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 1,2 cette valeur est de **R = 840 m**.

Remarque 2 : pour un ratio profondeur / tirant d'eau de $>> 1,5$ cette valeur est de **R = 475 m**.

Surface balayée et sur-largeur

Lors de sa giration, le navire balaye une surface supérieure à sa propre largeur du fait du glissement latéral engendré par la vitesse. De plus, l'adoption dans les courbes du chenal d'une sur-largeur est préconisée. Ces deux éléments seront pris en compte et détaillés dans le calcul de la largeur du chenal intérieur (voir 2-10.2 Chenal d'approche extérieur et 2-10.6 Chenal intérieur).

Secteur rectiligne entre les courbes

Le document [5] préconise la présence d'une section droite entre deux courbes de dimension supérieure ou égale à 5 fois la longueur du navire. On retiendra donc ici une longueur rectiligne de $145 \times 5 = 725 \text{ m}$ à maintenir entre deux girations, pour un chenal intérieur et une faible vitesse d'avance (inférieure à 5 nds).

2-10.5 Distance d'arrêt

D'après [8], une distance d'arrêt de 4 fois la longueur du navire (navire de type vraquier, faible degré de risque de la cargaison, maniabilité faible) peut être considérée comme adéquate, pour un navire dont la vitesse est de 5 nœuds. Dans notre cas, cette distance s'évaluerait donc à $145 \times 4 = 580 \text{ m}$.

Rappel : Lors des études trajectographiques réalisées précédemment, une distance d'arrêt minimale de 3 longueurs de navire (soit 420 m) avait été estimée, et ce pour une manœuvre plutôt contraignante (marche arrière à 80 %). Ces résultats figurent dans la note de navigabilité de référence NN-09-3-067-01-A disponible en annexe A.

2-10.6 Chenal intérieur

Section rectiligne

D'après l'AIPCN, la largeur du chenal intérieur peut être calculée en fonction de la largeur du navire projet et des différentes contraintes sur site (courant, vents, hauteur d'eau, etc.)

Le tableau suivant résume les hypothèses prises pour l'affectation de la largeur au chenal intérieur abrité.

Paramètre	Caractérisation	Coefficient multiplicatif de B
Maniabilité du Navire	<i>Faible</i>	1,8
Vitesse du Navire	<i>Lente (5 – 8 nœuds)</i>	0
Vent Traversier	<i>Moyen (15 – 33 nœuds)</i>	0,5
Courant Transversal*	<i>Négligeable (< 0,2 nœuds)</i>	0
Courant Longitudinal	<i>Faible (0 – 1,5 nœuds)</i>	0
Houle	<i>Hs < 1m et L_{onde} < L</i>	0
Aide à la Navigation	<i>Moyen</i>	0,2
Surface du Fond	<i>Régulière et meuble</i>	0,1
Profondeur de la Voie d'Eau	<i>≤ 1,15 TE</i>	0,4
Degré de Risque Cargaison	<i>Faible</i>	0
Berges du Chenal	<i>Talus</i>	0,6
TOTAL		3,6 x B = 80 mètres

Tabl. 8 : Largeur du chenal abrité pour le navire projet (port actuel)

* **Remarque 1** : à l'heure actuelle, le courant transversal n'est pas négligeable au niveau de la passe d'entrée du port. Cependant, il le sera certainement dans la nouvelle configuration qui isolera l'actuelle passe d'entrée des phénomènes de courant traversier.

Dans ses sections rectilignes, la largeur du chenal intérieur devra donc être supérieure ou égale à **80 m**.

Remarque 2 : pour des cargaisons jugées à risque moyen, la largeur recommandée du chenal rectiligne serait de 88 m.

Pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 1,2, cette largeur serait de 75 m.

Remarque 3 : Pour un ratio profondeur / tirant d'eau >> 1,5 la largeur d'un chenal rectiligne protégé serait de 71 m.

Section courbe

Comme mentionné précédemment, la présence de giration induit un élargissement du chenal.

Cet élargissement est quantifiable, et les abaques du document [5] mentionnent une surface balayée de $1,37 \times B = 30$ m pour un angle de barre de 30° (plus défavorable qu'avec un angle de barre de 20°) et un rapport profondeur sur tirant d'eau de 1,15.

La largeur retenue pour les sections courbes du chenal intérieur est donc $80+30 = 110$ m.

Remarque 1 : cette distance est à considérer comme un minimum en raison des phénomènes de dérive, auloffée et abattée.

Remarque 2 : Pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 1,2, la largeur des sections courbe serait de 107 m.

2-10.7 Largeur actuelle de la passe

La largeur actuelle de la passe du port de Port la Nouvelle est d'une centaine de mètres au miroir et d'une quarantaine de mètres au plafond.

2-10.8 Synthèse

Le tableau suivant synthétise les valeurs géométriques pour chaque caractéristique du port actuel.

PORT ACTUEL				
Navire projet (type Vraquier)			<i>hypothèse sur le TE :</i> $r \gg 1,5$ chenal ext. $r = 1,15$ chenal int.	<i>hypothèse sur le TE :</i> $r \gg 1,5$ chenal ext. $r = 1,2$ chenal int.
o Longueur	L = 145 m	Chenal Extérieur	<i>Section rectiligne</i>	115 m
o Largeur	B = 22 m		<i>Section courbe</i>	159 m
o Tirant d'Eau	TE = 8 m		<i>Profondeur</i>	-
o Déplacement	D = 25 000 t	Chenal Intérieur	<i>Section rectiligne</i>	75 m
o Maniabilité	Faible		<i>Section courbe</i>	107 m
o Risque de la Cargaison	Faible		<i>Profondeur</i>	- 9,6 m CM
		Rayon de Giration (int/ext)	970 m / 475 m	840 m
		Distance entre Girations	725 m	725 m
		Distance d'Arrêt	580 m	580 m

Tabl. 9 : Synthèse des caractéristiques géométriques (port actuel)

Avec : - r : ratio profondeur sur tirant d'eau ;
- **en vert** : valeurs retenues par le Maître d'Ouvrage

Remarque 1 : les fonds des zones de navigation devraient être sableux et/ou vaseux.

Remarque 2 : la limite d'opérabilité à l'extérieur du port a été fixée à 2,0 m de hauteur significative (cf. 2-11).

2-11 Navigabilité : Futur port

L'accueil de navires plus volumineux dans le nouveau grand port de Port-la-Nouvelle nécessite une redéfinition des caractéristiques géométriques à intégrer dans la réflexion sur le plan masse de ce dernier.

Ainsi l'étude de faisabilité s'appuiera sur des contraintes géométriques tirées de la littérature concernant la création de nouveaux ports et voies navigables.

C

Rappel : la limite d'opérabilité en termes d'entrée et de sortie des navires a été fixée à une hauteur significative de 2,0 m à l'extérieur du port (même si une limite de 1,5 m apparaît plus sécuritaire). Cette limite doit être prise en compte en particulier dans les pieds de pilote des zones exposées. La valeur finale devra être fixée par l'autorité portuaire.

C

2-11.1 Navire projet de 200 m

D'après la note de la Région Languedoc Roussillon (cf. [3]), le navire projet présentant les plus grandes dimensions sera du type "Handymax". Ses caractéristiques, retenues pour la suite de l'étude, sont les suivantes :

- Longueur L = 200 m ;
- Largeur B = 32,2 m ;
- Tirant d'Eau TE = 11,6 m ;
- Déplacement : 56 000 t ;
- Type vraquier liquide ;
- Maniabilité = faible ;
- Degré de risque de la cargaison = élevé.

Remarque 1 : l'étude doit prendre en compte l'accueil de plus petits navires, plus pénalisants en termes d'agitation.

Remarque 2 : les fonds au droit des zones de navigation seront des fonds meubles, réguliers, de type vase et/ou sable.

Nombre de navires : la Région Languedoc Roussillon souhaiterait l'accueil de 3 navires de 200 x 32,20 x 11,60 m et d'un navire de 160 x 27 x 9,50 m le long de la future digue Nord.

C

2-11.2 Navire projet de 160 m

Lors d'une deuxième phase d'aménagement du port actuel (cf. plan **phase 2** du paragraphe 2-1.2), le navire projet (en direction du port actuel) ne mesurera plus 145 m mais présentera les caractéristiques suivantes :

- Longueur L = 160 m ;
- Largeur B = 27 m ;

C

- Tirant d'Eau TE = 9,5 m ;
- Type vraquier ;
- Maniabilité = faible ;
- Degré de risque de la cargaison = faible.

Note : Seuls les éléments relatifs à la profondeur sont détaillés dans ce qui suit pour ces deux navires projets, car leurs bassins et quais d'accueil sont différents. Les autres caractéristiques géométriques à prendre en considération pour le navire projet de 160 m ne sont pas développées ici. Intégrées aux réflexions sur l'implantation des ouvrages, elles figurent sous forme synthétique à la section 2-11.11 Tableau 14.

2-11.3 Chenal d'approche extérieur

C

Rappel : Les valeurs exposées ci-après sont représentatives du navire projet de 200 m.

Section rectiligne

D'après [4], la largeur minimale pour un chenal d'approche en zone exposée est de cinq largeurs de navire, soit ici **160 m**.

D'après les recommandations de l'AIPH [5], une largeur minimale peut être déterminée, fonction des hypothèses signalées dans le tableau suivant.

Paramètre	Caractérisation	Coefficient multiplicatif de B
Maniabilité du Navire	Faible	1,8
Vitesse du Navire	Moyenne (8 – 12 nœuds)	0
Vent Traversier	Moyen (15 – 33 nœuds)	0,4
Courant Transversal	Moyen (0,5 – 1,5 nœuds)	0,7
Courant Longitudinal	Faible (0 – 1,5 nœuds)	0
Houle	$H_s < 3m$ et $L_{onde}=L$	1
Aide à la Navigation	Moyen	0,2
Surface du Fond	Régulière et meuble	0,1
Profondeur de la Voie d'Eau	$< 1,25 TE$	0,2
Degré de Risque Cargaison	Elevé	1
Berges du Chenal	Talus	1
TOTAL		6,4 x B = 206 mètres

Tabl. 10 : Largeur du chenal extérieur pour le navire type Handymax

Dans ses sections rectilignes, la largeur du chenal devra donc être supérieure ou égale à **206 m**.

Remarque 1 : pour des cargaisons jugés à risque moyen la largeur du chenal extérieur serait de **190 m** pour les **sections rectilignes**.

Remarque 2 : pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 1,3, cette largeur serait de **203 m**.

Section courbe

Dans le cas où le chenal d'entrée du nouveau port impliquerait une présentation en giration des navires, une sur-largeur doit lui être imposée afin de garantir une aisance d'accès.

Comme décrit précédemment (voir 2-10 Navigabilité port actuel) cette sur-largeur est donnée par les abaques de l'AIPCN et vaut dans notre cas (ordre de barre de 30°, cas le plus défavorable et rapport profondeur sur tirant d'eau de 1,2) : $1,42 \times B = 46 \text{ m}$.

Ainsi, la largeur de la passe d'entrée du nouveau port de Port-la-Nouvelle, dans le cas d'une présentation des navires en giration de l'ordre de 20° doit être au minimum de $206 + 45 = 252 \text{ m}$.

Remarque 2 : Pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 130 %, la largeur des sections courbe serait de **238 m**.

2-11.4 Profondeurs

Chenal extérieur

D'après [4], le ratio profondeur sur tirant d'eau d'un chenal exposé à des houles importantes, de directions et de périodes défavorables, est estimé à 1,5. Cependant, et si on tient compte d'une limite d'opérabilité ainsi que des recommandations d'usage dans la littérature pour un chenal moyennement exposé [8], une valeur du ratio de 1,3 peut être retenue.

Remarque 1 : cette valeur ($1,3 \times 11,6 = -15,0 \text{ m CM}$) est acceptable même avec des grandes vitesses d'avance.

Remarque 2 : la nature des fonds (sable) est en faveur des faibles pieds de pilote. De plus, étant donné les profondeurs évoquées, les phénomènes d'accrétion de sable dans les zones draguées devraient être limités.

Les recommandations de l'OCIMF (cf. [12]) conduisent à prendre une valeur minimale de 120 % pour un chenal exposé (paramètre retenu par le Maître d'Ouvrage) soit une profondeur de **-13,9m CM**.

Bassin portuaire

Le bassin portuaire du nouveau port de Port-la-Nouvelle sera soumis à une agitation résiduelle provenant de la houle du large. Ainsi, un ratio profondeur sur tirant d'eau égal à 1,2 apparaît comme nécessaire à la bonne manœuvrabilité des navires.

La profondeur de dragage dans les zones "agitées" devra donc être au minimum de **-13,9 m CM**.

Pour des zones peu exposées, un ratio de 1,15 est souhaité par le Maître d'Ouvrage (soit **-13,4 m CM**), valeur en accord avec les recommandations de l'OCIMF (cf. [12]).

Darse et approche des quais

C

En dehors du chenal intérieur et des bassins, une profondeur de dragage égale à 1,07 fois le tirant d'eau du navire projet est arrêtée car considérée comme suffisante. La profondeur à l'approche des quais et dans les darses du futur port sera donc de **-12,4 m CM**.

Chenal intérieur, bassins et postes à quai pour le navire de 160 m (phase II)

La phase II d'aménagement du port (cf. 2-1.2) prévoit la réception de navires de 160 m de long et de tirant d'eau de 9,5 m. Ces nouvelles caractéristiques nécessitent l'application de profondeurs de dragages adaptées au niveau du chenal intérieur ainsi qu'à l'approche des quais.

Les ratios profondeur sur tirant d'eau ne diffèrent pas des valeurs arrêtées pour la phase I (cf. 2-10.3). Les coefficients à appliquer sont donc respectivement de 1,15 pour le chenal intérieur et les bassins et de 1,07 à l'approche des quais et dans les darses, soit :

Une profondeur de dragage de **-11 m CM** pour le chenal intérieur et les bassins.

Une profondeur de dragage de **-10,2 m CM** à l'approche des quais.

2-11.5 Girations

C | **Rappel** : Les valeurs exposées ci-après sont représentatives du navire projet de 200 m.

Rayon de giration

D'après le document [6], les rayons de courbes préconisés pour l'approche d'un navire de doivent pas être inférieurs à 5 longueurs de navire, soit $L \times 5 = 1000$ mètres dans notre cas.

D'après le document [5], des abaques permettent de déterminer, sans vent ni courant traversier, le rayon de giration d'un navire (type porte-conteneur, mono-hélice, mono-gouvernail).

Les résultats pour le navire projet, en fonction de l'angle de barre et avec un ratio profondeur sur tirant d'eau égal à 1,2 sont consignés dans le tableau suivant :

Angle de barre (°)	10 °	20°	30°
Rayon de giration (m)	1800 m	1200 m	1100 m

Tabl. 11 : Rayon de giration d'un navire en fonction de l'angle de barre

La valeur retenue pour le rayon de courbure à respecter pour l'approche éventuelle en giration du navire projet est de **R = 1200 m**.

Remarque 1 : les vraquiers étant de maniabilité faible (voire très faible), un rayon de giration de cinq fois la longueur du navire apparaît comme étant un minimum sans vent ni courant. Un rayon plus important devrait être pris en compte afin d'assurer une sécurité satisfaisante vis-à-vis des phénomènes d'auloffée et d'abattée.

Remarque 2 : le rayon de giration projeté se situe au niveau du franchissement de la passe d'entrée du port, zone potentiellement exposée. Un ratio de 120 % entre la profondeur et le tirant d'eau des navires a été retenu. Pour un ratio de 130 % et un angle de barre de 20°, le rayon de giration serait de 1000 m.

Secteur rectiligne entre les courbes

Le document [5] préconise la présence d'une section droite entre deux courbes de dimension supérieure ou égale à 5 fois la longueur du navire. On retiendra donc ici une longueur rectiligne de $200 \times 5 = 1000 \text{ m}$ à maintenir entre deux girations, pour un chenal intérieur et une faible vitesse d'avance (inférieure à 5 nds).

2-11.6 Distance d'arrêt

D'après [8], une distance d'arrêt de 4 fois la longueur du navire peut être considérée comme suffisante, pour un navire dont la vitesse est de 5 nœuds. Considérant que la vitesse d'approche des navires sera plutôt de l'ordre de 6 à 8 nœuds ainsi que les caractéristiques du navire projet, cette distance doit être portée jusqu'à 5 fois la longueur du navire, soit **1000 m**.

C

Remarque 1 : la distance d'arrêt est à considérer en général à partir du moment où le navire est en zone protégée et peut casser son erre. Il a été convenu de considérer la distance d'arrêt juste après le deuxième musoir de l'entrée du port (le plus à l'intérieur), même si la giration du navire n'est pas terminée.

Remarque 2 : la distance d'arrêt sera de 1000m ($5 \times L$) et sera rallongée d'une distance égale au rayon du cercle d'évitage ($1 \times L$).

2-11.7 Chenal intérieur

Section rectiligne

D'après l'AIPCN, la largeur du chenal intérieur du futur port peut être calculée en fonction de la largeur du navire type et des différentes contraintes sur site (courant, vents, hauteur d'eau, etc.)

Le tableau suivant résume les hypothèses prises pour l'affectation de la largeur au chenal intérieur abrité.

Paramètre	Caractérisation	Coefficient multiplicatif de B
Maniabilité du Navire	<i>Faible</i>	1,8
Vitesse du Navire	<i>Lente (5 – 8 nœuds)</i>	0
Vent Traversier	<i>Moyen (15 – 33 nœuds)</i>	0,5
Courant Transversal	<i>Négligeable (< 0,2 nœuds)</i>	0
Courant Longitudinal	<i>Faible (0 – 1,5 nœuds)</i>	0
Houle	<i>Hs < 1m et $L_{onde} < L$</i>	0
Aide à la Navigation	<i>Moyen</i>	0,2
Surface du Fond	<i>Régulière et meuble</i>	0,1
Profondeur de la Voie d'Eau	$\leq 1,15 TE$	0,4
Degré de Risque Cargaison	<i>Elevé</i>	0,8
Berges du Chenal	<i>Talus</i>	0,6
TOTAL		4,4 x B = 142 mètres

Tabl. 12 : Largeur du chenal abrité pour le navire projet (futur port)

Dans ses sections rectilignes, la largeur du chenal intérieur du futur port devra donc être supérieure ou égale à **142 m**.

Remarque : pour des cargaisons jugées à risque moyen, une largeur de 129 m est recommandée pour les sections rectilignes.

Pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 1,2, cette largeur serait de 136 m.

Section courbe

Les profondeurs projetées dans le bassin portuaire du futur port sont de l'ordre de -13,4 m CM, soit un ratio profondeur / tirant d'eau = 1,15. La surlargeur à adopter dans les courbes serait donc de 44 m pour un angle de barre de 30°. En considérant un chenal extérieur de 142 m de large, la section courbe à l'entrée du port pour le navire projet du futur port serait d'une largeur de **186 m**.

Remarque : Pour un ratio profondeur / tirant d'eau de 1,2, une largeur de 182 m est recommandée pour les sections courbes.

2-11.8 Cercle d'évitage

Dans la littérature, et notamment dans [8], il est préconisé un diamètre minimum de 1,5 longueur de navire soit 300 m, pour un courant dans le chenal compris entre 0.5 et 1.5 nœuds, et en présence de deux remorqueurs.

Le diamètre du cercle d'évitage n'étant pas a priori une contrainte géométrique forte au vue des dimensions du futur port, et prenant en considération le fait que ce dernier ne disposera pas forcément de remorqueurs adéquats, une valeur appropriée pour le diamètre du cercle d'évitage serait de 2 longueurs de navire, soit ici $2 \times 200 = 400 \text{ m}$.

Rappel : il est recommandé que le centre du cercle d'évitage coïncide avec la fin de la distance d'arrêt.

2-11.9 Remorqueurs

A l'heure actuelle trois types de remorqueurs sont envisageables : ASP (dernière génération), Voith ou Aquamaster. Le port devra en posséder deux.

Dans le cadre de l'Avant Projet Sommaire, il sera pris en compte les assistances à la navigation les moins performants (type Voith ou Aquamaster). Une **distance de travail de 70 m** et une **profondeur d'au moins 5 m** est à considérer pour les remorqueurs.

2-11.10 Divers

Une **largeur des darses de 200 m** est retenue car jugée très satisfaisante.

La **distance entre les navires amarrés** le long de la future jetée Nord est fixée à **100 m**. Elle est très sécuritaire mais permettra de ne pas se pénaliser pour l'accueil de navires de plus grande taille (> 200 m).

Une **passée orientée au Sud-Est** est retenue.

2-11.11 Synthèse

Le tableau suivant synthétise les valeurs géométriques pour chaque caractéristique du futur port (navire projet de 200m).

FUTUR PORT				
Navire projet (type Handymax)			<i>hypothèse sur le TE :</i> <u>r = 1,2</u> chenal ext. <u>r = 1,15</u> chenal int.	<i>hypothèse sur le TE :</i> <u>r = 1,3</u> chenal ext. <u>r = 1,2</u> chenal int.
o Longueur	L = 200 m			
o Largeur	B = 32,2 m			
o Tirant d'Eau	TE = 11,6 m			
o Déplacement	D = 56 000 t			
o Maniabilité	Faible			
o Risque de la Cargaison	Elevé			
		Chenal Extérieur	<i>Section rectiligne</i> 206 m	203 m
			<i>Section courbe</i> 252 m	238 m
			<i>Profondeur</i> - 13,9 m CM	- 15 m CM
		Chenal Intérieur	<i>Section rectiligne</i> 142 m	136 m
			<i>Section courbe</i> 186 m	182 m
			<i>Profondeur</i> - 13,4 m CM	- 13,9 m CM
			Rayon de Giration (ext.)	1000 m
			Distance entre Girations	1000 m
			Distance d'Arrêt	1000 m
			Cercle d'évitage (diamètre)	400 m

Tabl. 13 : Synthèse des caractéristiques géométriques (futur port)

Avec : - r : ratio profondeur sur tirant d'eau ;
 - **en vert** : valeurs retenues par le Maître d'Ouvrage.

Remarque 1 : les fonds des zones de navigation devraient être sableux et/ou vaseux.

Remarque 2 : la limite d'opérabilité à l'extérieur du port a été fixée à une hauteur significative égale à 2,0 m.

C

Le tableau suivant synthétise les valeurs géométriques à prendre en compte pour la réception du **navire projet de 160 m** conformément aux aménagements intérieurs de la **phase II**.

FUTUR PORT				
Navire projet (type vraquier)				
o Longueur	L = 160 m			
o Largeur	B = 27 m			
o Tirant d'Eau	TE = 9,5 m			
o Maniabilité	Faible			
o Risque de la Cargaison	Faible			
		<i>hypothèse sur le TE :</i> $1,5 > r > 1,25$ chenal ext. $r = 1,15$ chenal int.	<i>hypothèse sur le TE :</i> $1,5 > r > 1,25$ chenal ext. $r = 1,2$ chenal int.	
Chenal Extérieur		<i>Section rectiligne</i>	146 m	146 m
		<i>Section courbe</i>	193 m	193 m
		<i>Profondeur</i>	-	-
Chenal Intérieur		<i>Section rectiligne</i>	97 m	92 m
		<i>Section courbe</i>	134 m	131 m
		<i>Profondeur</i>	- 11 m CM	- 11,4 m CM
Rayon de Giration (int/ext)		1070 m / 704 m	960 m	
Distance entre Girations		800 m	800 m	
Distance d'Arrêt		640 m	640 m	
Cercle d'évitage		320 m	320 m	

Tabl. 14 : Synthèse des caractéristiques géométriques (port actuel – phase II)

Avec : - r : ratio profondeur sur tirant d'eau ;
- **en vert** : valeurs retenues par le Maître d'Ouvrage.

Remarque 1 : les fonds des zones de navigation devraient être sableux et ou vaseux.

Remarque 2 : la limite d'opérabilité à l'extérieur du port a été fixée à une hauteur significative égale à 2,0 m.

2-12 Seiches

Un phénomène de résonance (seiche) est observé dans le port de Port la Nouvelle. La période de retour de ce phénomène (ou des observations) semble être de quelques années.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, il n'est pas prévu l'évaluation des phénomènes de seiche pour le projet du grand port.

2-13 Critères

2-13.3 Bibliographie

D'après [11] et au vue des différents tonnages et typicité des navires allant être accueillis dans le nouveau port de Port-la-Nouvelle, nous pouvons a priori estimer qu'une hauteur significative maximale de **1 m** de houle serait acceptable dans le bassin portuaire.

Ship at berth	H_s at berth
Marinas	0.15
Fishing boats	0.40
General cargo (<30 000 dwt)	0.70
Bulk cargo (<30 000 dwt)	0.80
Bulk cargo (30 000–100 000 dwt)	0.80–1.50
Oil tankers (<30 000 dwt)	1.00
Oil tankers (30 000–150 000 dwt)	1.00–1.70
Passenger ship	0.70

Tabl. 14 : H_s maximale dans les ports en fonction des navires (Port Designer's Handbook)

Remarque : dwt (deadweight tons) est l'unité de capacité portante du navire en tonnes. Les vraquiers sont caractérisés par l'appellation Bulk Cargo.

Les valeurs suivantes sont couramment utilisées par le CETMEF.

NAVIRES	POUR LA MANUTENTION (en m)	POUR LA TENUE A POSTE (en m)
PETITS NAVIRES		
L = 5 à 12m SANS PONT		0,2
L = 5 à 12m AVEC PONT		0,3
NAVIRES DE PECHE	0,8	
L = 15 à 30m		
CABOTEURS < 2000 TPL		0,45
CARGOS < 15000 TPL	1,0	
VRACQUIER LIQUIDE		
< 30000 TPL	1,5	
> 30000 TPL	3,0	
VRACQUIER		
< 30000 TPL	0,8	
DE 30000 à 100000 TPL	1,0	
PORTE-CONTENEURS	0,5	
LNG, LPG		
< 75000 m3	0,5	
DE 75000 à 125000 m3	0,7	
PETROLIERS		
< 100000 TPL	0,3 à 2,0*	0,8 à 1,2
DE 100000 à 250000 TPL	0,5 à 2,5*	1,0 à 1,5
DE 250000 à 500000 TPL	0,5 à 2,7*	1,2 à 2,0

* les valeurs maxi concernent les terminaux pétroliers sur bouée

Tabl. 15 : Hs maximale dans les ports en fonction des navires (CETMEF)

On peut ainsi noter que pour des navires pétroliers de faible tonnage, des hauteurs allant de 0,8m à 1,2 m sont acceptables au niveau des quais en termes d'amarrage.

2-13.4 Agitation

Des valeurs de référence ou critères limites doivent être définis par secteur **pour des conditions hydrauliques type**. Compte tenu des caractéristiques des navires et des recommandations, il est proposé dans un premier temps les conditions suivantes.

La houle limite d'opérabilité retenue ($H_s = 2,0$ m à l'extérieur du port) a pour principal objectif d'évaluer l'agitation dans toutes les zones de navigation (passe d'entrée, cercle d'évitage, chenal, proximité des quais).

Les houles 5j./an, annuelles et décennales ont pour objectifs d'évaluer l'agitation à proximité des quais (notions d'opérabilité et de sécurité).

Conditions hydrauliques : $H_s=2,0$ m ; direction la plus pénalisante ; $T_p=6s$; +1,0m CM	
Zone	Critère
Port actuel : Darse – Chenal aval	A préciser
Agitation à proximité des postes à quai (navire 200 m)	0 – 100 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 200 m)	0 – 80 cm
Agitation à proximité des postes à quai (navire 160 m)	0 – 70 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 160 m)	0 – 50 cm
Agitation au niveau du cercle d'évitage	0 – 100 cm
Agitation dans la passe d'entrée (cm)	50 – 200 cm

Tabl. 16 : Critères d'agitation dans les zones de navigation

Conditions hydrauliques : Houles 0,05%, annuelles et décennales	
Zone	Critère
Port actuel : Darse – Chenal aval	A préciser
Agitation à proximité des postes à quai (navire 200 m)	0 – 120 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 200 m)	0 – 100 cm
Agitation à proximité des postes à quai (navire 160 m)	0 – 80 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 160 m)	0 – 60 cm
Agitation au niveau du cercle d'évitage (*)	0 – 150 cm
Agitation dans la passe d'entrée (cm) (*)	100 – 300 cm

Tabl. 17 : Critères d'agitation pour les grandes périodes de retour

(*) Ces cas seront étudiés à titre indicatif car en théorie aucune navigation n'est prévue pour de telles conditions (H_s au large $> 2,0$ m)

Remarque 1 : les critères d'agitation pourront être réévalués en fonction des premiers résultats. **Le navire type de plus faibles capacités dicte les critères les plus pénalisants.** Les postes désignés pour les navires de 200 m devront pouvoir accueillir des navires de moindre taille (160m).

Remarque 2 : le dépassement des critères d'agitation sera associé à une occurrence afin d'évaluer les taux de disponibilité des postes.

2-13.5 Franchissements

Les franchissements peuvent avoir un impact sur les ouvrages (stabilité des terres pleins, des talus arrière), sur les usagers (service exploitant, piétons) et/ou sur les infrastructures (aménagements, navires).

Des critères spécifiques peuvent être définis en fonction des aménagements prévus et de la sensibilité des zones.

De manière générale, ces critères sont :

- Débit franchissant moyen (m^3/s par mètre linéaire d'ouvrage) ;
- Volume franchissant maximum (m^3 par mètre linéaire d'ouvrage) ;
- Condition hydraulique (H_s , T_p , direction, période de retour, niveau d'eau).

Il est proposé de retenir dans un premier temps : **aucun franchissement jusqu'à la houle décennale au droit des postes** et d'évaluer lors des modélisations physiques l'impact des franchissements pour des périodes de retour supérieures.

Pour les zones peu sensibles, les franchissements seront limités de manière à éviter les instabilités sur les talus arrière et l'agitation par franchissement.

Ces critères serviront dans un premier temps au prédimensionnement succinct des ouvrages afin de préciser leur emprise et leurs caractéristiques principales pour les modélisations numériques.

Dans un deuxième temps ces critères seront utilisés dans le cadre des modélisations physiques.

Remarque : ces critères peuvent par ailleurs être complétés par des critères plus qualitatifs (exemples : pas de surverse en houle cinquantennale, distances d'impact maximales, ...).

2-13.6 Stabilité

Rappel : l'étude hydraulique ne prendra pas en compte l'aspect sismique et la stabilité même des sols.

Les études antérieures divergent quant à l'évaluation des houles centennales. Nous proposons néanmoins de :

- C |
- baser le dimensionnement des ouvrages sur une période de retour de 100 ans (5 % de dommages pour les ouvrages en enrochements et 0-1% pour les blocs artificiels) ;
 - d'évaluer les dommages en présence d'une houle équivalente à 120 % de la houle de dimensionnement et un niveau centennal : les dommages devront être réparables.

Remarque : les faibles profondeurs à proximité du port de Port-la-Nouvelle conduisent à limiter la hauteur des houles incidentes par déferlement. Ainsi les plus fortes houles au large ne seront pas forcément dimensionnantes pour les ouvrages : le dimensionnement se fera avec une surcote centennale et des conditions de H_s/T_p inférieures ou égales à celles associées à une houle centennale au large (si plus défavorables). Pour les pieds des ouvrages une décote exceptionnelle sera prise en compte.

III-MODELISATIONS NUMERIQUES

3-1 Propagation

3-1.1 Modèle

La **propagation** des houles du « large » jusqu'au pied des ouvrages à l'entrée du port sera étudiée avec le modèle numérique **TOMAWAC** du système TELEMAC. Il permet de simuler le shoaling, la réfraction et le déferlement.

Le modèle sera étendu jusqu'à des profondeurs de 80 m.

3-1.2 Cas étudiés

Comme pour l'étude précédente de la passe d'entrée et de l'avant-port, les houles engendrant les conditions les plus défavorables en terme d'agitation ou de stabilité seront étudiées.

Le spectre de houle modélisé en entrée du modèle sera un spectre de Jonswap avec un gamma égal à 3,3 et un étalement directionnel de $\pm 5^\circ$.

3-1.3 Objectifs

Les résultats de l'étude de propagation permettront :

- De déterminer les caractéristiques des houles de projet à proximité de la côte et au droit des ouvrages étudiés, nécessaires aux pré-dimensionnements. Ces houles seront utilisées en entrée des modèles d'agitation, de courantologie et de sédimentologie ;
- De mettre à jour les éventuelles zones de focalisation de la houle, et donc les zones sensibles (forts Hs, risques d'érosion...).

3-2 Agitation

3-2.1 **Modèle**

L'étude **d'agitation** sera réalisée avec le modèle numérique **ARTEMIS** du système TELEMAC. Ce logiciel permet de calculer l'agitation proche de la côte ou à l'intérieur d'un port. Il résout, par la méthode des éléments finis, l'équation de Berkhoff ou « mild slope equation » avec prise en compte des termes de dissipation (déferlement et frottement sur le fond).

Les phénomènes physiques pris en compte sont les suivants :

- Réfraction due à la bathymétrie ;
- Diffraction derrière un obstacle ;
- Réflexion partielle ou totale par un ouvrage ;
- Pertes d'énergie par **déferlement** (selon la formulation de Battjes et Jansen) et par frottement sur le fond.

Les données d'entrée seront des houles irrégulières issues numériquement des résultats (Hs, direction) de l'étude de propagation.

3-2.2 **Cas étudiés**

Il sera étudié au moins 5 conditions de mer. Une condition de mer correspond à : un niveau d'eau, une période de retour, une hauteur significative, une période pic et une direction principale de propagation.

Les houles étudiées seront au moins :

- La houle de limite d'opérabilité (Hs = 2 m) ;
- La houle 0,05 % ;
- La houle annuelle ;
- La houle décennale.

Les directions seront celles engendrant le plus d'agitation.

3-2.3 **Coefficients de réflexion**

Les coefficients de réflexion seront calculés en fonction des cambrures de la houle et de la nature des ouvrages.

Remarque : *un prédimensionnement succinct des ouvrages principaux sera effectué afin de préciser les caractéristiques principales de ces derniers (largeur, pente du talus, nature de la carapace...).*

3-3 Courantologie

3-3.1 **Modèle**

Afin de connaître les vitesses de courant et les vitesses orbitales de la houle sur les fonds, il est nécessaire d'utiliser un modèle de courantologie (**TELEMAC 2D**). Ce logiciel permettra de disposer des éléments permettant de modéliser le transport sédimentaire.

Le logiciel TELEMAC 2D permet de modéliser les courants de marée et/ou de houle et les écoulements d'un chenal, la vidange ou le remplissage d'un étang. Il résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espaces horizontales et est intégré à la bibliothèque des codes numériques d'hydraulique à surface libre du système TELEMAC du Laboratoire National d'Hydraulique.

Les phénomènes physiques modélisés sont :

- La propagation des ondes longues ;
- Les frottements sur le fond ;
- L'influence des phénomènes météorologiques ;
- Les échanges avec l'étang ;
- Les bancs découvrants, les zones de seiche ;
- La prise en compte des courants de houle ;
- La prise en compte des vents.

3-3.2 **Cas étudiés**

Un modèle global sera réalisé. La configuration la plus pertinente (à l'issue de l'analyse multi critères) du nouveau port sera étudiée en présence de quatre conditions hydrauliques différentes.

3-4 Sédimentologie

3-4.1 **Modèle**

Afin de visualiser les déplacements sédimentaires au niveau de la zone étudiée, le modèle de sédimentologie **SISYPHE** sera utilisé. C'est un code bidimensionnel horizontal qui calcule le transport par charriage ou le transport total sous l'action des courants et de la houle.

Il s'applique à des sédiments non cohésifs, représentés par une granulométrie variable, pour une gamme de diamètres allant de 0,1 à 4 mm.

3-4.2 **Paramètres**

Les principaux paramétrages sédimentologiques qui seront utilisés sont :

- Une masse volumique du sable de 2650 kg/m^3 ;
- Des diamètres caractéristiques évolutifs en fonction de la profondeur pour caractériser 2 gammes de sédiments :
 - Un $D_{50}=0,20 \text{ mm}$ proche du rivage (de 0 m à -5 m de profondeur) ;
 - Un $D_{50}=0,15 \text{ mm}$ pour les profondeurs supérieures à 5m.
- La vitesse de chute des particules est calculée par le logiciel (formules semi-empiriques de Van Rijn).

3-4.3 **Cas étudiés**

Les courants et houles d'entrée seront issus des modélisations précédemment décrites.

Un modèle global sera réalisé. Son emprise sera suffisante afin d'éviter tout phénomène de bord. La configuration la plus pertinente du nouveau port sera étudiée en présence de quatre conditions hydrauliques différentes.

Calage du modèle : on rappelle que le modèle réutilisera les paramètres de calage utilisés pour la configuration actuelle du port (volume de dépôt annuel et "climat de houle" annuel).

Annexe A : distance d'arrêt

Modélisations NAVMER :

Le cas 5 illustre un essai d'arrêt avec le "Thaïs" dans l'avant port.

Le navire est à 5,5 nœuds entre la Jetée Nord et la Jetée Sud (machine avant à 80%). A l'entrée de l'avant-port, la machine est descendue à 50 % sur environ 150 m : la vitesse diminue de 1 nœud. Lorsque l'avant du navire s'est trouvé au niveau du casino, un **arrêt d'urgence** a été tenté (machine arrière à 80 %). Le contrôle du navire a alors progressivement été perdu et son erre a été cassée au bout d'environ **330 m** soit 2,4 longueurs de navires.

Dans le **chenal aval** la vitesse du navire passe de 4 nœuds à 0 nœuds, tout en gardant le contrôle du navire, sur une distance d'environ :

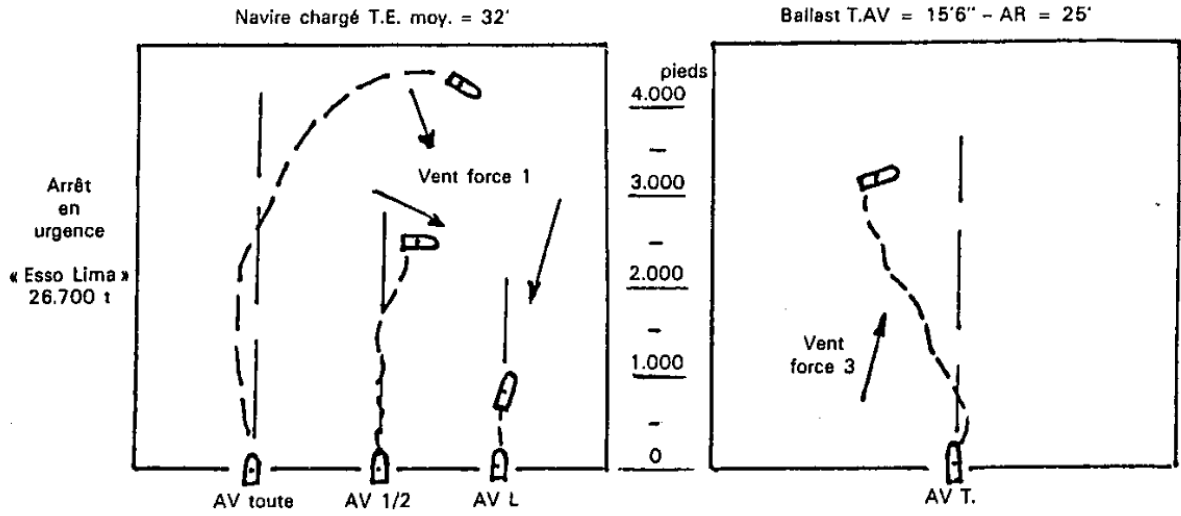
- 540 m pour le cas 2 (passage de 4 nœuds à 2,5 nœuds progressivement puis à 1 nœuds à l'aide d'une machine arrière à 80 %) ;
- 360 m pour le cas 8 (passage de 4 nœuds à 0 nœuds avec une machine arrière à 80 %) ;
- 720 m pour le cas 9 (passage de 4 nœuds à 3 nœuds progressivement sur 400 m puis machine arrière à 80 % sur 300 m pour passer à 0 nœuds).

Au vu de ces résultats, on peut estimer que la distance d'arrêt minimale pour le navire chargé modélisé est d'environ 3 longueurs de navires (**420 m**) avec une manœuvre qui nécessite une **marche arrière à 80 %**.

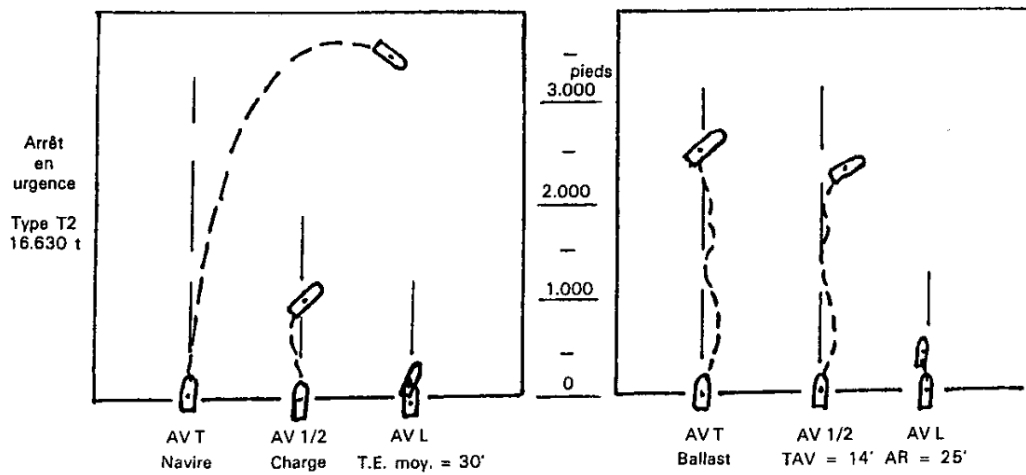
Bibliographie :

Peu de données spécifiques sont disponibles dans la bibliographie concernant les essais d'arrêt des navires.

Néanmoins certaines valeurs ont pu être trouvées concernant des pétroliers chargés (cf. pages suivantes).



96	65	42	T/M	100
32 s	25 s	15 s	Temps pour arbre stoppé	26
65	60	63	Nbre tours maxi en AR	62
4.800 p	2.960 p	1.020 p	Avance sur cap initial	3.600 p
2.220 p	375 p	0	Transfert	960 p
6 mn	5 mn 18 s	2 mn 19 s	Temps écoulé nav. stoppé	5 mn 15 s
110°	90°	2°	Changement cap	85°



82	60	30	T/M	81	60	30
15 s	10 s	7 s	Arbre stoppé	15 s	10 s	5 s
76	60	68	Tours maxi AR	70	70	54
3.600 p	1.050 p	360 p	Avance	2.700 p	2.400 p	450 p
1.800 p	0	0	Transfert	0	230 p	60 p
5 mn 40 s	2 mn 47 s	1 mn 23 s	Navire stoppé	3 mn 37 s	3 mn 26 s	1 mn 18 s
112°	51°	8°	Changement cap	46°	56°	9°

Il ressort que pour un pétrolier de 26 700 t, la distance d'arrêt d'urgence du navire à demi vitesse avant est de 900 m et de 310 m pour un navire en avance lente.

Pour un pétrolier de 16 630 t ces distances d'arrêt d'urgence sont divisées par trois.

On rappelle que le Thaïs est proche de 20 000 t et les futurs navires projets proches de 56 000 t.

Des distances d'arrêt équivalent à quatre longueurs de navire sont également recommandées dans certains ouvrages.

Note 1 : pour des navires plus rapides (type bananier) les distances d'arrêt sont supérieures. Les pilotes ont mentionné une distance de 650 m pour le port de Port-Vendres.

Note 2 : les distances d'arrêt évaluées ci-dessus ne tiennent compte ni du courant, ni du vent et ni de la houle qui peuvent modifier ces valeurs. De plus, des effets de faibles profondeurs peuvent également changer ces valeurs.