

PORT de PORT-La NOUVELLE MISSION D'ASSISTANCE AU MAÎTRE D'OUVRAGE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT



Note de navigabilité

Novembre 2012

CATRAM
CONSULTANTS



COM UNE EXCEPTION
Agence Conseil en Communication



INTERVIA Etudes
Groupe MERLIN



Avec la participation de : EURYECE, SCP BOILLOT, DSG Consultants, SOFID et EGSA

N° d'identification qualité du document	Affaire	Emetteur	Domaine	Nature	Chrono	Indice
	PLN	SSI	TFM1P3	NT	11	B
Objet de la révision par rapport à l'indice précédent	<ul style="list-style-type: none"> - Rappel des hypothèses - Précisions sur le contexte - Rappel des études réalisées 					
Visas Avant Diffusion						
Etabli par			Date d'émission			
S. SCARDIGLI (OCEANIDE) JP. SALDUCCI (expert pilote)			30/10/2012			
Contrôle interne par		Contrôle externe par		Approbation du chef de projet		
JP. AULANIER (OCEANIDE)		N/A		C. TORCHON		
Date : 26/10/2012		Date :		Date :		

TABLE DES MATIERES

Préambule	6
Références	8
1 Rappels	10
1.1 Caractérisation de l'état actuel	10
1.1.1 Objectif de l'étude de l'étude de navigabilité	10
1.1.2 Le modèle de navigabilité	11
1.1.3 Cas étudiés	12
1.1.4 Quelques résultats importants	13
1.1.5 Principaux résultats	16
1.2 Détermination des premiers plans masse	16
1.2.1 Objectif	16
1.2.2 Principaux résultats	17
2 Hypothèses	18
2.1 Navigabilité : port actuel	18
2.1.1 Navire projet de 145 m	18
2.1.2 Chenal d'approche extérieur	19
2.1.2.1 Section rectiligne	19
2.1.2.2 Section courbe	20
2.1.3 Profondeurs	20
2.1.3.1 Chenal extérieur	20
2.1.3.2 Chenal intérieur	20
2.1.3.3 Darses et approche des quais	20
2.1.4 Girations	20
2.1.4.1 Rayon de giration	20
2.1.4.2 Surface balayée et sur-largeur	21
2.1.4.3 Secteur rectiligne entre les courbes	21
2.1.5 Distance d'arrêt	21
2.1.6 Chenal intérieur	22
2.1.6.1 Section rectiligne	22
2.1.6.2 Section courbe	22
2.1.7 Largeur actuelle de la passe	23
2.2 Navigabilité : futur port	24
2.2.1 Navire projet de 200 m	24
2.2.2 Navire projet de 160 m	24
2.2.3 Chenal d'approche extérieur	25
2.2.3.1 Section rectiligne	25
2.2.3.2 Section courbe	26
2.2.4 Profondeurs	26
2.2.4.1 Chenal extérieur	26
2.2.4.2 Bassin portuaire	26
2.2.4.3 Darse et approche des quais	27
2.2.4.4 Chenal intérieur, bassins et postes à quai pour le navire de 160 m (2 ^{ème} étape)	27
2.2.5 Girations	27
2.2.5.1 Rayon de giration	27
2.2.5.2 Secteur rectiligne entre les courbes	28
2.2.6 Distance d'arrêt	28
2.2.7 Chenal intérieur	28

2.2.7.1	Section rectiligne	28
2.2.7.2	Section courbe	29
2.2.8	Cercle d'évitage	29
2.2.9	Remorqueurs	30
2.2.10	Divers	30
3	Le projet Grand Port – Navires 160 et 200 m	31
3.1	Contraintes liées à la limite administrative du port	32
3.2	Contraintes liées au port actuel	33
3.3	Contraintes liées au projet Grand Port	33
3.4	Autres contraintes	35
3.4.1	Contraintes environnantes	35
3.4.2	Distances imposées	35
3.5	Plans masse retenus	36
4	Le projet Grand Port – Navire de 225 m et de 12,80 m de tirant d'eau	37
4.1	Navire projet	37
4.2	Principales différences entre Navire 200m et 225m – Te 12,8 m	38
4.2.1	L'impact de la longueur	38
4.2.2	L'impact de la largeur	39
4.2.3	L'impact du tirant d'eau	40
4.3	Recommandations spécifiques par rapport au navire	41
5	Le projet Grand Port – Navires de 225 m et de 14,50 m de tirant d'eau	43
5.1	Navire projet	43
5.2	Principales différences entre Navire 200m et 225m – Te 14,5 m	44
5.2.1	Impact de la longueur	44
5.2.2	Impact de la largeur	45
5.2.3	Impact du tirant d'eau	45
5.3	Recommandations spécifiques par rapport au navire	47
6	Les projets de Grand Port et leur adaptabilité	48
6.1	Rappel : les projets Grands Ports	48
6.1.1	Grand Port, entrée Sud	48
6.1.2	Grand Port, entrée Nord	49
6.1.3	Grand Port, double entrée	50
6.1.4	Très Grand Port, entrée Sud	50
6.2	Adaptabilité des projets	51
7	Synthèse	55

Préambule

Les anciennes études projetées du réaménagement de l'avant-port et de la passe d'entrée du port actuel de Port-la Nouvelle ont nécessité une caractérisation complète de la configuration actuelle du port. En particulier, **la situation actuelle a été analysée en termes de navigabilité** :

- Grâce aux **pilotes du port**, les manœuvres d'entrée et de sortie du port actuel ont pu être caractérisées. De plus, leur expérience, couplée à une analyse des conditions océano-météorologiques, a permis de définir les conditions dimensionnantes à prendre en compte pour les manœuvres (vent, courant, houle, effets de berge...);
- Un **logiciel de modélisation des trajectoires des navires** a été paramétré pour le site grâce au CETMEF (NAVMER). Les calculs ont notamment mis en évidence l'étroitesse de la passe actuelle, les difficultés de manœuvrabilité en raison des effets de berge et l'impossibilité d'arrêter un navire de 145 m dans l'avant-port actuel : une prolongation des ouvrages en mer est ainsi apparue indispensable ;
- Un **pilote professionnel** extérieur a coordonné ces études et a ajouté son expertise. Il a ainsi contribué à une bonne caractérisation du port actuel et des conditions locales de navigation. Cette première approche a ensuite été mise à profit lors des projections de nouveaux navires sur le site. En effet, à partir de son analyse de la configuration actuelle, des recommandations et codes en vigueur et de sa propre expérience lors de la manœuvre de navires vraquiers (exemple : opérations au GPMM), l'expert pilote a pu guider et valider les hypothèses et premiers plans masse à produire dans le cadre des projets de réaménagement du port.

Les principaux résultats de ces études sont rappelés dans la présente note.

Ainsi, suite à l'étude de la configuration du port actuel de Port-la Nouvelle, différents scénarios d'aménagements ont pu être projetés. Ils ont concerné dans un premier temps la prise en compte de l'entrée d'un navire de 160 m dans l'avant-port actuel puis d'un navire de 200 m dans un nouveau plan d'eau et l'entrée de navires de 145 m dans le port actuel. Une autre étape d'aménagement du port a conduit à considérer des navires de 160m au lieu de 145 m.

Enfin, les récentes études socio-économiques associées à une mise à jour des navires projets nécessitent une **révision des navires** à anticiper pour le port projeté. Outre le rappel des études déjà réalisées, cette note de navigabilité a donc pour objectif de **décrire les ouvrages à prévoir afin d'accueillir de nouveaux navires projet** (principalement d'une longueur supérieure et d'un plus grand tirant d'eau).

A cette fin, il est rappelé les principales contraintes de navigabilité qui ont conduit au plan masse du projet Grand Port entrée Sud. Sur la base de ces mêmes hypothèses, il est décrit les ouvrages à prévoir afin d'accueillir de nouveaux navires projet. Un dernier paragraphe a pour objectif de présenter les aménagements jugés nécessaires et compatibles avec l'évolution du trafic maritime.

***Note :** Les hypothèses faites ci-après s'appuient sur les codes théoriques et recommandations en vigueur (cf. [4] à [9]), l'analyse de la configuration actuelle du port et le fait qu'il s'agit de nouveaux aménagements qui sont proposés. De plus l'expertise d'un pilote professionnel expérimenté a permis de valider les choix faits dans le cadre de ces études de faisabilité. Les valeurs retenues pourraient être néanmoins affinées lors des études ultérieures.*

Les études à venir :

Les études réalisées jusqu'à ce jour ont été des études de faisabilité. Comme leur nom l'indique, elles ont pour but de faire les premières esquisses d'un projet et évaluer s'il peut se faire ou non sur plusieurs aspects : économique, technique, environnementale, réglementaire...

Les études à venir, dans le cadre de la Maîtrise d'Œuvre, auront pour objectifs de **valider et d'optimiser les plans masse proposés à ce jour**. En particulier, afin de vérifier la faisabilité et la sécurité du plan masse qui sera retenu, des études de manœuvrabilité seront réalisées à l'aide d'un simulateur en temps réel de navigation. Les navires projet jugés les plus dimensionnants seront alors modélisés en présence de vent, houle et courant depuis l'approche du port jusqu'à leur accostage et inversement.

Les plans masse proposés constituent donc une première étape, ils sont susceptibles d'évoluer grâce aux études techniques à venir mais aussi en fonction des conclusions du débat public.

Références

[1] : Note Shipping – Port de Port-La Nouvelle – Mission d'assistance au Maître d'ouvrage pour l'agrandissement du port – PLN-DBT-TFM1P2-NT-007-B – Juin 2012

[2] : Note sur les travaux d'extension hors des limites administratives du port – Jean Chapon – 13 Juillet 2012

[3] : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port-la-Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Note d'Hypothèses – NH 10-3-091 / 01 / C – 10 mars 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] : Engineering and Design - Hydraulic Design of Deep Draft Navigation Projects - EM 1110-2-1613 – Chapter 9 – 31 May 2006

[8] : Port Designer's Handbook – Thomas Telford – October 2003 – ISBN 0727732285

[9] : OCIMF: Mooring Equipment Guidelines – 3rd edition 2008

[10] : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port-la-Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Note intermédiaire sur la définition des plans masse – NN 10-3-091 / 01 / B – 11 mars 2011

[11] : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port-la Nouvelle – Passe d'entrée et avant-port – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Modélisations numériques de l'état actuel – MN 09-3-067 / 01 / B – 2 août 2010

[12] : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port-la Nouvelle – Passe d'entrée et avant-port – Etude d'aménagement sur modèle mathématique et physique – Note intermédiaire sur la navigabilité (nouvelles configurations) – MN 09-3-067 / 02 / B – 30 septembre 2010

1 Rappels

Les paragraphes suivants rappellent la consistance des principales études de manœuvrabilité déjà réalisées pour le port de Port-la Nouvelle :

- Lors de la caractérisation du port actuel (réf. [11]) ;
- Lors de l'étude de nouvelles configurations compatibles avec un aménagement de l'avant-port actuel (réf. [12]).

1.1 Caractérisation de l'état actuel

Dans le cadre des **études de la passe d'entrée et de l'avant-port de Port-la Nouvelle**, différentes modélisations numériques de caractérisation de la configuration actuelle ont été réalisées afin de disposer d'un état de référence. En particulier une étude de navigabilité a été réalisée.

1.1.1 Objectif de l'étude de l'étude de navigabilité

Afin d'évaluer les manœuvres d'entrée et de sortie d'un navire type pour la configuration actuelle du port, le logiciel de simulation NAVMER, développé par le CETMEF, a été utilisé.

L'objectif a été d'identifier les points faibles de la configuration actuelle afin d'orienter les aménagements futurs.

Cette étape de l'étude a été menée grâce à **différents intervenants** :

- Les Techniciens du CETMEF pour leur maîtrise du logiciel, des paramètres permettant d'affiner les simulations ainsi que pour leur expérience sur d'autres projets portuaires ;
- Les Pilotes du port de Port-la Nouvelle ayant la pratique des conditions nautiques locales, des problématiques du site et des navires ; ils sont indispensables au bon calage des modèles ;
- Un pilote-expert (M. JP Salducci) permettant d'apporter un regard extérieur sur le projet, et dont l'expérience sur de nombreux autres sites est un atout essentiel.

L'étude de la navigabilité pour la configuration actuelle du port s'est effectuée en **plusieurs étapes** :

- Récupération, vérification, mise en forme et intégration des données du port (topographie, bathymétrie, géométrie des ouvrages, limites des berges, bouées...) et des données environnementales (courants, vent) dans le modèle, notamment les champs de courant déduits de valeurs issues de l'étude bibliographique ;
- Définition des caractéristiques physiques, propulsives et manœuvrières du (des) bateau(x) à modéliser. Adaptation et/ou construction des modèles de bateaux correspondants puis intégration dans le logiciel ;
- Calage du modèle et de ses différents paramètres. Cette étape a été réalisée à l'aide de simulations dirigées par les Pilotes du port de Port-la Nouvelle. Cette phase a eu un double objectif : familiariser les pilotes avec l'utilisation du logiciel et valider les modélisations de cas déjà rencontrés dans le cadre de l'exploitation du port actuel ;
- Une seconde phase de simulations, ciblée sur les objectifs de l'étude, a ensuite été réalisée avec les Pilotes selon les scénarios définis en concertation avec le Maître d'Ouvrage. Les simulations ont été effectuées avec les Pilotes afin d'affiner les paramètres en fonction de leurs retours d'expériences ;
- L'analyse approfondie des résultats des simulations et la rédaction d'un rapport avec le concours du pilote expert.

1.1.2 Le modèle de navigabilité

Pour la réalisation de cette étude de navigabilité, OCEANIDE s'est appuyé sur le travail réalisé par le CETMEF et son logiciel de simulation NAVMER, couramment utilisé pour la modélisation des trajectoires de navire.

Le simulateur calcule les efforts s'appliquant sur le navire modélisé à partir de ses caractéristiques, des ordres du pilote, du site (bathymétrie, berges), du vent et du courant. Les ordres (barre, machine), transmis via une Interface Homme-Machine, permettent au navire simulé de se déplacer. Les formulations utilisées synthétisent des études réalisées en bassin de carène et des adaptations au réel.

La simulation va de pair avec la théorie qui s'appuie sur des équations simplifiées et avec l'expérience. Mais avant d'être prédictive, elle doit être calée sur des phénomènes vérifiés dans la pratique. Dans le cas présent, elle doit reproduire des expériences d'essais de giration, de zigzag et d'arrêt, normalisés par l'Organisation Maritime Internationale.

Pour décrire le déplacement du navire type, l'utilisation d'équations dynamiques représentant les efforts est préférable à celle de relations purement cinématiques, en particulier pour prendre en compte les effets du vent, du courant, de la profondeur et des berges.

La modélisation s'appuie donc sur des équations différentielles qui relient les efforts subis par le navire aux accélérations.

Les paramètres régissant le comportement hydrodynamique final du navire sont ensuite ajustés lors des premières simulations dirigées par les pilotes.

1.1.3 Cas étudiés

Les calages du modèle avec le **navire projet** (type Thaïs : longueur 140 m, largeur 23 m, tirant d'eau 8m et masse 19 200 t) ont été réalisés en présence des pilotes de Port la Nouvelle.



Photo 1 : Le Thaïs

Les **principaux paramètres modélisés** ont été :

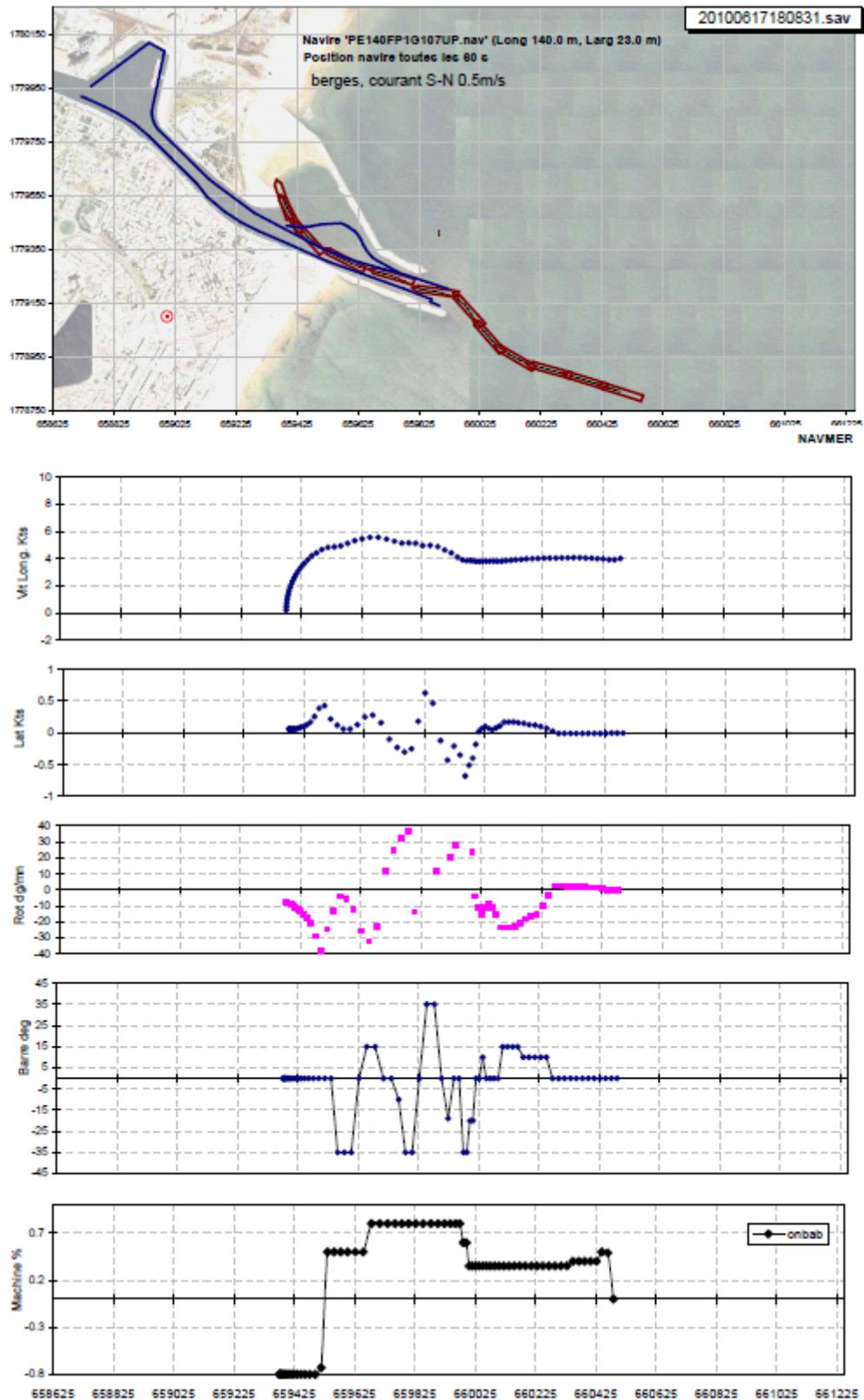
- Navire chargé entrant et sortant ;
- Courant traversier Nord-Sud et Sud-Nord ;
- Effets de berge ;
- Limites du chenal ;
- Effets du vent.

1.1.4 Quelques résultats importants

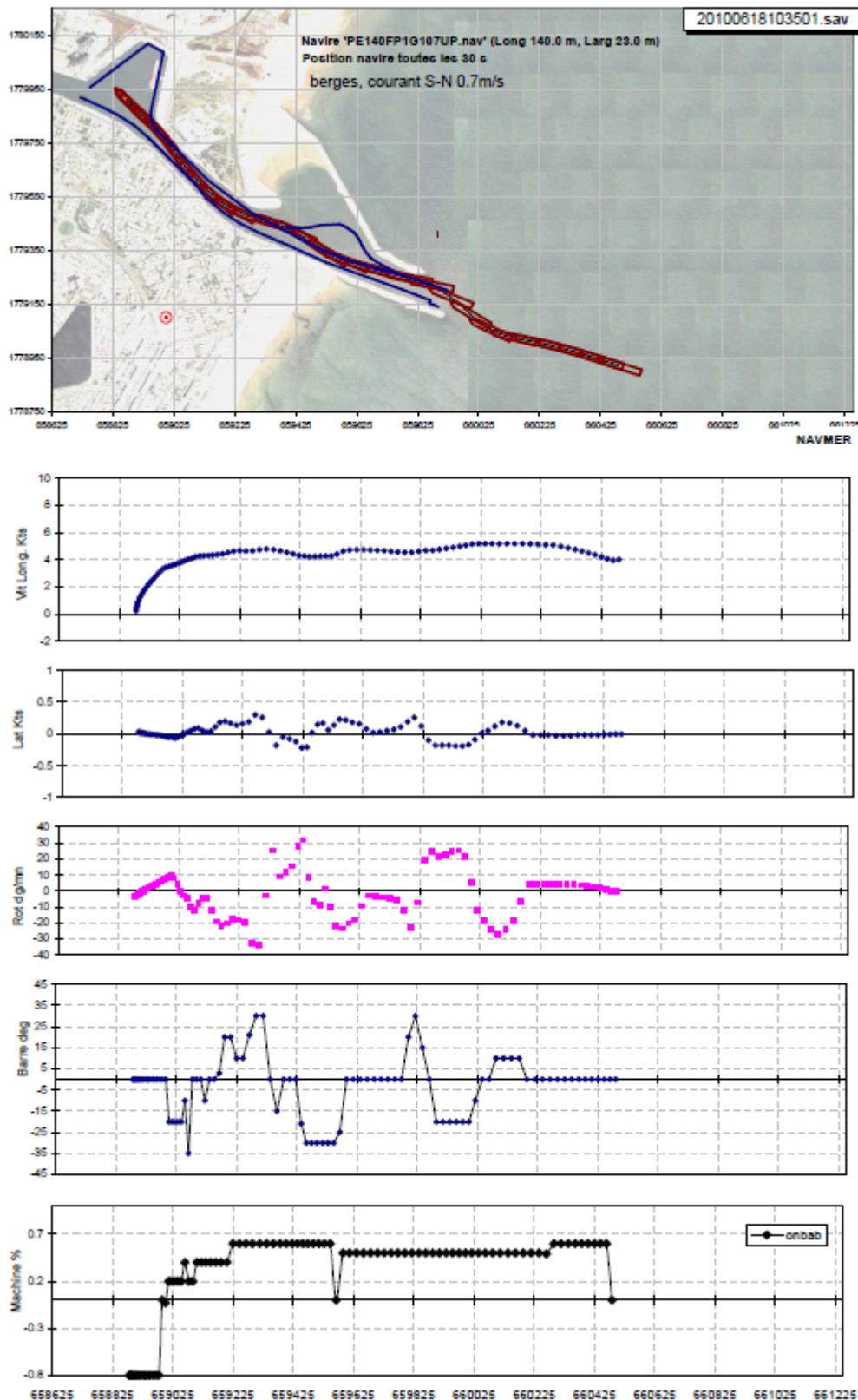
Les résultats graphiques présentent pour chacun des cas réalisés :

- La position du navire, toutes les 60 s, en vue de dessus sur l'ensemble de la zone modélisée ;
- La vitesse longitudinale du navire en nœuds ;
- La vitesse latérale du navire en nœuds ;
- La giration du navire en degrés par minute ;
- La position de la barre en degrés ;
- La consigne machine en pourcentage de la consigne maximum.

Cas 5 : Courant Sud→Nord (0,5 m/s) – effets de berges – test d'arrêt dans l'avant-port



Cas 8 : Courant Sud→Nord (0,7 m/s) – effets de berges – entrée dans la darse pétrolière



1.1.5 Principaux résultats

- Le comportement du navire modélisé dans la configuration actuelle (prise en compte du courant traversier, effets de berge, comportement hydrodynamique) a été approuvé par les Pilotes ;
- Les changements de commande au niveau de la barre permettent de rectifier en grande partie les trajectoires du navire : les bons paramétrages du gouvernail sont fondamentaux ;
- La présence du courant traversier nécessite une trajectoire d'approche particulière (plus au Nord ou plus au Sud suivant la direction du courant) et une vitesse du navire importante pour limiter la dérive ;
- Les effets de berge sont préjudiciables : les trajectoires dans le chenal intérieur sont souvent en "zigzag" et le navire se retrouve difficile à stabiliser ;
- La passe et les ouvrages actuels ne permettent pas l'arrêt de navires dans l'avant-port ;
- La passe d'entrée actuelle n'est pas assez large.

1.2 Détermination des premiers plans masse

A partir des recommandations en vigueur (exemple : PIANC), différents scénarios d'aménagements de l'avant-port et de la passe d'entrée actuelle du port ont alors pu être projetés. Comme pour l'étude de la configuration actuelle, les pilotes du site associés à un pilote expert externe ont validés les hypothèses et conclusions de ces **études de faisabilité sur plan**.

1.2.1 Objectif

L'objectif des études était de permettre l'entrée sécurisée dans l'avant-port actuel d'un navire de type vraquier, ayant les caractéristiques suivantes :

- Longueur $L = 160$ m ;
- Largeur $B = 27$ m ;
- Tirant d'eau $TE = 9,5$ m.

De plus il a été demandé que cet avant-port puisse être aménagé avec des quais et donc qu'il présente une faible agitation.

1.2.2 Principaux résultats

- L'exploitation de l'avant-port actuel nécessite des modifications importantes des digues existantes : l'espacement des deux digues doit être au moins de 150 m (au plafond) alors qu'il n'est pas de 60 m à l'heure actuelle ; la digue Nord doit donc être décalée vers le Nord ;
- La présence d'un cercle d'évitage de 290 m de diamètre dans l'avant-port et d'une distance d'arrêt sécurisée nécessite un allongement significatif des ouvrages en mer : au moins 400m pour la jetée Sud et plus de 1000m pour la jetée Nord ;
- La protection du nouveau plan d'eau contre l'agitation, tout en permettant une navigation sécurisée, implique également un prolongement plus important des ouvrages ou l'ajout d'un brise lame en grandes profondeurs.

2 Hypothèses

Les paragraphes ci-après précisent les principales hypothèses retenues lors des études préliminaires de définition du plan masse du port (projet d'un nouveau plan d'eau) : il s'agit là des dernières études réalisées à ce jour (2011-2012).

2.1 Navigabilité : port actuel

2.1.1 Navire projet de 145 m

Le navire projet devant être accueilli dans l'actuel port de Port-la Nouvelle (**étape 1**) présente un gabarit similaire au "Thaïs". Les caractéristiques, retenues pour les études, 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.

D'autre part, les fonds au droit des zones de navigation seront des fonds meubles, réguliers, de type vase et/ou sable.

2.1.2 Chenal d'approche extérieur

Le chenal d'approche extérieur du port actuel de Port-la Nouvelle fait l'objet de recommandations propre à l'entrée du navire projet du futur port, de gabarit plus élevé. Les recommandations pour le port actuel concernent 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 des sections rectilignes et courbes pour le chenal extérieur du futur port, en considérant le navire projet du port actuel et les profondeurs draguées du futur port.

2.1.2.1 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

Tableau 1 : 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**.

2.1.2.2 Section courbe

Les profondeurs projetées au niveau de la passe d'entrée du futur port sont au moins 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**.

2.1.3 Profondeurs

2.1.3.1 Chenal extérieur

La profondeur du chenal extérieur est dictée par le tirant d'eau des navires accueillis par le futur port. Elle sera au moins de **-13,9 m CM**.

2.1.3.2 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. [9]).

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

Remarque : Dans le **cas conservatif** où 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.

2.1.3.3 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 a été arrêtée car considérée comme suffisante. La profondeur à l'approche des quais et dans les darses sera donc de **-8,6 m CM**.

2.1.4 Girations

2.1.4.1 Rayon de giration

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

D'après le document (réf. [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

Tableau 2 : 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**.

2.1.4.2 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 2.1.6 Chenal intérieur).

2.1.4.3 Secteur rectiligne entre les courbes

Le document (réf. [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).

2.1.5 Distance d'arrêt

D'après (réf. [7]), 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 $145 \times 4 = 580 \text{ m}$.

Remarque : Lors des études trajectographiques réalisées, 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 %).

2.1.6 Chenal intérieur

2.1.6.1 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	$\leq 1,15 TE$	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

Tableau 3 : Largeur du chenal abrité pour le navire projet (port actuel)

* **Remarque** : 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 **80m**.

2.1.6.2 Section courbe

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

Cet élargissement est quantifiable, et les abaques du document (réf. [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 : cette distance est à considérer comme un minimum en raison des phénomènes de dérive, auloffée et abattée.

2.1.7 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.

2.2 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.

Remarque : 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. 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.

2.2.1 Navire projet de 200 m

Lors du démarrage des études de faisabilité, le navire projet du futur port a été précisé du type "Handymax". Ses caractéristiques, retenues pour la suite de l'étude, ont été 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.

D'autre part, il est toujours considéré que les fonds au droit des zones de navigation seront des fonds meubles, réguliers, de type vase et/ou sable.

Remarque : Le projet initial prévoyait 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.

2.2.2 Navire projet de 160 m

Lors d'une deuxième étape d'aménagement, 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 ;

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

Remarque : 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 dans le tableau 8 en page 34 (3.3 contraintes liées au projet Grand Port).

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

2.2.3 Chenal d'approche extérieur

2.2.3.1 Section rectiligne

D'après (réf. [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 (réf. [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

Tableau 4 : Largeur du chenal extérieur pour le navire de 200 m

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

2.2.3.2 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 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 $206 + 45 = 252 \text{ m}$.

2.2.4 Profondeurs

2.2.4.1 Chenal extérieur

D'après (réf. [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 (réf. [7]), 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 (ré. [9]) 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**.

2.2.4.2 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 (réf. [9]).

2.2.4.3 Darse 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 du futur port sera donc de **-12,4 m CM**.

2.2.4.4 Chenal intérieur, bassins et postes à quai pour le navire de 160 m (2^{ème} étape)

La deuxième étape d'aménagement du port 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 première étape du projet. 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.

2.2.5 Girations

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

2.2.5.1 Rayon de giration

D'après le document (réf. [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 (réf. [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

Tableau 5 : Rayon de giration d'un navire de 200 m 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.

2.2.5.2 Secteur rectiligne entre les courbes

Le document (réf. [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).

2.2.6 Distance d'arrêt

D'après (réf. [7]), 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**.

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 x L) et sera rallongée d'une distance égale au rayon du cercle d'évitage (1 x L).

2.2.7 Chenal intérieur

2.2.7.1 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	<i>≤ 1,15 TE</i>	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

Tableau 6 : 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**.

2.2.7.2 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 44m 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**.

2.2.8 Cercle d'évitage

Dans la littérature, et notamment dans (réf. [7]), 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 x 200 = **400 m**. Cette valeur est d'autant plus justifiée que les manœuvres d'évitage s'effectueront à proximité de navires à poste chargés de cargaison jugée à risque.

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

2.2.9 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.

2.2.10 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 **passe orientée au Sud-Est** est retenue.

Une orientation des quais (**294° N**), suivant le vent dominant.

3 Le projet Grand Port – Navires 160 et 200 m

Les paragraphes suivants rappellent les principales contraintes qui ont conduit au tracé du port :
projet Grand Port entrée Sud (1^{ère} et 2^{ème} étape, cf. figure 1 et 2).

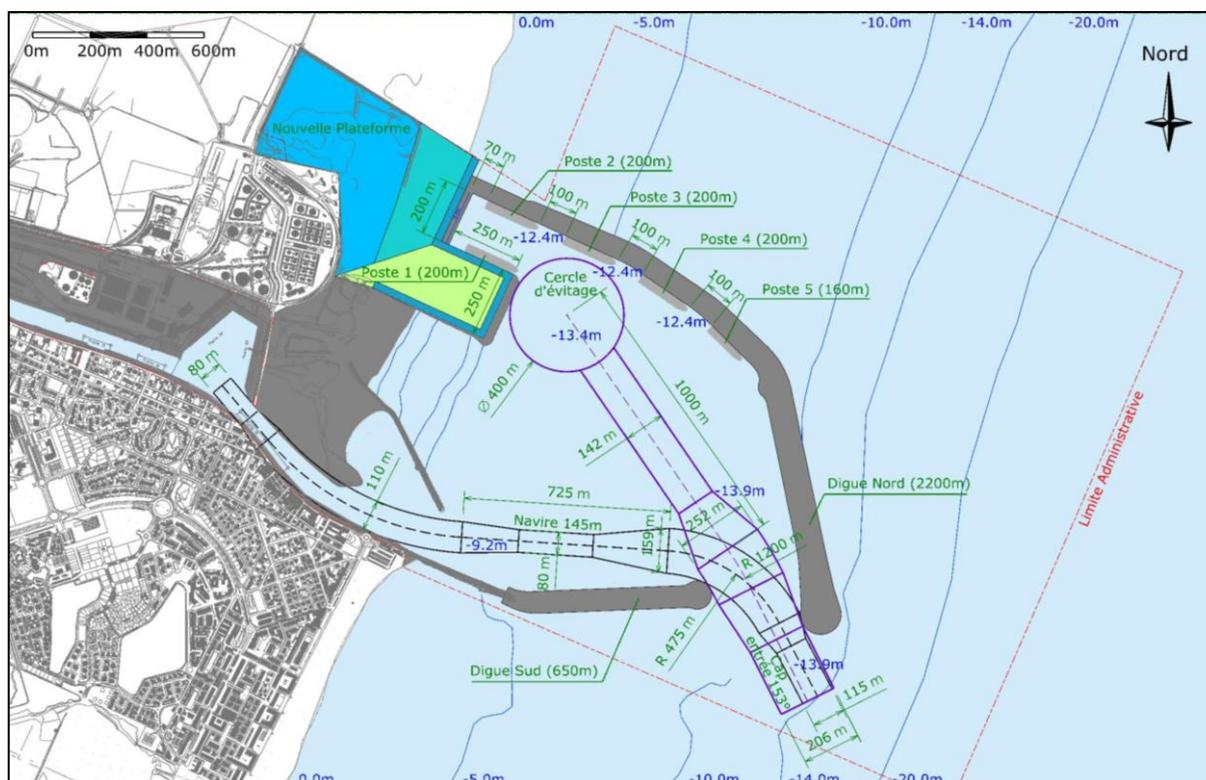


Figure 1 : Grand Port, entrée Sud (1^{ère} étape)

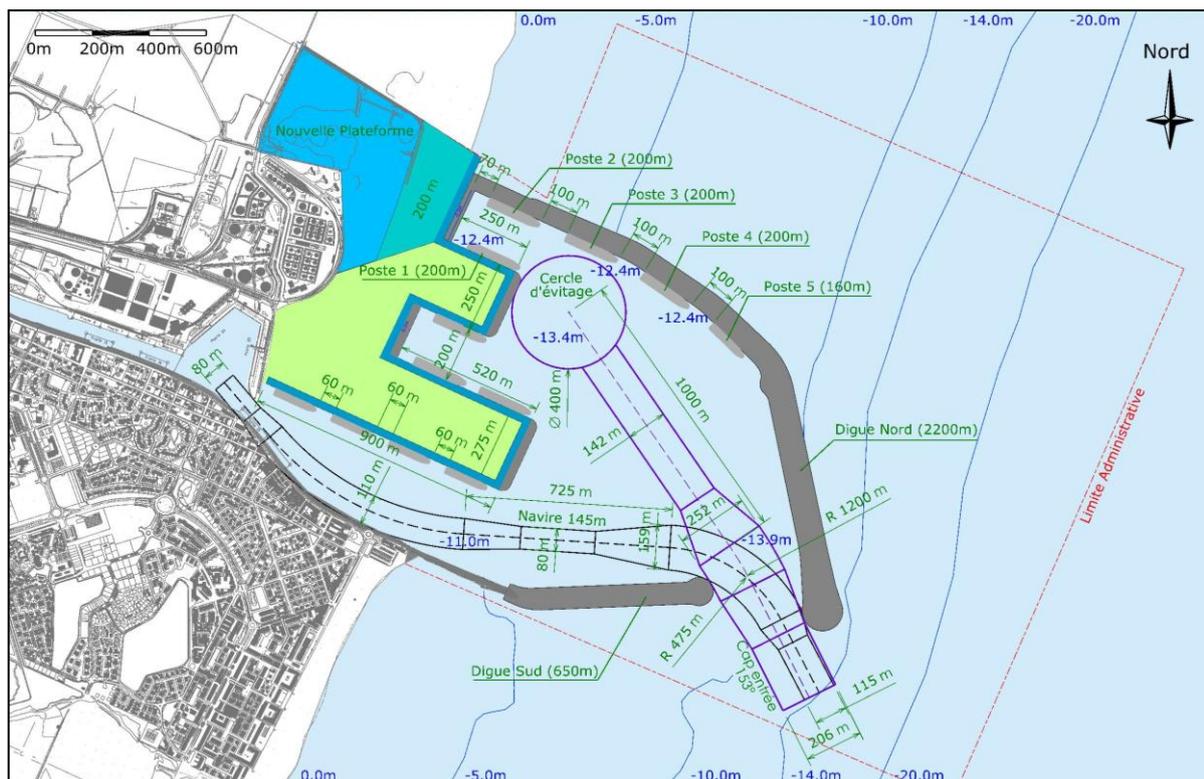


Figure 2 : Grand Port, entrée Sud (2^{ème} étape)

3.1 Contraintes liées à la limite administrative du port

On rappelle que pour ces plans masse les ouvrages projetés ainsi que les zones de dragage ont été prévus à l'intérieur de la limite administrative du port.

Remarque : La note de M. Chapon (réf. [2]) précise les possibilités d'extension en dehors des limites administratives du port. Cette contrainte est donc jugée minime et principalement administrative pour les autres scénarios projetés.

3.2 Contraintes liées au port actuel

Le tableau suivant précise les contraintes de navigation engendrées par l'entrée d'un navire de 145m dans le port actuel.

Remarque : Le coefficient r correspond au ratio de la profondeur sur le tirant d'eau du navire.

Navire projet (type Vraquier)			hypothèse sur le TE : $r \gg 1,5$ chenal ext. $r = 1,15$ chenal int.	
○ Longueur	L = 145 m	Chenal Extérieur	Section rectiligne	115 m
○ Largeur	B = 22 m		Section courbe	159 m
○ Tirant d'Eau	TE = 8 m		Profondeur	-
○ Déplacement	D = 25 000 t	Chenal Intérieur	Section rectiligne	80 m
○ Maniabilité	Faible		Section courbe	110 m
○ Risque de la Cargaison	Faible		Profondeur	- 9,2 m CM
		Rayon de Giration (int./ext.)		970 m / 475 m
		Distance entre Girations		725 m
		Distance d'Arrêt		580 m

Tableau 7 : Contraintes géométriques pour un navire projet de 145 m (port actuel)

3.3 Contraintes liées au projet Grand Port

Les tableaux suivants précisent les contraintes de navigation engendrées par :

- L'entrée de navires de 160 m (longueur : 160 m, largeur : 27 m et tirant d'eau : 9,5 m) au niveau des quais aménagés dans le chenal du port actuel ;
- L'entrée de navires de 200 m (longueur : 200 m, largeur : 32,2 m et tirant d'eau : 11,6 m) au niveau des postes du nouveau plan d'eau.

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

Tableau 8 : Contraintes géométriques pour un navire projet de 160 m (chenal port actuel)

Navire projet (type Handymax)				hypothèse sur le TE : <u>r = 1,2</u> chenal ext. <u>r = 1,15</u> chenal int.
○ Longueur	L = 200 m	Chenal Extérieur	<i>Section rectiligne</i>	206 m
○ Largeur	B = 32,2 m		<i>Section courbe</i>	252 m
○ Tirant d'Eau	TE = 11,6 m		<i>Profondeur</i>	- 13,9 m CM
○ Déplacement	D = 56 000 t			
○ Maniabilité	Faible	Chenal Intérieur	<i>Section rectiligne</i>	142 m
○ Risque de la Cargaison	Elevé		<i>Section courbe</i>	186 m
			<i>Profondeur</i>	- 13,4 m CM
		Rayon de Giration (ext.)		1200 m
		Distance entre Girations		1000 m
		Distance d'Arrêt		1000 m
		Cercle d'évitage (diamètre)		400 m

Tableau 9 : Contraintes géométriques pour un navire projet de 200 m (futur Grand Port)

3.4 Autres contraintes

3.4.1 Contraintes environnantes

La note d'hypothèses (réf. [3]) précise les contraintes météorologiques prises en compte dans les calculs (vent traversier moyen, courant transversal moyen, courant longitudinal faible, houle : $H_s < 3$ m...). Les spécificités en terme de navigation des navires sont également précisées (vitesse, maniabilité, degré de risque de la cargaison...). Elles sont rappelées dans le paragraphe 2-Hypothèses de la présente note.

Enfin, la surface du fond est considérée comme régulière et meuble (fond sableux de faible pente).

3.4.2 Distances imposées

A ce stade de l'étude, il a été retenu les hypothèses suivantes :

- Une distance de travail de **70 m** et une profondeur d'**au moins 5 m** pour les remorqueurs ;
- Une largeur de 200 m pour les darses. Cette largeur est jugée très satisfaisante ;
- Une **distance entre navires amarrés**, le long de la future jetée Nord, de **100 m**. Cette distance est jugée très sécuritaire ;
- L'accueil de **3 navires de 200 m** et d'**1 navire de 160 m** dans un même alignement, ce qui représente un linéaire d'au moins 1 130 m ;
- Une orientation principale des quais suivant le vent dominant (**294°N**) ;
- Un **cercle d'évitage** de diamètre équivalent à 2 x 200 m (navire peu manœuvrant et faiblement assisté) soit **400 m** ;
- Une **distance d'arrêt** (en zone protégée) de 5 x 200 m (navire peu manœuvrant, faiblement assisté et entrant dans le port avec une vitesse comprise entre 6 et 8 nœuds) soit **1 000 m** avec l'intégration d'une moitié du cercle d'évitage.

3.5 Plans masse retenus

Les plans masse retenus et étudiés par la suite permettent l'entrée sécurisée de navires de 145 m dans le port actuel et de 200 m au niveau des nouveaux postes (darse Nord et le long de la Jetée Nord). L'accostage des navires de 160 m au niveau des nouveaux postes situés dans le chenal d'accès au port historique ne peut se faire sans évitage ou repositionnement préalable dans l'avant-port du nouveau plan d'eau.

On rappelle que les figures 1 et 2 précisent les ouvrages associés à ces contraintes.

4 Le projet Grand Port – Navire de 225 m et de 12,80 m de tirant d'eau

4.1 Navire projet

Les caractéristiques du navire projet sont issues de la note de shipping (réf. [1]). Il s'agit d'un navire ECOSHIP vraquier (concept OSHIMA). Les contraintes associées sont précisées dans le tableau suivant. Elles ont été établies en conservant les **mêmes hypothèses** que précédemment et notamment :

- Une maniabilité faible ;
- Un risque élevé vis-à-vis de la cargaison ;
- Un ratio profondeur d'eau / tirant du navire de 1,2 pour l'extérieur du port et de 1,15 pour l'intérieur (hors poste à quai).

Navire projet (type ECOSHIP vraquier)				hypothèse sur le TE : r = 1,2 chenal ext. r = 1,15 chenal int.
○ Longueur	L = 225 m	Chenal Extérieur	Section rectiligne	230 m
○ Largeur	B = 36 m		Section courbe	282 m
○ Tirant d'Eau	TE = 12,8 m		Profondeur	- 15,4 m CM
○ Chargement	C = 43 à 60 000 tpl	Chenal Intérieur	Section rectiligne	158 m
○ Maniabilité	Faible		Section courbe	210 m
○ Risque de la Cargaison	Elevé		Profondeur	- 14,7 m CM
		Rayon de Giration (ext.)		1350 m
		Distance entre Girations		1125 m
		Distance d'Arrêt		1125 m
		Cercle d'évitage (diamètre)		450 m

Tableau 10 : Contraintes géométriques pour un navire projet de 225 m – Te : 12,8 m

4.2 Principales différences entre Navire 200m et 225m – Te 12,8 m

4.2.1 L'impact de la longueur

L'allongement du navire projet de 12,5 % a pour conséquence principale de devoir légèrement **augmenter les distances de sécurité** nécessaires à la navigation : le cercle d'évitage devrait passer à 450 m de diamètre (2 longueurs de navire). On rappelle qu'il est fait ici l'hypothèse d'un navire peu manœuvrant et bénéficiant d'une faible assistance.

D'autre part, la distance d'arrêt nécessaire doit être légèrement plus importante : 1 125 m au lieu de 1 000 m. Le respect de cette distance nécessiterait l'allongement de la Jetée Nord d'environ 130 m et de 90 m de la Jetée Sud. En effet, afin de ne pas augmenter l'agitation dans le plan d'eau à l'intérieur du port, l'alignement au niveau du musoir doit être conservé. Ceci conduit à l'allongement des digues Nord **et** Sud.

L'accueil régulier de plusieurs navires de 225 m nécessiterait également des **longueurs de quai** adaptées. Ainsi le quai du môle devrait être prolongé de 25 m. Pour les postes situés le long de la digue Nord, si les mêmes distances de sécurité doivent être conservées (100 m entre navires), un allongement de 75 m de l'ouvrage serait nécessaire pour accueillir 3 navires de 225 m au lieu de 3 navires de 200 m.

Il ressort donc que c'est surtout le respect de la nouvelle distance d'arrêt qui impose le linéaire de la jetée Nord et non directement les nouveaux navires à quai.

Le graphique ci-dessous illustre les modifications apportées au schéma initial afin de respecter une distance d'arrêt équivalente à 5 longueurs de navires et un cercle d'évitage de 450 m.

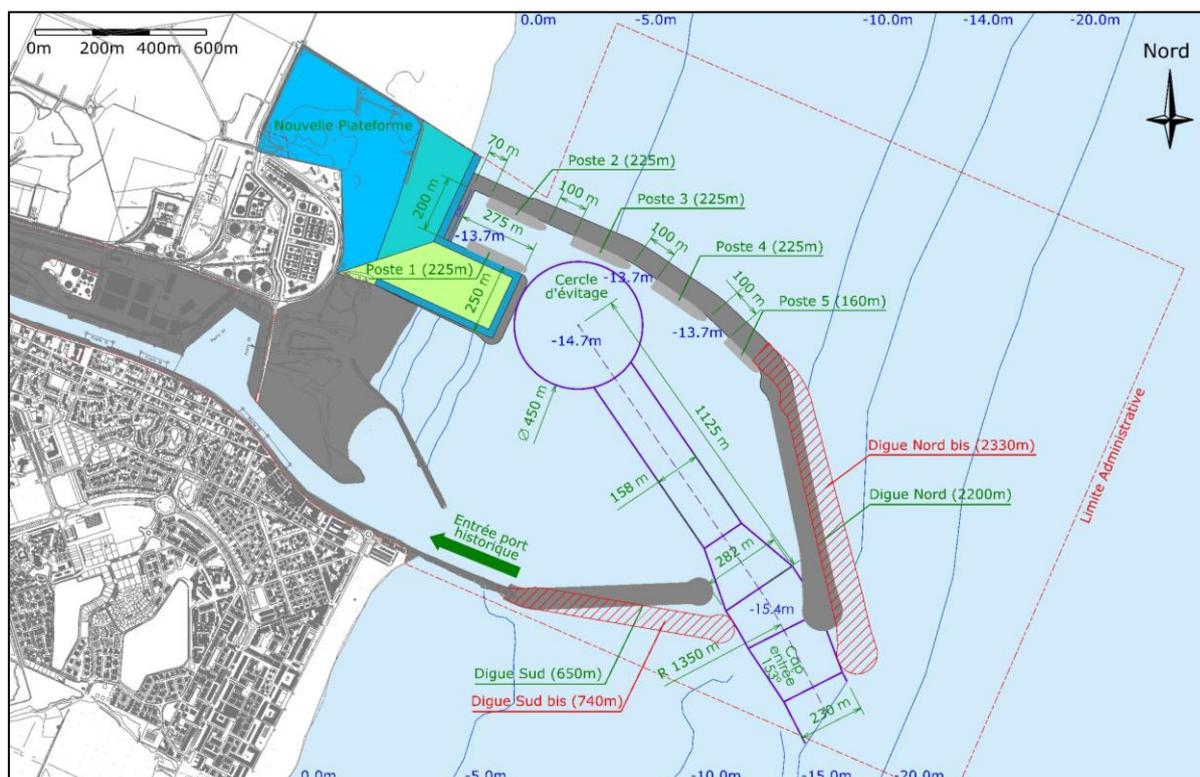


Figure 3 : Schématisation de l'impact strict de la longueur du navire (225 m)

Pour les autres conséquences de la longueur, on remarquera qu'un rayon de giration de 1350 m serait nécessaire pour les manœuvres. A noter que cette contrainte est minime car il était déjà important : de 1200 m.

4.2.2 L'impact de la largeur

L'augmentation de la largeur du navire projet de 12 % a pour conséquence principale d'**augmenter les surfaces pouvant être balayées** par le navire d'une trentaine de mètres de large.

Le chenal intérieur et extérieur peuvent être élargis sans difficultés. Concernant la passe d'entrée, il est préférable de la conserver telle que prévue afin de ne pas augmenter l'agitation dans le nouveau bassin.

Le graphique ci-après illustre les modifications du chenal associées à la sur-largeur du navire : en rouge le chenal théorique d'un navire de 225 m (largeur 36 m) et en violet celui d'un navire de 200 m (largeur 32,2m).

On constate qu'un élargissement d'une quarantaine de mètres de la passe serait nécessaire afin de respecter les contraintes géométriques imposées par l'entrée d'un navire de 225 m de long.

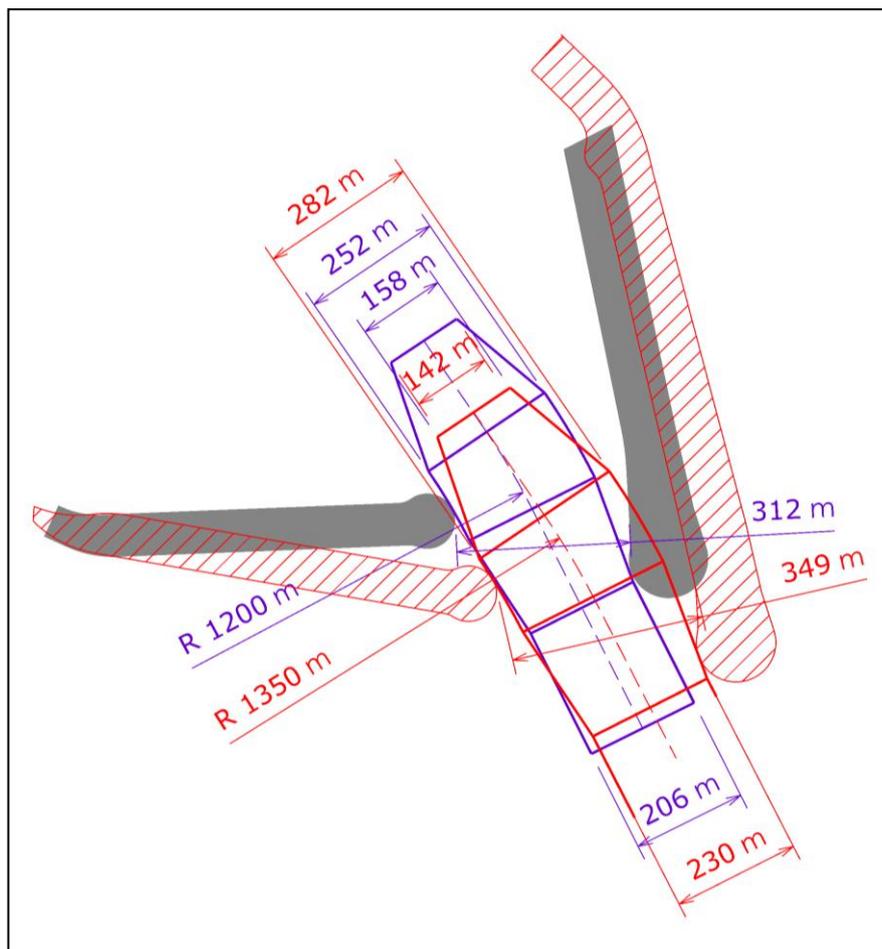


Figure 4 : Schématisation de l'impact strict de la largeur du navire (36 m)

4.2.3 L'impact du tirant d'eau

L'augmentation de 10 % du tirant d'eau a plusieurs conséquences. Tout d'abord au niveau du chenal d'accès à l'extérieur du port, une cote de -15,4 m au lieu de -13,9 m devra être atteinte. Les ouvrages à proximité de la passe d'entrée devront donc être prévus pour cette profondeur.

L'ancien projet avait pour avantage de rejoindre les pentes naturelles du fond et engendrer un dragage limité du chenal extérieur. Ce dernier se faisait par ailleurs dans les limites administratives du port. Ce nouveau tirant d'eau nécessitera un dragage plus conséquent à l'extérieur du port et au-delà de la limite administrative du port.

Pour le chenal à l'intérieur du port, sa distance vis-à-vis des ouvrages de protection permettra de ne pas devoir descendre le pied des ouvrages sur une bonne partie du linéaire de la digue Nord (environ 1000 m).

En revanche le chenal intérieur devra être dragué à -14,7 m au lieu de -13,4 m. Pour les quais et les zones à proximité, une cote de -13,7 m au lieu de -12,4 m sera nécessaire.

Deux choix peuvent être faits :

- Choix 1 : il est considéré que les bateaux de fort tirant d'eau seront accueillis lors d'une deuxième étape du projet dans de nouvelles darses draguées et aménagées en conséquence ;
- Choix 2 : l'ensemble des ouvrages (quai de la nouvelle darse et postes 2 à 4) sont fondés pour autoriser un dragage ultérieur plus important.

4.3 Recommandations spécifiques par rapport au navire

L'impact sur la longueur doit être pris en compte à ce stade du projet. Il est ainsi recommandé de prévoir les ouvrages ci-après décrits.

Les conséquences sont principalement :

- L'augmentation de 25 m du quai adossé au môle ;
- Le prolongement d'une cinquantaine de mètres de la Jetée Nord ;
- Le prolongement d'une trentaine de mètres de la Jetée Sud ;
- D'avoir un espacement de 75 m au lieu de 100 m entre les navires amarrés le long de la jetée Nord ;
- La conservation d'une distance d'arrêt de 1000 m ;
- Un cercle d'évitement confortable de 450 m.

Nous ne recommandons pas d'élargir la passe d'entrée car cela aurait pour conséquence d'augmenter l'agitation dans le plan d'eau.

Si seul ce nouveau navire projet doit être considéré, nous recommandons de prévoir le quai (poste 1) à -13,7 m et d'adapter la nouvelle darse en fonction des plus grands tirants d'eau.

Remarque : *Tout d'abord, le surcoût lié au dragage plus important n'est pas à prendre en compte dans le projet de départ. En effet, ces opérations seront effectuées lors de l'accueil des navires projet*

de plus grands tirants d'eau. En revanche, pour les ouvrages de la passe d'entrée, ils doivent déjà être fondés suffisamment profond afin de ne pas être déchaussés lors d'un dragage plus conséquent du chenal d'accès : un surcoût inférieur à 1% (du montant total des ouvrages maritimes) est à prévoir.

D'autre part, la création d'un quai prolongé de 25 m et plus profond engendrera un surcoût d'environ 25% (du coût du quai). L'allongement en grande profondeur des ouvrages (30 m pour la Jetée Sud et 50 m pour la jetée Nord) devrait engendrer un surcoût de l'ordre de 5 % du coût total des ouvrages de protection maritime.

5 Le projet Grand Port – Navires de 225 m et de 14,50 m de tirant d'eau

5.1 Navire projet

Les caractéristiques du navire projet sont issues de la note de shipping (réf. [1]). Il s'agit d'un navire OPGC "breakbulk". Les contraintes associées sont précisées dans le tableau suivant. On rappelle qu'elles ont été établies en conservant les **mêmes hypothèses que pour les deux navires projets précédents**.

Navire projet (type OPGC)				
○ Longueur	L = 225 m		hypothèse sur le TE : r = 1,2 chenal ext. r = 1,15 chenal int.	
○ Largeur	B = 32,3 m	Chenal Extérieur		<i>Section rectiligne</i>
○ Tirant d'Eau	TE = 14,5 m		<i>Section courbe</i>	253 m
○ Chargement	C = 43 à 60 000 tpl		<i>Profondeur</i>	- 17,4 m CM
○ Maniabilité	Faible	Chenal Intérieur	<i>Section rectiligne</i>	142 m
○ Risque de la Cargaison	Elevé		<i>Section courbe</i>	187 m
			<i>Profondeur</i>	- 16,7 m CM
		Rayon de Giration (ext.)		1350 m
		Distance entre Girations		1125 m
		Distance d'Arrêt		1125 m
		Cercle d'évitage (diamètre)		450 m

Tableau 11 : Contraintes géométriques pour un navire projet de 225 m – Te : 14,5 m

5.2 Principales différences entre Navire 200m et 225m – Te 14,5 m

5.2.1 Impact de la longueur

L'impact de l'allongement de 12,5 % des navires est identique à celui décrit ci-avant pour le navire de 12,8 m de tirant d'eau, à savoir principalement :

- Un agrandissement du cercle d'évitage ;
- Un allongement de la distance d'arrêt ;
- Un allongement des quais ;
- Un allongement des Jetées Nord et Sud.

La figure 3 en page 15 illustre les modifications théoriques au niveau des ouvrages.

5.2.2 Impact de la largeur

La largeur de ce navire projet (32,3 m) est très proche de la largeur initialement prise en compte (32,2 m). Ainsi, ce navire projet n'a aucune conséquence sur les largeurs de chenal déjà envisagées.

5.2.3 Impact du tirant d'eau

Ce navire projet diffère des précédents par l'augmentation significative de son tirant d'eau (25 %). Il s'agit là d'une des plus importante conséquence du changement de navire projet.

Tout d'abord, le chenal d'accès extérieur devra être dragué à au moins -17,4 m au lieu de -13,9 m (cf. figure 5). Comme pour le navire de 12,8 m de tirant d'eau, un dragage à l'extérieur des limites du port est à prévoir. De plus, les profondeurs souhaitées étant plus éloignées des profondeurs naturelles, un entretien plus régulier du chenal devra être nécessaire. Les techniques de dragage resteront les mêmes.

Remarque : L'augmentation de la profondeur et de la largeur du chenal extérieur (associée aux pentes de stabilité des talus de dragage) sera défavorable vis-à-vis de l'agitation dans le port. En effet la dissipation d'énergie par frottement sur le fond et réfraction devrait être moindre dans ce cas de figure.

Au niveau des ouvrages de la passe d'entrée et à proximité, des profondeurs proche de -17 m doivent être atteintes. Cette gamme de profondeur n'est plus directement compatible avec une digue classique de type digue à talus : des ouvrages verticaux serait techniquement et économiquement à envisager.

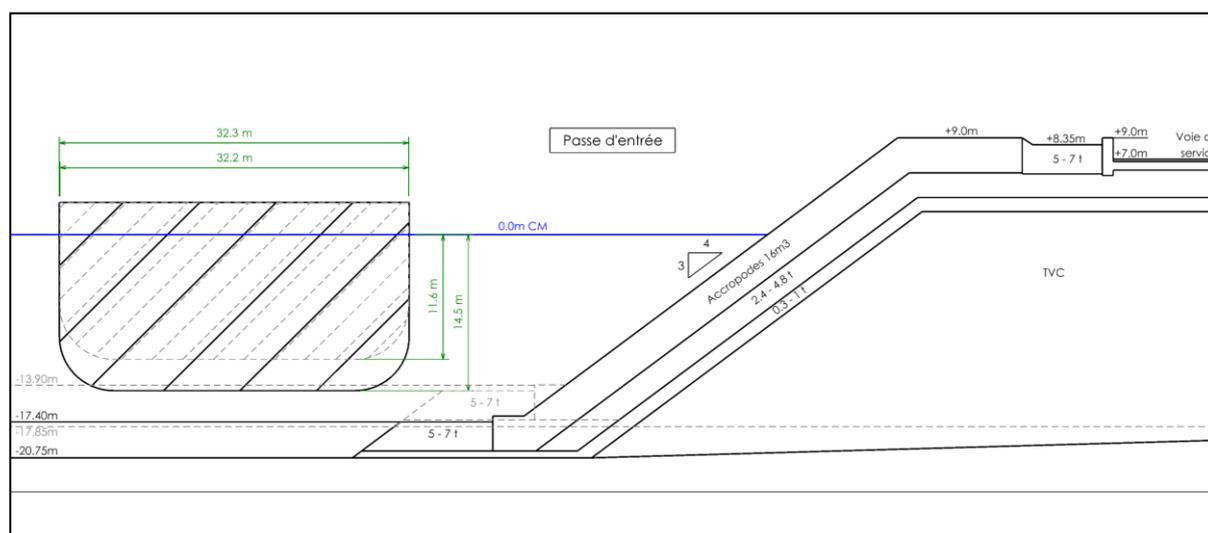


Figure 5 : Impact du tirant d'eau pour les ouvrages à l'entrée du port

Le schéma suivant illustre l'avantage d'une digue verticale par rapport à une digue à talus pour une profondeur de -17 m.

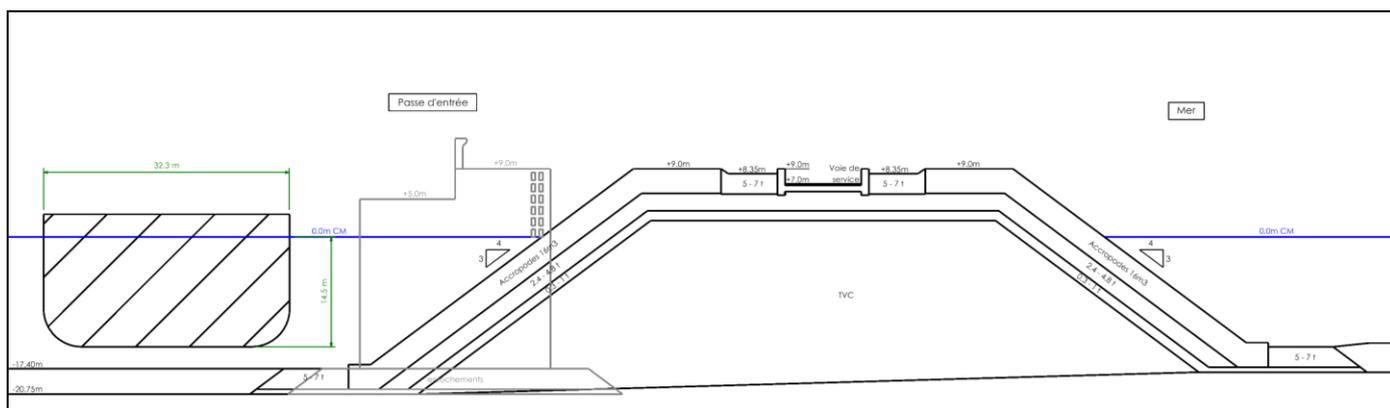


Figure 6 : Illustration d'un caisson type / digue à talus

Pour le chenal à l'intérieur du port, sa distance vis-à-vis des ouvrages de protection permettra de ne pas devoir descendre le pied des ouvrages sur une bonne partie du linéaire de la digue Nord (environ 1000 m). Le chenal intérieur devra être dragué à -16,7 m au lieu de -13,4 m.

On remarquera que les ouvrages à proximité du cercle d'évitage devront être fondés en conséquence.

Pour les quais et les zones à proximité, une cote de -15,5 m au lieu de -12,4 m sera nécessaire. Comme pour le navire projet précédent, deux choix peuvent être faits :

- Choix 1 : il est considéré que les bateaux de fort tirant d'eau seront accueillis lors d'une deuxième étape du projet dans de nouvelles darses draguées en conséquence ;
- Choix 2 : l'ensemble des ouvrages (quai de la nouvelle darse et postes 2 à 4) sont fondés pour autoriser un dragage ultérieur plus important. Etant donné les grandes profondeurs à atteindre, comme le schématise la figure précédente, une digue à talus ne serait pas forcément adaptée. Des quais seraient peut-être à prévoir afin de limiter les volumes de matériaux nécessaires à la construction. Toutefois, on remarquera que si la réalisation de quais verticaux peut être un avantage constructif, leur exploitation ne serait pas optimisée. En effet, les espaces disponibles bord à quai seraient limités (espace confiné le long de la digue Nord) et par conséquent les zones de stockage direct inexistantes. Ces quais seraient donc spécifiques (exemple : vrac liquide) et non adaptés à du vrac solide.

5.3 Recommandations spécifiques par rapport au navire

Afin d'accueillir des navires de 14,5 m de tirant d'eau nous recommandons de :

- Prévoir des ouvrages en entrée du port compatibles avec un fort dragage. On remarquera d'ailleurs que ces fondations profondes pourront être une solution afin de se protéger des problèmes engendrés par les fosses d'érosion ;
- De fonder le quai (poste 1) à -15,5 m ;
- De maintenir les cotes prévues pour les autres postes (-12,4 m).

Remarque 1 : La nouvelle darse (étape 2) permettra de proposer des profondeurs plus importantes si plusieurs navires de fort tirant d'eau doivent être accueillis simultanément.

Remarque 2 : Tout d'abord, le surcoût lié au dragage plus important n'est pas à prendre en compte dans le projet de départ. En effet, ces opérations seront effectuées lors de l'accueil des navires projet de plus grands tirants d'eau. En revanche, pour les ouvrages de la passe d'entrée, ils doivent déjà être fondés suffisamment profond afin de ne pas être déchaussés lors d'un dragage plus conséquent du chenal d'accès : un surcoût de l'ordre du pourcent (de l'ensemble du coût des ouvrages maritimes) est à prévoir.

Ce surcoût pourrait même devenir nul en cas de solution de type caisson verticale.

Pour le quai prolongé à 225 m et pouvant être dragué à -15,5 m, un surcoût de 50 % (sur le coût du quai) est à prévoir.

6 Les projets de Grand Port et leur adaptabilité

6.1 Rappel : les projets Grands Ports

6.1.1 Grand Port, entrée Sud

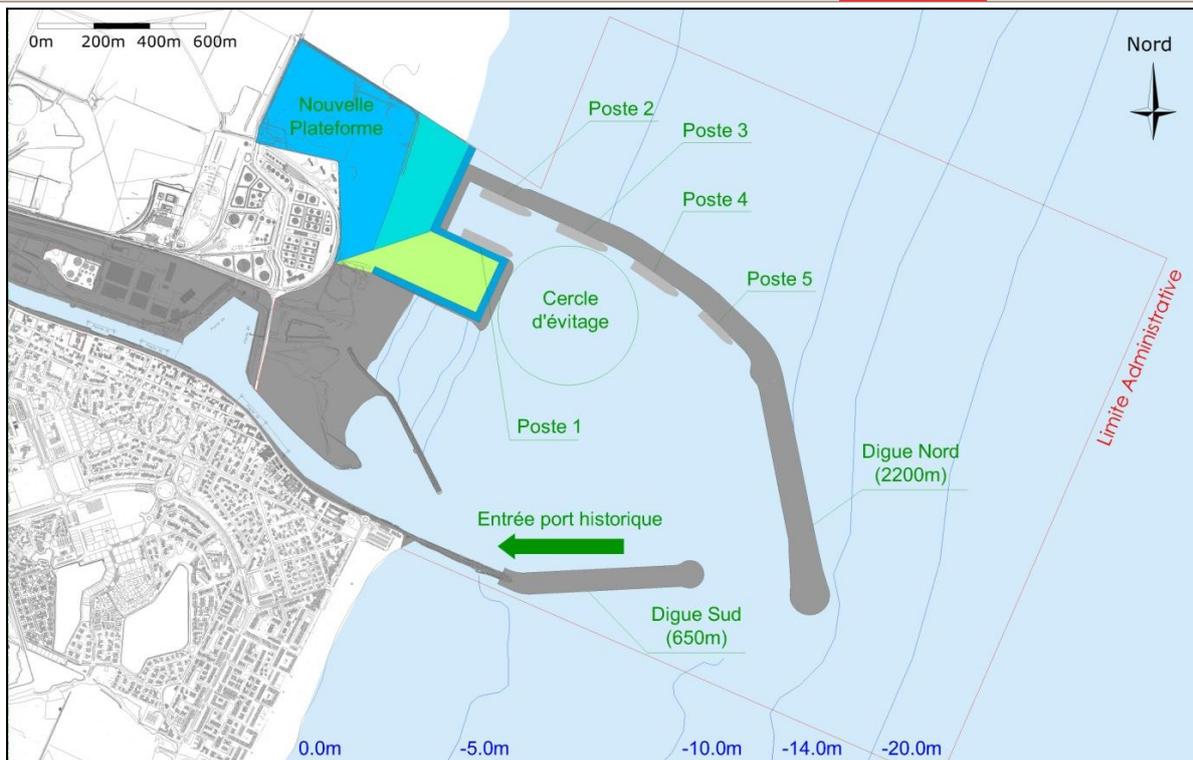


Figure 7 : Grand Port, entrée Sud

6.1.2 Grand Port, entrée Nord

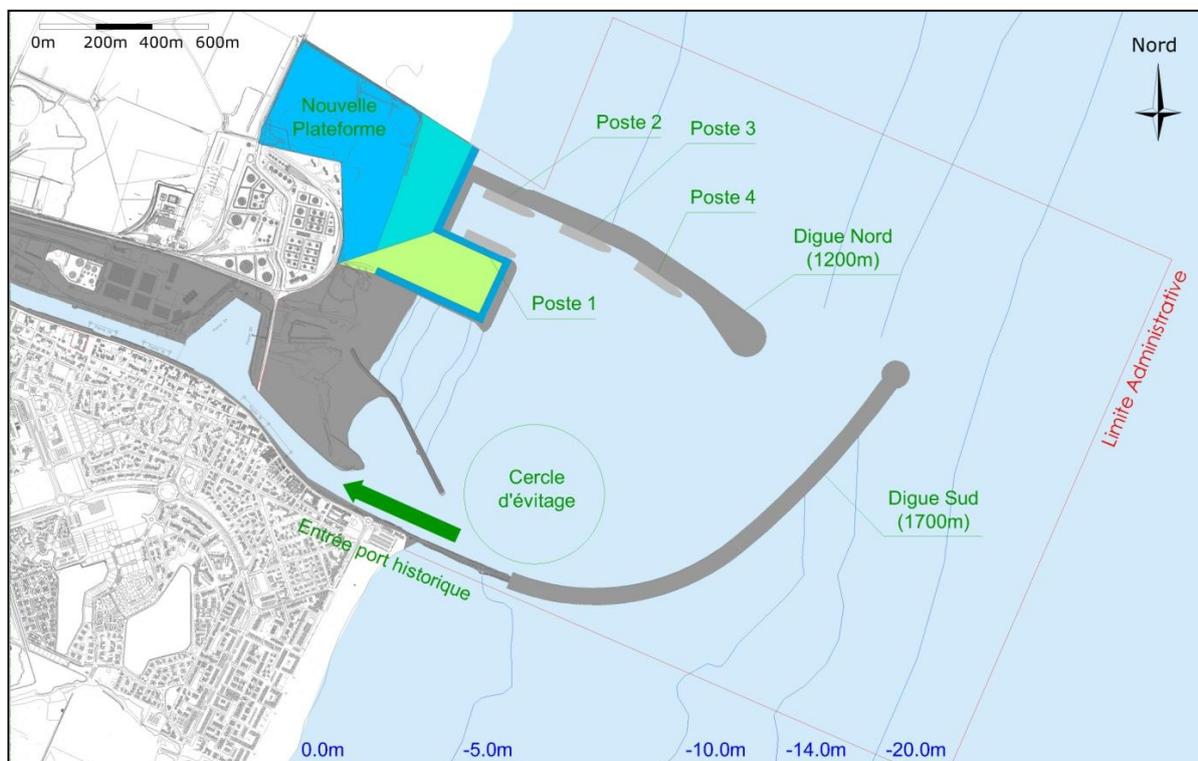


Figure 8 : Grand Port, entrée Nord

6.1.3 Grand Port, double entrée

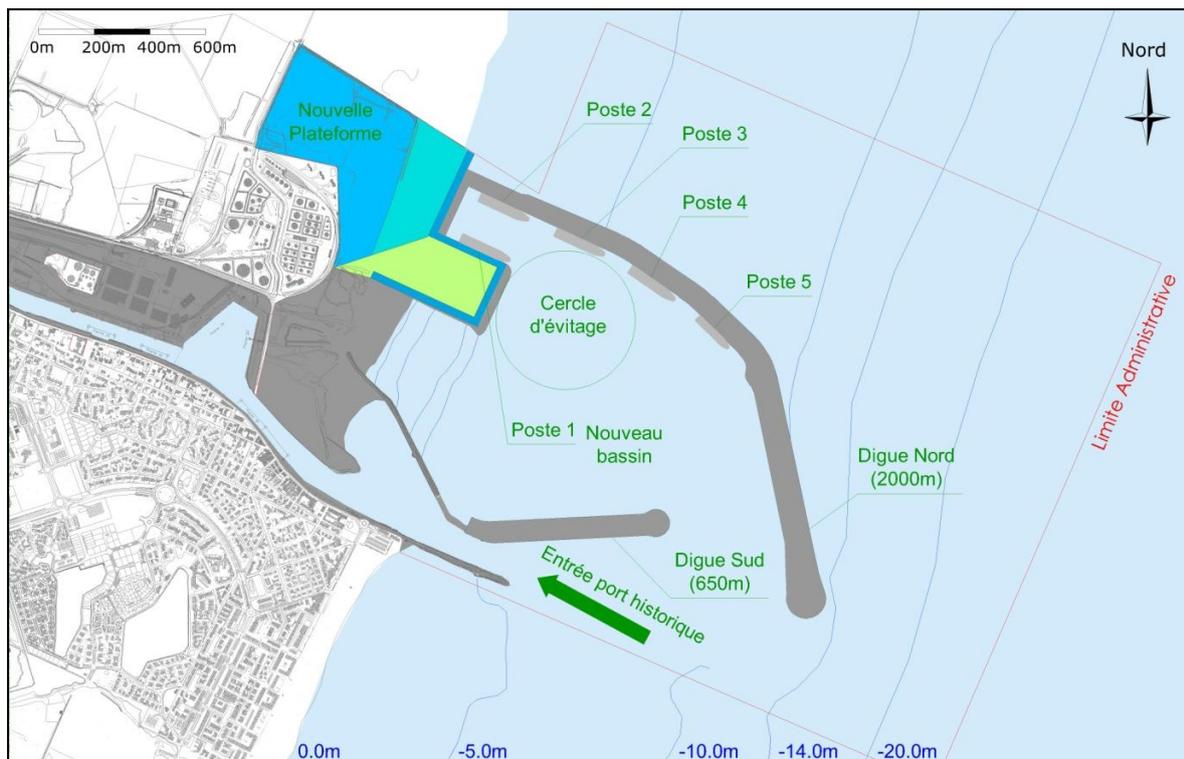


Figure 9 : Port à double entrée

6.1.4 Très Grand Port, entrée Sud



Figure 10 : Très Grand Port

6.2 Adaptabilité des projets

Le **projet Grand Port entrée Sud** (cf. figure 7) est celui qui est étudié en détails ci-avant. On constate que des modifications constructives mineures sont à apporter au projet tel que défini afin de permettre par la suite l'accueil de plus grands navires ainsi que des navires de plus grands tirants d'eau. Il s'agit principalement d'un quai plus profond et plus long ainsi que des ouvrages fondés plus profondément au niveau de la passe d'entrée et à sa proximité. Il est également recommandé de passer de -12,4 à -13,7 m les profondeurs en pied d'ouvrage au niveau des postes situés le long de la jetée Nord.

Un léger allongement des ouvrages de protection Nord et Sud permettrait un accueil très sécurisé des navires de 225m. Etant donné les faibles écarts entre la configuration initiale et la nouvelle proposée, une étude spécifique de navigabilité (logiciel de navigabilité, modèle de passerelle) est recommandée. Elle permettrait de justifier les linaires requis vis-à-vis des spécificités des navires projet et du site.

On notera que l'accueil simultané de navires de plus grands tirants d'eau nécessitera un dragage conséquent depuis le chenal extérieur jusqu'aux postes. Ces derniers devront faire l'objet de la création d'une nouvelle darse. Ces dernières opérations seront de loin plus onéreuses que celles nécessaires à l'adaptabilité des ouvrages.

La figure 14 présentée en synthèse précise le scénario recommandé dans le cadre d'un projet Grand Port entrée Sud.

Le **projet Grand Port entrée Nord** (cf. figure 8) est une alternative au projet d'entrée Sud. Outre le fait de ne pas pouvoir proposer autant de postes que les autres configurations, ce scénario d'aménagement offre le désavantage de zones de navigation (chenal d'accès, passe d'entrée, chenal intérieur et cercle d'évitage) exposées aux plus fortes houles. Néanmoins, si ce projet devait accueillir des navires de 225 m et/ou de grands tirants d'eau, les aménagements complémentaires à réaliser seraient limités voir inférieurs au scénario Grand Port Entrée Sud : le quai de la darse serait à prolonger et les ouvrages en entrée du port et à proximité du cercle d'évitage devront être suffisamment fondés. On rappelle que cette configuration permet d'avoir des postes très bien protégés. Néanmoins, les manœuvres d'entrée et de sortie seront plus longues que dans les autres configurations.

La figure suivante illustre l'entrée d'un navire de 225 m dans le port. On remarquera que le nombre de postes de la jetée Nord est limité à 3. Les dragages resteront dans les limites administratives du port.

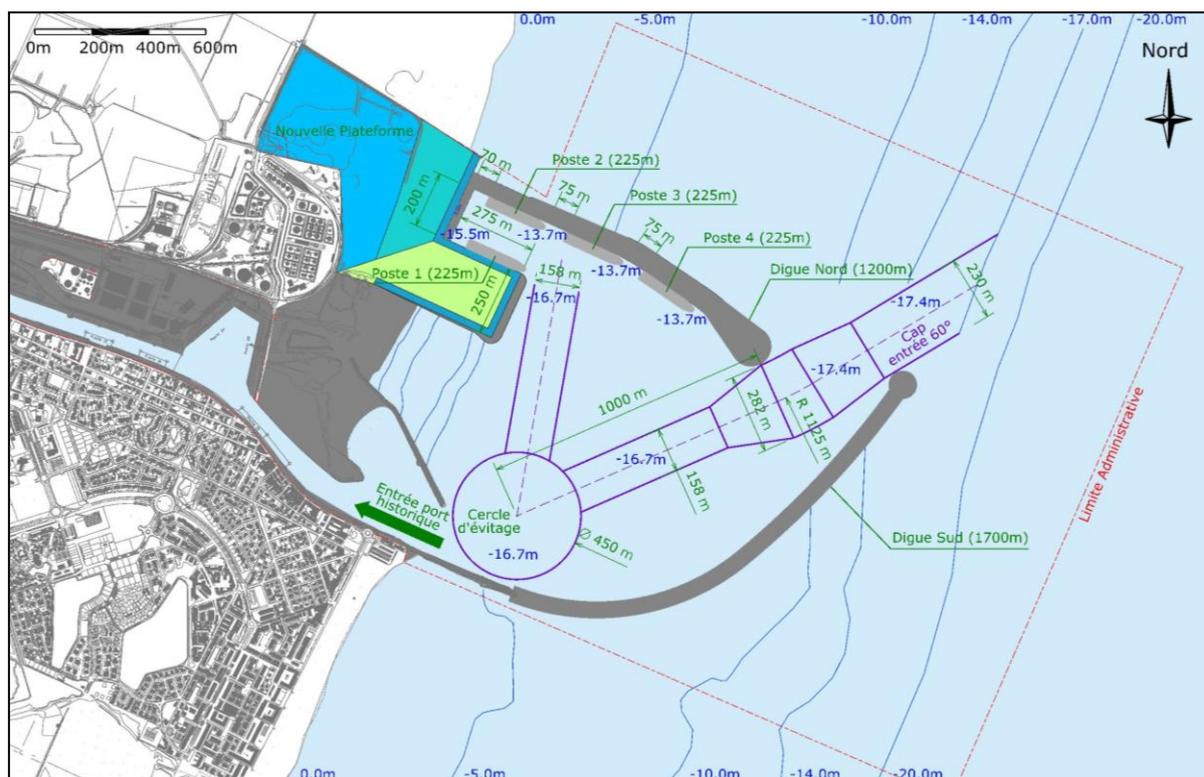


Figure 11 : Grand Port, entrée Nord (navire de 225 m, Te -14,8 m)

Le **projet de port à double entrée** (cf. figure 9) est la configuration qui offre le moins de place dans le plan d'eau et par conséquent les plus faibles possibilités afin d'accueillir de plus grands navires. Comme illustré par la figure 12 ci-après, on constate qu'un allongement d'une centaine de mètres de la jetée Sud serait nécessaire afin d'avoir une distance d'arrêt suffisante. La digue Nord devrait être prolongée d'une cinquantaine de mètres afin de ne pas favoriser l'entrée de la houle dans le nouveau bassin.

On rappelle également que dans ce scénario les possibilités de réaliser une deuxième darse sont assez limitées. D'autre part des ouvrages suffisamment fondés sont toujours nécessaires.

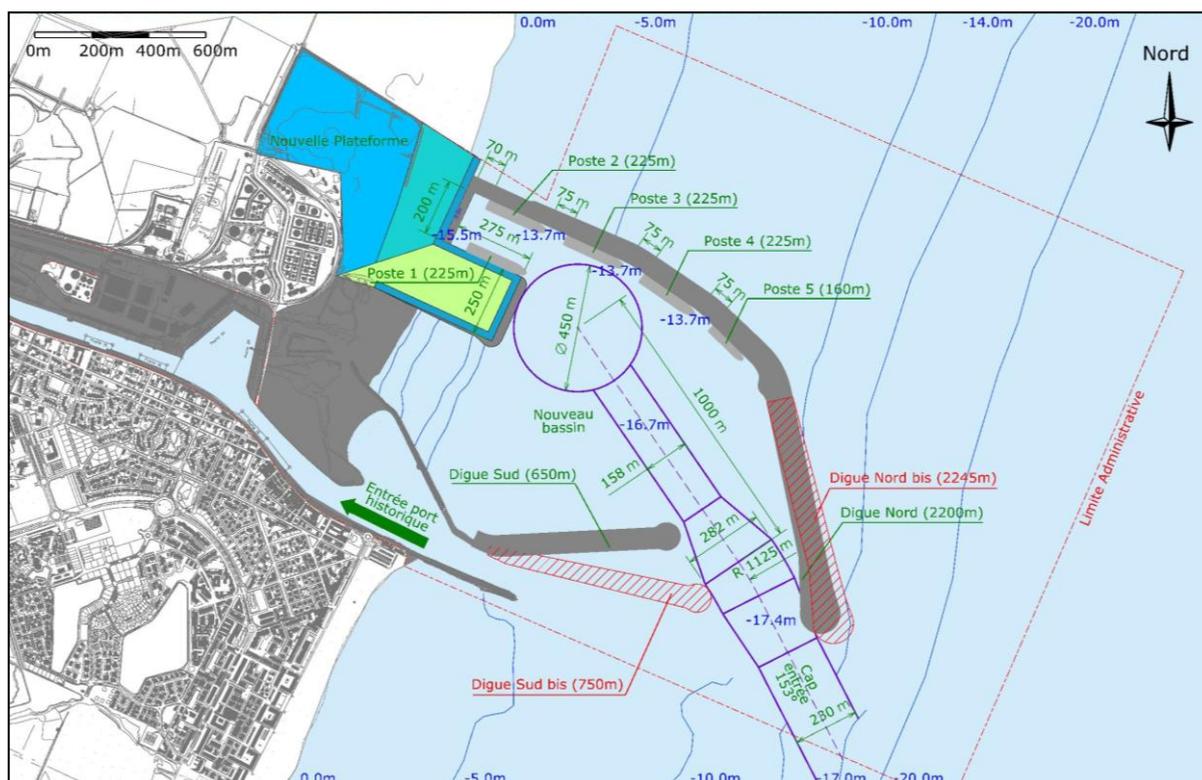


Figure 12 : Grand Port, double entrée (navire de 225 m, Te -14,8 m)

Le **projet Très Grand Port** (cf. figure 10) est de loin le plus compatible avec l'accueil de très grands navires à fort tirant d'eau. La grande taille du plan d'eau permet d'offrir les plus grandes distances de sécurité (entre les navires accostés, distance d'arrêt...). On remarquera également que les ouvrages de l'entrée sont déjà en grande profondeur et donc adaptés à des grands tirants d'eau.

La figure suivante illustre cette forte adaptabilité du projet très grand port.

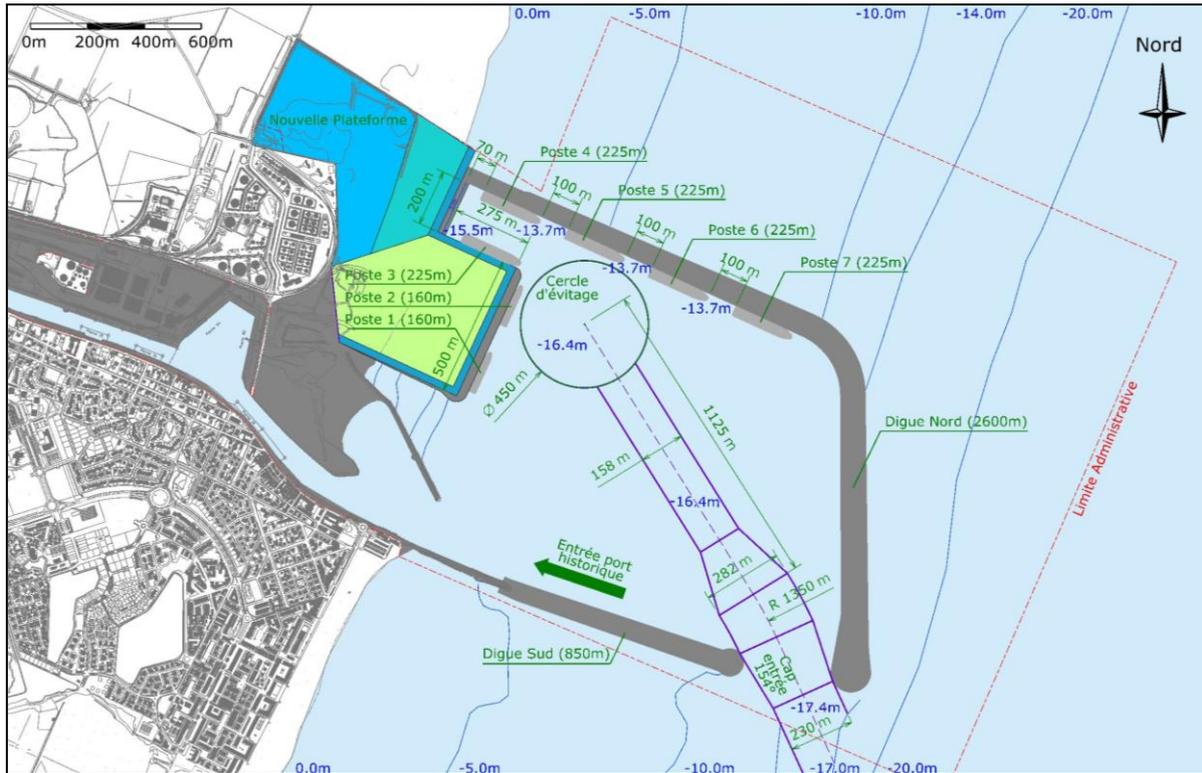


Figure 13 : Très Grand Port (navire de 225 m, Te -14,8 m)

7 Synthèse

Le tableau suivant synthétise les différentes contraintes géométriques associées aux différents navires projet.

Navire	longueur (m)	200	225	225
	largeur (m)	32,2	36	32,3
	tirant d'eau (m)	11,6	12,8	14,5
Chenal ext.	largeur section rectiligne (m)	206	230	207
	largeur section courbe (m)	252	282	253
	profondeur (m)	-13,9	-15,4	-17,4
Chenal int.	largeur section rectiligne (m)	142	158	142
	largeur section courbe (m)	186	210	187
	profondeur (m)	-13,4	-14,7	-16,7
Manœuvres	distance d'arrêt (m)	1000	1125	1125
	rayon de giration ext. (m)	1200	1350	1350
	diamètre cercle d'évitage (m)	400	450	450
Quai	profondeur (m)	-12,4	-13,7	-15,5
	longueur nécessaire 3 navires (m)	920	995	995

Tableau 12 : Contraintes géométriques pour les différents navires projet

Nous recommandons que le projet retenu présente :

- une distance d'arrêt d'au moins 1000 m (intégrant une moitié du cercle d'évitage). Cette distance est jugée suffisante car l'approche sera relativement rectiligne, le chenalage sera quasi nul et le navire ne sera pas travers au vent (possibilité de réduire la vitesse d'approche sans trop dériver) ;
- un cercle d'évitage de 450 m (notamment si la manœuvrabilité des navires est faible, leur chargement est à risque, un bateau est présent à proximité – exemple : poste 3 ou 4 – et leur assistance est réduite) ;
- une passe d'entrée avec des ouvrages suffisamment fondés (profondeur compatible avec un dragage à -17,4 m) ;

- une largeur de passe n'excédant pas 300 m dans sa zone la plus étroite ;
- des profondeurs et des postes le long de la jetée Nord permettant un dragage ultérieur à -13,7 m et l'accueil de navires de 225 m ;
- La réalisation d'un quai de 275 m de long avec une possibilité de dragage à -15,5 m.

Ce projet devra être compatible avec la réalisation d'une nouvelle darse grande profondeur.

Le schéma suivant illustre les aménagements recommandés qui permettront l'accueil sécurisé de navires de 225 m et de navires de forts tirants d'eau pour l'un des projets grand port (Grand Port entrée Sud). On remarquera que l'espacement de 100 m prévu entre les navires de 200 m (présentant un risque élevé de la cargaison) peut être réduit à 75 m pour permettre l'accueil de plus grands navires sans allongement de la jetée à son enracinement.

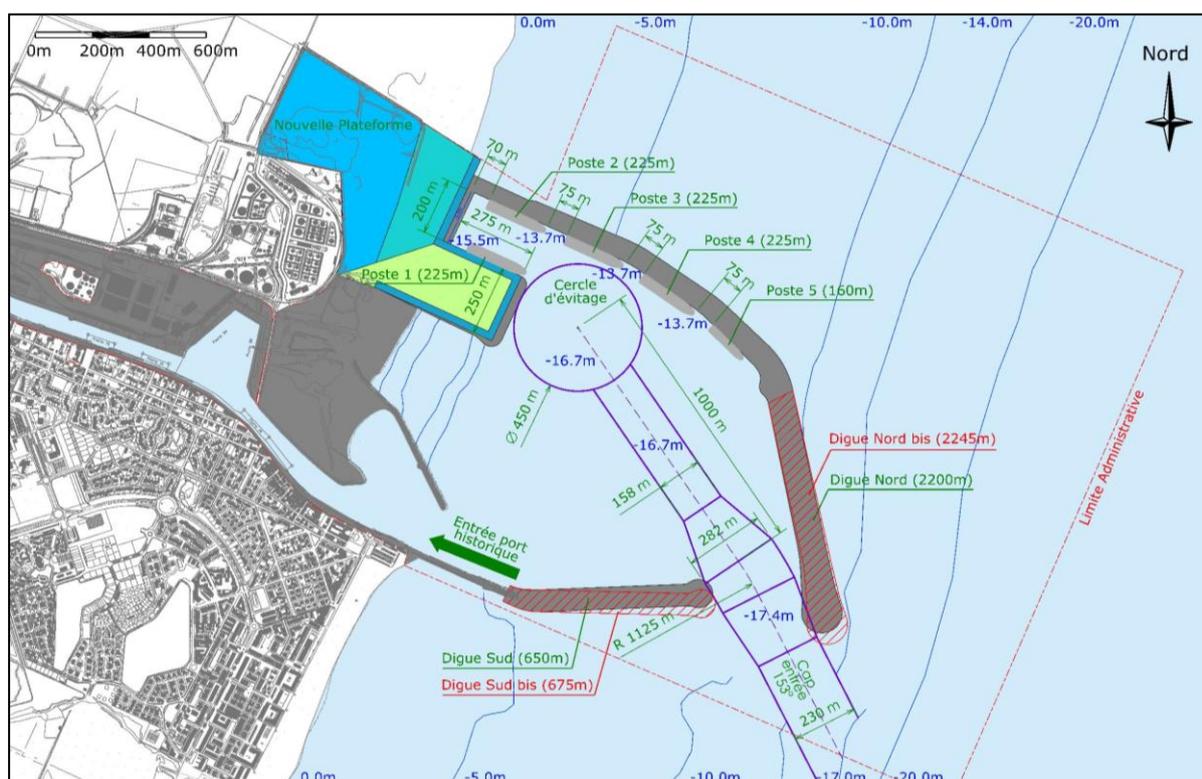


Figure 14 : Grand Port entrée Sud

On rappellera enfin qu'une étude spécifique de navigabilité (logiciel de navigabilité, modèle de passerelle) est recommandée. Elle permettrait de justifier voir d'optimiser les linaires requis vis-à-vis des spécificités des navires projet et du site.