

Ala Lifires ala.lifires@esitc-caen.net

Traitement durable et écoresponsable des matériaux de dragage

Auteurs : LIFIRES Ala

PIANC, Boulevard Roi Albert II, 20 - B. 3B-1000 Brussels (Belgium) info@pianc.org
Engineering Council, 10 Lower Thames Street London UK, T: +44 (0)20 3206 0500

RESUME : La tâche consistait à traiter 4.8 millions m³ des matériaux de dragage générés lors de la construction du projet « Dubai Harbor » à Dubai, Emirats Arabe Unis. L'idée était de réutiliser les matériaux qui ont des caractéristiques adéquates pour la réutilisation. Puis, de trouver une manière convenable pour placer les matériaux restants soit dans un site terrestre ou dans un site maritime. L'impact de mettre les matériaux dans un site terrestre sont connus et les effets sont facile à investiguer. Mais, l'impact de placer les matériaux dans un site maritime est difficile à évaluer. L'impact environnemental est également difficile à quantifier, surtout que des outils numériques n'existent pas.

La première étape était, alors, de définir des scénarios de dragage et des scénarios de rejets des matériaux dragués au fond marin. Puis, identifier des sites potentiels de réception selon des critères prédéfinis. Les critères étaient principalement : le développement de la vie aquatique dans ces sites (des sites récemment utiliser pour emprunter du sable), la profondeur et l'emplacement par rapport des zones sensibles.

Ensuite, pour chaque scénario l'effet à court terme, i.e. la descente des matériaux vers le fond en ouvrant les portes de la barge / le navire de dragage a été quantifiée en utilisant des approches de calcul empiriques combiné avec des outils de modélisation numériques, notamment STFate pour évaluer la forme globale de la descente et SYSIPHE (TELEMAC) en combinaison des modules de courant marin (TELEMAC3D) et de la propagation de la houle (TOMAWAC) pour déterminer l'ampleur du transport sédimentaire de la panache des matériaux.

La question, après, était d'évaluer l'évolution et la stabilité des matériaux dragués à long terme sous l'effet des courants marins et l'effet de la houle. Ainsi, le modèle et la forme des matériaux descendu au fond marin ont été reproduit avec un logiciel de transport sédimentaire (SISYPHE). Seuls les nouveaux matériaux du fond peuvent se déplacer, le reste du fond a été immobiliser. Ainsi, les résultats obtenus montrent seulement l'évolution des matériaux dragués et placés au fond de manière à déterminer s'ils sont stables ou pas.

Les résultats ont montré que les matériaux de dragage peuvent être placés dans un fond marin avec une manière contrôlée est durable, économique et écoresponsable. Les détails de programmation et de préparation des model ne sont pas développés ici parce qu'ils nécessitent un article séparé.

MOTS CLEFS : dragage, cycle de dragage, dispersion sédimentaire, modélisation hydrodynamique, modélisation du transport sédimentaire, Telemac, impact environnemental

ABSTRACT (en anglais): *I developed a solution for the offshore disposal of the dredged materials through multiple steps: firstly, I identified the material characteristics from the geotechnical campaigns. I estimated the volumes of the materials that will be problematic during the placement works, e.g the fines that they will be stripped away when the placement is done through opening the bottom doors of the barge/dredging vessel. I used all the samples and boreholes to determine the volume and characteristics of the materials that cannot be re-used for reclamation. I defined the criteria for the re-usability of the materials.*

Then, I choose a potential site for disposal based on criteria including that the site is recently used to borrow sand for other projects, the site is depleted and deep enough to accommodate all the dredged material. I created maps with the locations of the selected site for easier presentation and communication with the client and authorities. The next step was that I estimated the dredging cycle to calculate the time needed to dredge the materials, to transport, and to place the materials. Based on the contractor "Method Statement", I identified the vessel that will be used for the works. The vessel was a 180m TSHD.

I developed and combined four different numerical models that are TELEMAC, TOMAWAC, SYSIPHE and STFATE to assess the impact of placing the dredged materials under the hydrodynamic and wave forces: a combined hydrodynamic and wave model, a sediment dispersion model, a seabed evolution model and bottom doors placing model. I developed a stepped approach that combines theoretical aspects, empirical analysis, and numerical modelling. The conclusion was that the stripped away fines, during the placement, will not exceed the extent of the allocated area. The materials placed on the seabed will be stable and remains withing the placement area.

The details of the set up of the models and the modifications applied to the source code are not detailed here and require a separate paper.

KEYWORDS: Dredging, TSHD, dredging cycle, Numerical modelling, hydrodynamics, sediment transport

1. LE PROJET « DUBAI HARBOUR »

Dubai Harbour est un projet de développement du front littoral MEERAS consistant d'un tour de 135m, un terminal de passager d'une capacité de 6000 passagers, une marina d'une capacité 1145 yachts, centres commerciaux, parkings, etc Le plan masse du projet est présenté dans Figure 1. Le MOE était Sogreah Gulf (Artelia) et l'entreprise était Van Oord. Des travaux de dragage importants ont fait partis du projet du « Dubai Harbour » : des tranchées pour les structures de protection du littoral et un chenal de 300 m de large avec un cercle d'évitage de 540 m de diamètre pour l'accès au terminal de croisière ont été dragués. Ainsi, ce projet a généré 4.8 Millions m³ de matériaux dragués. Ceci est l'équivalent d'un volume de 168m de longueur, 168m de largeur pour 168 m de profondeur.

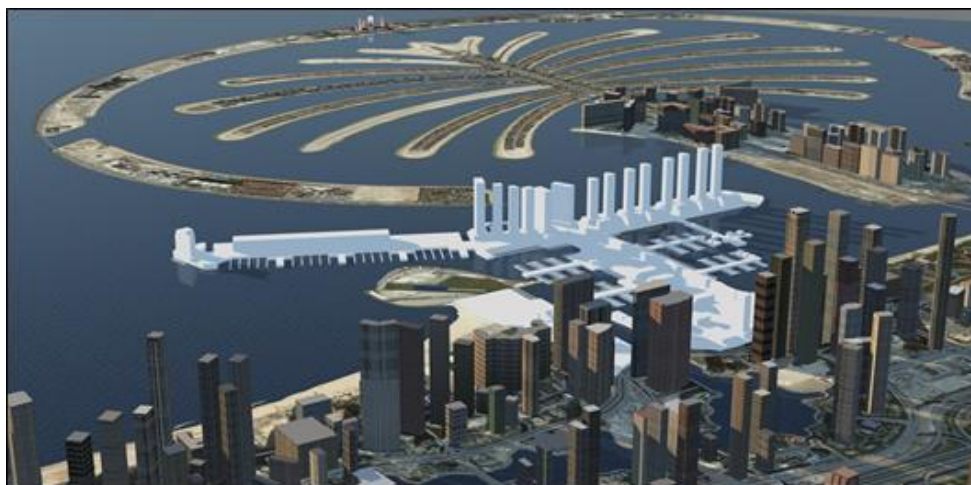


Figure 1 : Le plan masse conceptuel de Dubai Harbour

Il fallait trouver un moyen pour placer ces matériaux d'une façon durable et écoresponsable. Il fallait évaluer l'impact physique et environnemental des travaux de mise en place des matériaux de dragage en utilisant différentes techniques de dragage et de mise en place. En fin de compte, une solution durable pour le placement et le stockage des matériaux de dragage a été fournie.

2. PLACEMENT A TERRE VS PLACEMENT OFFSHORE

Le placement à terre nécessite généralement un traitement préalable dans l'environnement littoral, ce qui aura un impact direct, ainsi que le rejet potentiel de sédiments en suspension à proximité des récepteurs sensibles identifiés. Le transport des matériaux dragués de la zone de traitement au site de mise en place nécessiterait, selon les estimations, 30 000 à 50 000 mouvements de camions et aurait un impact important sur la circulation. Il y aurait également des impacts physiques directs et un risque de contamination du site de mise en place. Bien que le placement en mer (offshore) de matériaux de dragage inadaptés puisse avoir des incidences importantes sur l'environnement. Néanmoins, il s'agit de l'option préférée, à condition que les incidences soient réduites par le choix d'un site de placement approprié. Un résumé des impacts entre le placement à terre et en mer est fourni dans la Figure 2.

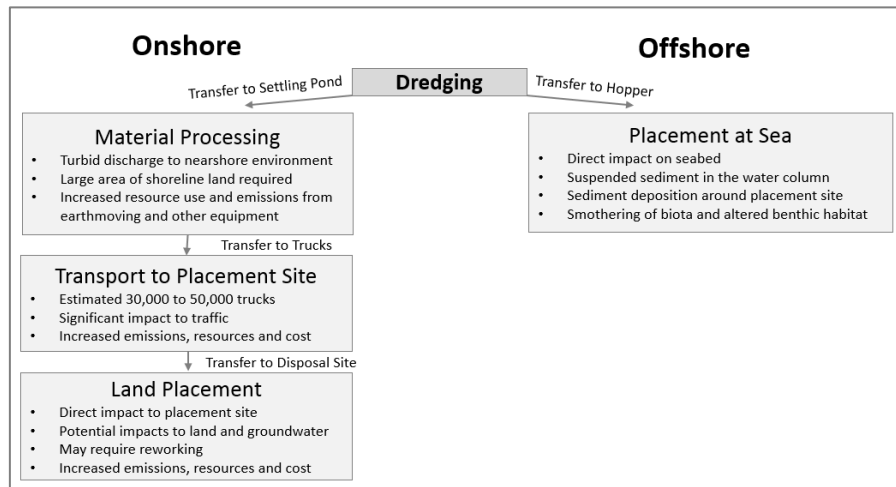


Figure 2 : Comparaison des méthodes de traitements des matériaux dragués

En outre, des études ont été faites sur le placement « intertidal » des matériaux de dragage en tant qu'utilisations bénéfiques innovantes des matériaux de dragage à grain fin. Par rapport aux matériaux de dragage rocheux, le comportement des matériaux à grain fin déposés a tendance à être moins prévisible. Il est possible de réduire cette imprévisibilité en aménageant le site de mise en place de manière à confiner les matériaux de dragage fins déposés [1].

3. LE PROJET ET L'APPROCHE

L'approche la plus durable est d'essayer de réutiliser les matériaux dragués dans les travaux de terrassement. Tout d'abord, les caractéristiques des matériaux ont été identifiés à partir des campagnes géotechniques. On a estimé les volumes de matériaux qui poseront un problème pendant les travaux de mise en place, par exemple les fines qui seront dispersées le long de la colonne d'eau lors de la mise en place en ouvrant les portes du fond de la barge/du navire de dragage. Ceci était basé sur une évaluation géotechnique faite pour ce but (Figure 3). Tous les échantillons et les sondages ont été utilisés pour déterminer le volume et les caractéristiques des matériaux qui ne peuvent pas être réutilisés pour le terrassement. Les critères de réutilisation des matériaux ont été définis au préalable, mais consiste principalement à la possibilité de compactage.

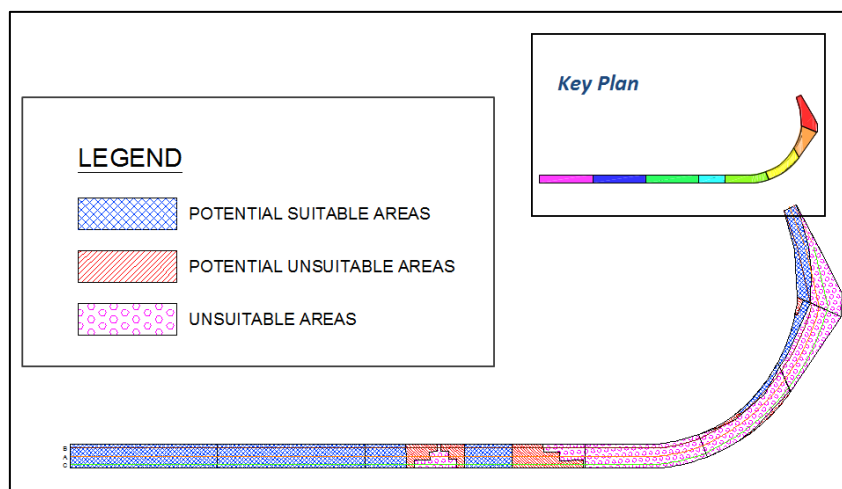


Figure 3: Evaluation géotechnique

Les matériaux dragués ont été classés en deux catégories selon résistance typique à la compression non confinée : des matériaux rocheux de (2.6 Million m³) et des matériaux non consolidés (2.2 Million m³). Selon la possibilité de ré-usage, 1.3 Millions m³ des matériaux rocheux et 1.3 Million m³ des matériaux non consolidés ont été évalués et considérés comme non compactable et par suite non réutilisable. Ainsi, les matériaux à rejeter ont passé de 4.8 Million m³ à 2.6 Million m³ seulement. L'impact physique et environnemental sont déjà atténués par moyen de réduction des volumes à gérer. La question maintenant est comment on peut gérer le reste des matériaux non compactables.

A ce stade, il a été estimé que le rejet des matériaux dragués en site marin est plus défavorable qu'en site terrestre (cf paragraphe 2). La première étape était de choisir un site de rejet potentiel en se basant sur des critères prédéfinis [2] tels que le fait que le site marin soit récemment utilisé pour emprunter du sable pour d'autres projets, que le site soit épuisé et suffisamment profond pour accueillir tous les 2.6 Millions m³ des matériaux dragués. Les autorités ont été contactées pour pouvoir sourcer les informations nécessaires pour l'identification d'une liste des sites potentiels. Ensuite, on a créé des cartes avec l'emplacement du site sélectionné pour faciliter la présentation et la communication avec le client et les autorités (Figure 4). Les zones les plus favorables pour le rejet des matériaux de dragage non utilisables ont été identifiées à 10 km du site de projet à des profondeurs supérieures à 25m. il s'agit d'un site utilisé pour emprunter le sable en 2015. Le site est considéré épuisé du sable à emprunter. Le site n'a pas encore rétabli, il n'y a pas de développement d'une vie marine.

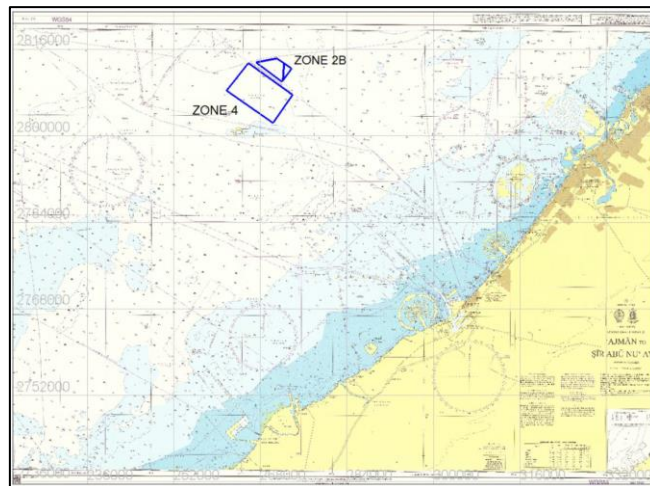


Figure 4: Les site Présélectionnés

L'étape suivante a consisté à estimer le cycle de dragage pour calculer le temps nécessaire pour le dragage des matériaux, à leur transport et à leur mise en place. Il a été estimé que la durée totale des travaux de dragage / rejet est de 100 jours si le rejet est effectué en ouvrant les portes d'en bas de la drague, et de 122 jours si le rejet est effectué en utilisant le tube d'aspiration de la drague. Sur la base de la "méthodologie" de l'entreprise, j'ai identifié le navire qui sera utilisé pour les travaux. Le navire était un TSHD de 180m (Figure 5).

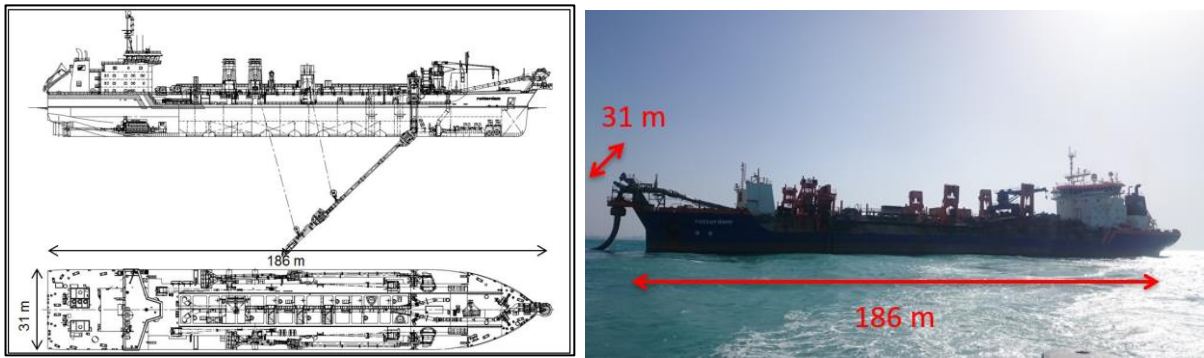


Figure 5: TSHD "Rotterdam"

4. APERÇU DES DEFIS

Maintenant, que le volume, caractéristiques et sites de rejet des matériaux ont été identifiés, il fallait développer une méthode pour évaluer l'impact et les risques de l'opération. Les défis de la tâche étaient les suivants :

- L'inexistence de méthodes théoriques antérieures et d'expériences similaires ;
- Le risque environnemental est important ;
- Les variables d'entrées sont importantes ;
- Les objectifs sont vastes et une approche par étapes doit être développée ;
- Les outils numériques existants doivent être adaptés dans le but de trouver une solution durable. Une approche innovante est nécessaire ;
- La méthodologie, l'approche et le résultat doivent être présentés à la municipalité de Dubaï pour approbation.

5. LIMITES ACCEPTABLES

Les limites acceptables des sédiments en suspension et le dépôt total au fond marin sont respectivement de l'ordre de 0.12 g/l et 5cm/an [3] [4]. Ces limites sont importantes pour évaluer l'impact des travaux de placement.

5. INNOVATION ET DEVELOPPEMENT DE L'INGENIERIE

Il fallait être innovant pour trouver une approche permettant d'évaluer la stabilité et l'impact du placement des matériaux de dragage sur un site offshore. L'approche consistait à développer des simulations numériques pour prévoir le comportement des matériaux lors des opérations de rejets et leur comportement à long termes sous les effets des actions hydrodynamiques d'un milieu marin.

J'ai développé et combiné quatre modèles numériques différents, à savoir TELEM3D, TOMAWAC, SYSIPHE et STFATE, pour évaluer l'impact de la mise en place des matériaux de dragage sous l'effet des forces hydrodynamiques et des vagues : un modèle hydrodynamique et de vagues combiné, un modèle de dispersion des sédiments, un modèle d'évolution du fond marin et un modèle de mise en place des matériaux fond. J'ai développé une approche par étapes qui combine les aspects théoriques, l'analyse empirique et la modélisation numérique :

- Définition des cycles de dragage/placement : La drague suceuse porteuse (TSHD) "Rotterdam" a été utilisée pour les travaux de dragage (Figure 5). Le TSHD transportera les matériaux dragués jusqu'au site de placement en mer où deux techniques de placement sont

envisagées : le placement par l'ouverture des portes du TSHD, et le placement par l'inversion du flux sur le tuyau d'aspiration. En conséquence, j'ai défini les durées et les quantités typiques du cycle de dragage/placement ;

- Modélisation hydrodynamique : J'ai évalué et comparé l'environnement hydrodynamique sur différents sites de placement potentiels, i.e. les niveaux d'eau et les courants marins tout au long de la colonne d'eau en utilisant un modèle 3D;
- Modélisation numérique de dispersion à court terme : J'ai développé des modèles et présenté des résultats : le dépôt de matériaux sur le fond marin après le placement sur la base des résultats du logiciel STFATE. La Figure 6 montre le processus à modéliser à l'aide de STFATE. Les matériaux les plus fins seront dispersés du jet principal. Ainsi, la forme de la descente des matériaux a été définie. Le résultat de STFATE est un fichier texte. Pour les besoins du rapport et pour faciliter la présentation du résultat, j'ai créé des représentations visuelles des résultats à l'aide du logiciel Mathematica et Microsoft Excel. Un exemple de cette procédure de post-traitement est illustré dans la Figure 7.
- Pour les matériaux fins, un modèle SISYPHE a été développé. Le modèle de dispersion est variable dans l'espace (le navire changera d'endroit de rejet à chaque cycle) et dans le temps (les rejets seront séparés d'une durée d'un cycle de dragage). Ceci nécessitait l'utilisation d'un modèle 3D avec des couches à deux mètres de la surface d'eau (position des portes de la drague) et 2 mètres au-dessus du fond marin (pour le cas d'un rejet à l'aide de tube d'aspiration). Ensuite des « sources » variable en temps, en espace et en durée ont été définies pour suivre le modèle de dispersion des matériaux. Les détails de ce modèle et le code source pourrait être développé dans un article séparé.
- Modélisation numérique du devenir à long terme : J'ai évalué l'évolution du fond marin sous des courants typiques et différentes conditions de vagues en utilisant le logiciel SISYPHE. Ce logiciel permet d'avoir la possibilité de définir que le fond entier du modèle soit « fixe » ou que le fond entier bouge selon les efforts hydrodynamiques. Dans notre cas, on a besoin de suivre le modèle d'évolution des matériaux dragués placé au fond seulement. Donc, pour résoudre ça, l'algorithme source du logiciel a été modifié pour pouvoir introduire deux « fond » différents, le premier avec la bathymétrie existante, i.e. sans les matériaux placés. Ce fond sera fixe. Un deuxième fond reconstitué à travers les résultats de formation des matériaux descendus directement vers le fond et les matériaux fins dispersés. Ce deuxième fond était libre et pouvait bouger selon les lois du transport sédimentaire.

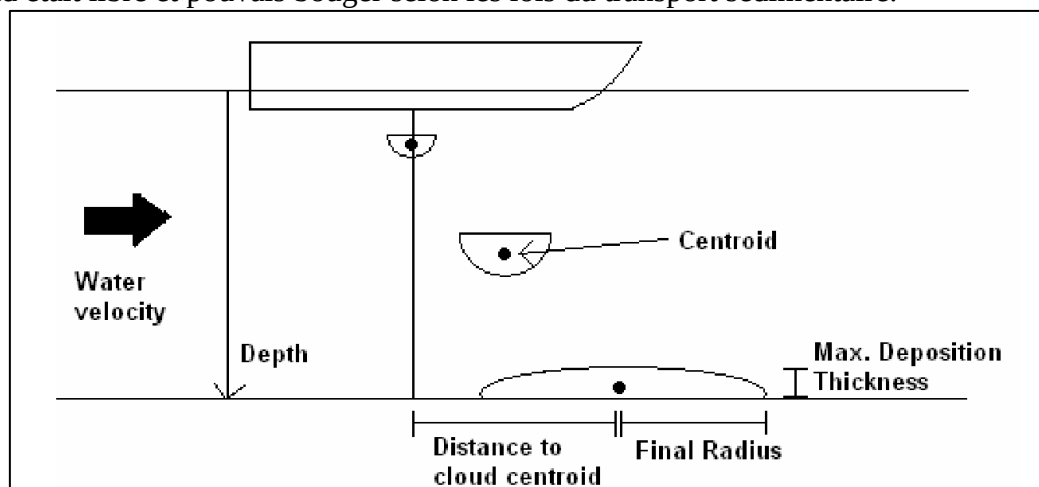


Figure 6: Descente des matériaux

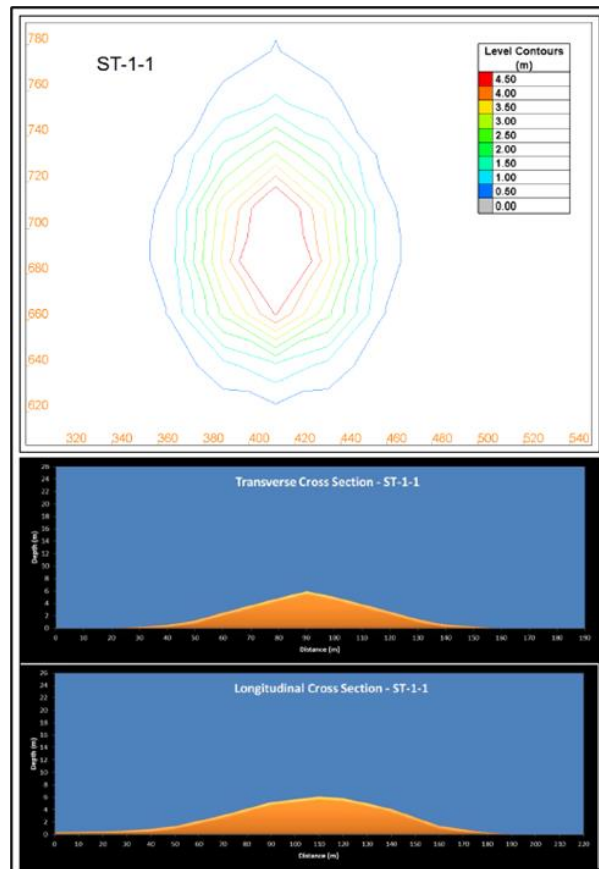


Figure 7: Les résultats de STFATE

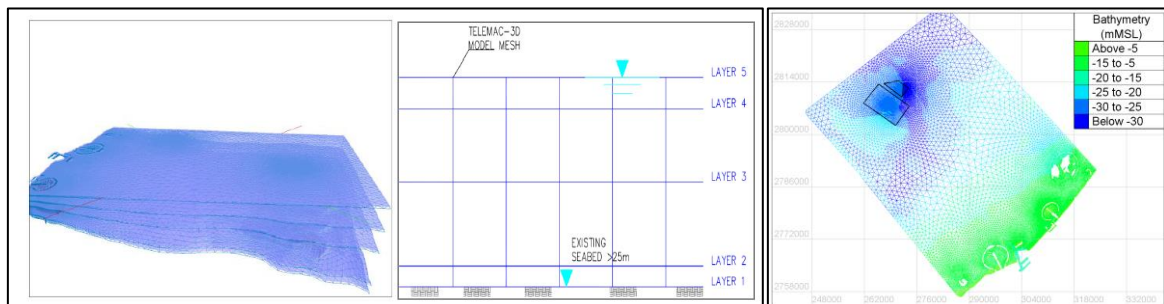


Figure 8: Le model TELEMAC 3D

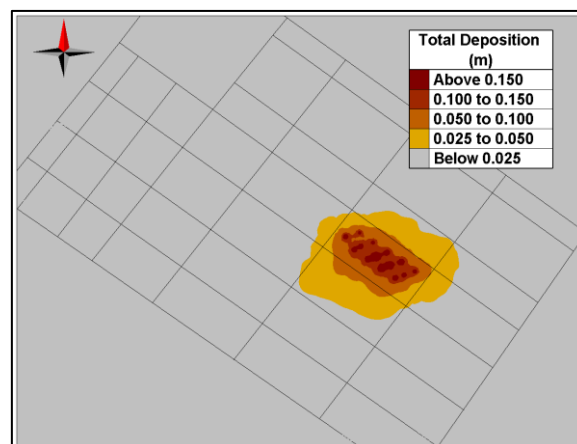


Figure 9: Présentation visuelle des matériaux déposés au fond marin après dispersion

5.1 Descente des matériaux, court terme : STFate

STFate [5] a été utilisé pour déterminer l'épaisseur de la descente instantanée des matériaux en ouvrant les portes du navire [6]. Si les matériaux sont placés en utilisant le tuyau d'aspiration, on aura une épaisseur uniforme de 2m tout au long du fond marin. Une grille de 95 points a été utilisé pour définir le domaine de la modélisation (Figure 10)

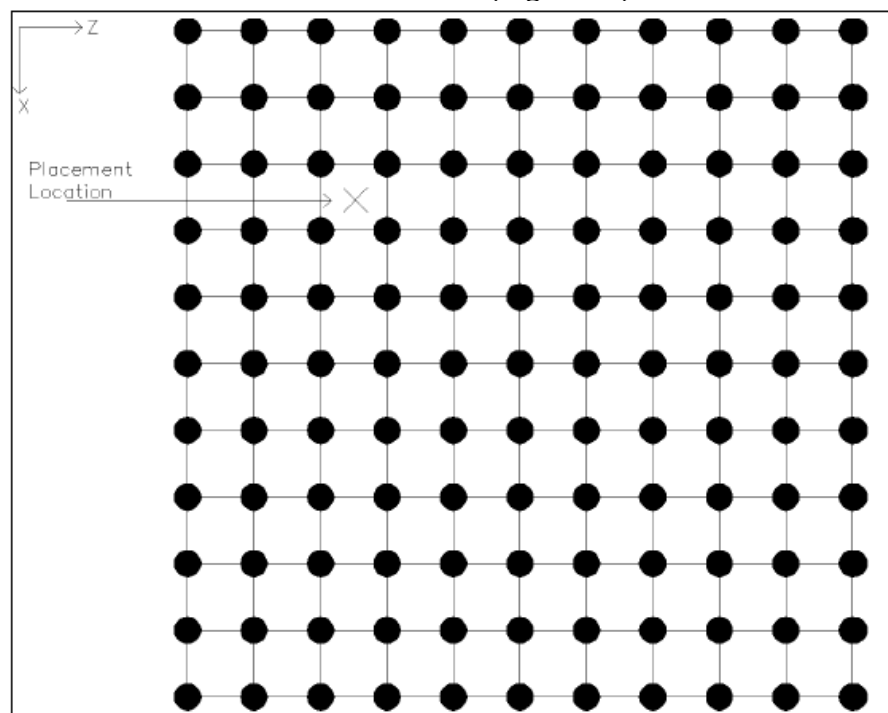


Figure 10: Présentation schématique du système de grille pour le placement des matériaux

Le niveau des fonds est constant tout le domaine. Les niveaux d'eau et la vitesse des courants varient pour couvrir toutes les conditions de marée. Les paramètres du model sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Paramètre du model STFate

Data	Parameters/Model	Adopted Value
Site Data	Grid Size (Spacing) Depth	23 m x 23 m ~26 mMSL (variable)
Velocity Data	Current Speed Water Level	Variable with Tide (Section 5.5)
Physical Properties	Ambient Salinity Ambient Temperature Water Density	Salinity = 42 ppt Ambient Temp. = 22°C 1030 kg/m ³
Placement Operation Data	Vessel Specs Pre-Disposal Draft Post-Disposal Draft	TSHD Rotterdam 11m 5m

Le modèle STFATE a fourni des informations sur l'épaisseur et l'étendue du dépôt des matériaux de dragage après une activité de mise en place. L'épaisseur du dépôt varie de 3,6 m à 7,6 m en fonction des conditions du site et de la vitesse du navire. Ces résultats ont été utilisés pour établir une forme de dépôt de conception après un cycle de placement basé sur les résultats moyens des simulations sans la vitesse du navire. Une forme de dépôt de conception de 150 m x 230 m x 5,3 m a été considérée (Figure 7).

5.2 *Modèle de dispersion des sédiments fins, court terme*

Des fractions de sédiments fins seront enlevées pendant la descente des matériaux de dragage et resteront en suspension dans la colonne d'eau jusqu'à ce qu'elles soient diluées ou déposées. La fraction de sédiments fins enlevée pendant les travaux de mise en place a été simulée à l'aide du logiciel TELEMAC-3D pour évaluer l'étendue de la dispersion. Le modèle hydrodynamique 3D du projet a été utilisé pour étudier la dispersion des sédiments en introduisant des sources de libération de sédiments nodales représentant les opérations de placement. Le modèle a été entrepris pour la durée d'un mois (mars 2018), au cours duquel plus de 65 cycles ont été simulés.

Les sources pour le placement des portes de fond ont été prescrites aux couches de surface (Couche 4 - Figure 8). Les sources pour le placement via le tuyau d'aspiration ont été prescrites à la couche proche du fond de la mer (couche 2 - Figure 8). Les paramètres du model et les scenarios modélisés sont présentés dans les Tableau 2 et *Tableau 3*.

Tableau 2: Paramètre du model TELEMAC 3D

Physical Process	Parameters/Model	Adopted Value
Bed Friction	Chezy Coefficient [m ^{1/2} /s]	Ch = 100
Physical Properties	Ambient Salinity Ambient Temperature	Salinity = 42 ppt Ambient Temp. = 22°C
Sediment Properties	Effective particle size Density of sediment grains Critical deposition shear stress Critical erosion shear stress	0.025 mm 2650 kg/m ³ 0.1 N/m ² 0.2 N/m ²

Tableau 3: Scenarios de modélisation TELEMAC 3D

Scenarios	Placement Technique	Fines Stripped Away (kg/cycle)	Source Level	Discharge Pattern
Scenario 1	Bottom Doors	386,250	Near Surface (Layer 4)	Variable in Time and Space
Scenario 2	Suction Pipe	77,250	Near Bottom (Layer 2)	Variable in Time and Space

Le débit des fines défini aux nœuds source a été établi en calculant les cycles de dragage et définissant une performance moyenne de placement (P [m^3/h]). Puis il a été supposé que 5% des matériaux seront dispersé en utilisant les portes de la drague. 1% des matériaux sera dispersé en utilisant le tuyau d'aspiration [7] [8].

Les concentrations de sédiments fins en suspension ont un impact sur la visibilité et l'éclairage de la colonne d'eau (turbidité). Bien qu'il n'y ait pas de récepteurs sensibles à proximité de la zone de mise en place ni de ressources vivantes importantes dans la zone d'emprunt épuisée, l'augmentation des sédiments en suspension résultant de la mise en place des matériaux de dragage peut, dans certaines conditions, avoir des effets négatifs sur les animaux et les plantes marins en réduisant la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau dans une zone localisée pendant de courtes périodes. La distribution temporelle maximale moyenne en profondeur des sédiments fins en suspension en considérant différents niveaux : 0,025 g/l et 0,120 g/l ce qui est acceptable ;

Un impact potentiel des opérations de placement est le dépôt de fines libérées dans la colonne d'eau, qui peuvent étouffer la flore et la faune benthiques. Ces questions peuvent ne pas être pertinentes dans ce cas, car le site de placement est une zone offshore épuisée. Néanmoins, le risque d'un tel impact est évalué en évaluant le taux de dépôt et l'épaisseur de la couche de sédiments fins fraîchement déposés et non consolidés sur le fond marin pendant et à la fin de la période de simulation. Il n'y a pas de limites connues fixées par la municipalité de Dubaï pour les taux de dépôt admissibles. Cependant, un taux de 5 cm/an est considéré comme un seuil de sédimentation raisonnable (pour les herbiers marins) [4]. Bien que le fond marin de la zone d'emprunt de la ZONE 4 ne soit pas particulièrement habité, le seuil de 5 cm d'épaisseur de dépôt en dehors de la zone de placement (en dehors du bloc utilisé pour le placement) a été considéré de manière conservatrice pour cette étude.

L'épaisseur totale de la couche de sédiments fins déposée à la fin de tous les travaux de mise en place (167 cycles) est présentée dans la Figure 11. Les échelles de couleur ont été choisies pour faciliter la référence aux valeurs seuils de 0,025 m et 0,05 m.

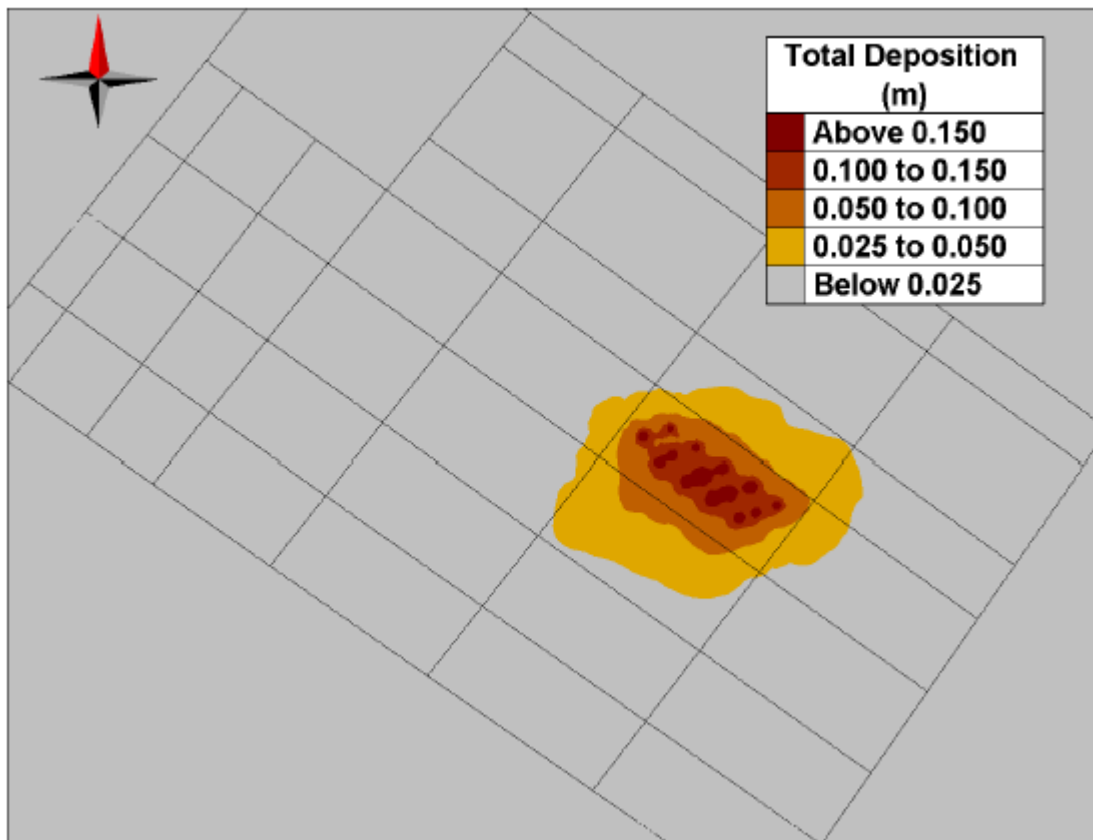


Figure 11: Dépôt total à la fin des travaux

5.3 Stabilité des matériaux placé, long terme

Les matériaux placés sur le fond marin seront ensuite exposés aux conditions hydrodynamiques (courants de marée et vagues). En fonction des mécanismes de transport des sédiments, le site sera déterminé comme étant dispersif ou non dispersif.

Un modèle SISYPHE [9] a été développé pour étudier l'étendue de la réponse des matériaux placés aux événements typiques et extrêmes en fonction des mécanismes de transport.

Les résultats de STFATE ont été utilisés pour reconstruire le fond marin après les travaux de placement en mer. SISYPHE a été utilisé pour simuler le comportement des sédiments au fond de la mer. L'effet des vagues et des courants générés par la marée a été pris en compte. Les paramètres du modèle et les scénarios sont présentés dans les Tableau 4 et Tableau 5.

Tableau 4: Paramètres des sédiments pour SISYPHE

Parameter	Input Value
Sediment Mean Diameter	0.12 mm
Porosity Parameter	0.38
Non Erodible bed	Original Seabed
Erodible bed	Placed Materials

Tableau 5: Scenarios de modélisation SISYPHE

Scenarios No.	Seabed Configuration	Wave Conditions	Duration
LT-01	Scenario 1 – configuration 1	1 in 1 year	12 hours Storm
LT-02		1 in 10 years	12 hours Storm
LT-03		1 in 50 years	12 hours Storm
LT-04		Representative Wave	30 Days
LT-05	Scenario 1 – configuration 2	1 in 10 years	12 hours Storm
LT-06		1 in 10 years	12 hours Storm
LT-07		1 in 50 years	12 hours Storm
LT-08		Representative Wave	30 Days
LT-09	Scenario 2	1 in 1 year	12 hours Storm
LT-10		1 in 10 years	12 hours Storm
LT-11		1 in 50 years	12 hours Storm
LT-12		Representative Wave	30 days

Douze simulations de modélisation numérique ont été effectuées pour évaluer trois configurations de mise en place dans un environnement hydrodynamique typique, dans des conditions de vagues extrêmes et dans des vagues représentatives typiques. Un exemple de résultat est présenté dans la Figure 12.

La réponse du matériau placé dans des conditions hydrodynamiques typiques et des vagues représentatives n'est pas significative. Le matériau placé aura tendance à s'aplatir sous l'effet combiné de l'environnement hydrodynamique typique et des conditions de vagues extrêmes, c'est-à-dire que les crêtes auront tendance à s'éroder et à remplir les creux adjacents. La réponse du matériau placé à l'environnement marin est contenue dans la zone de placement.

Sur la base des résultats de la modélisation du devenir à long terme, il est conclu que le site de placement proposé dans la zone 4 est non dispersif. Par conséquent, il n'y a pas de risque de dispersion des sédiments en dehors du bloc de placement sélectionné.

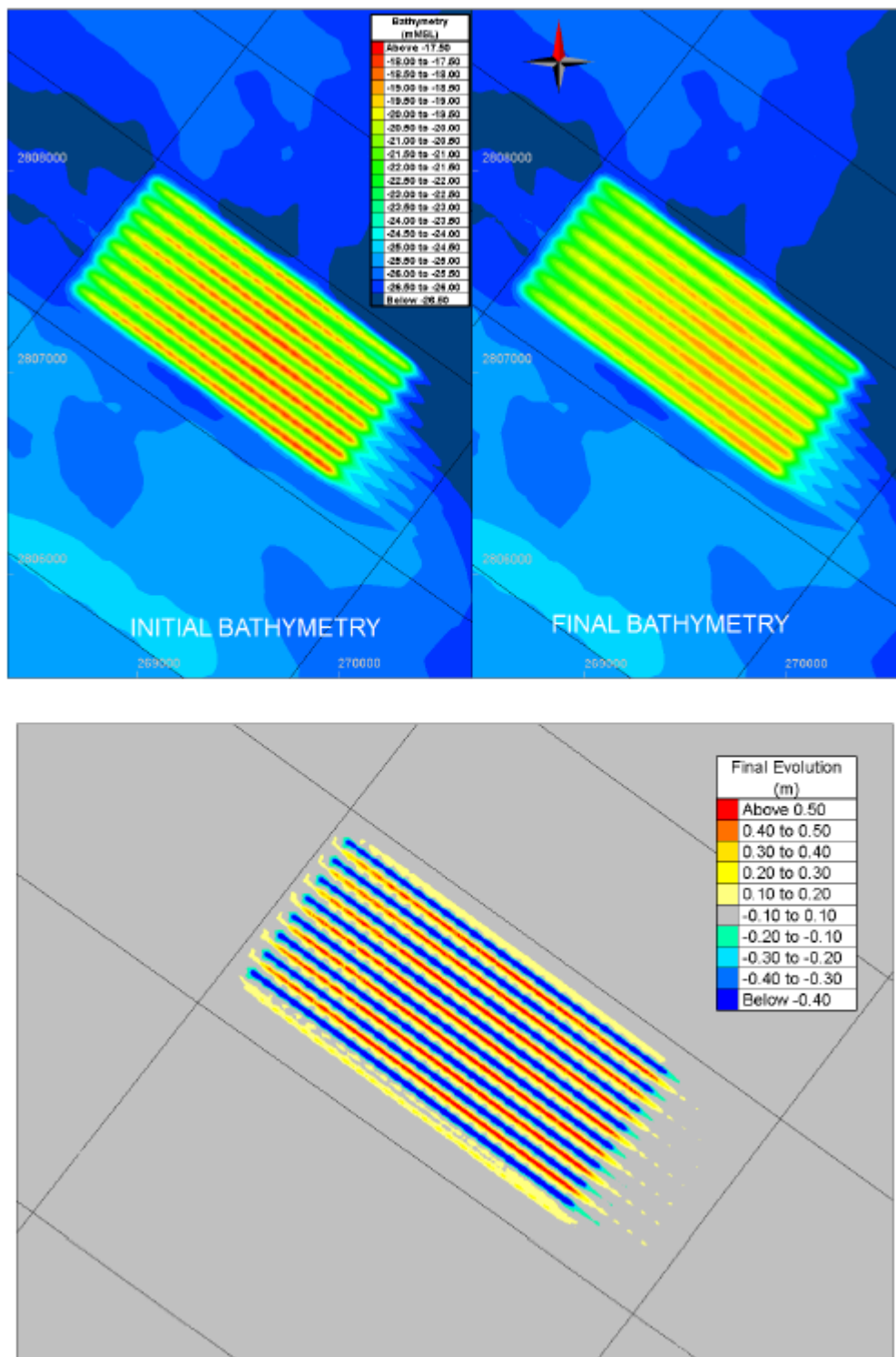


Figure 12: Exemple d'évolution du fond marin (Simulation LT-03)

6. CONTROLE QUALITE ET VALIDATION

Avant de mettre en œuvre l'approche, les modèles numériques ont été testés sur des situations existantes pour lesquelles je disposais de mesures sur site. Cela m'a permis de valider les modèles et l'approche avant de l'appliquer pour l'évaluation du placement en mer. J'ai d'abord obtenu des mesures sur site des courants et des niveaux d'eau pour une période spécifique. Ensuite, j'ai exécuté mon modèle pour la même période et j'ai comparé les résultats avec les mesures du site. En suivant un processus itératif, j'ai mis à jour les paramètres du modèle jusqu'à obtenir des résultats modélisés proches des mesures réelles. J'ai ensuite traité les données et élaboré des figures et des graphiques pour évaluer la performance du modèle [10]. La Figure 13 montre un exemple d'évaluation visuelle où les valeurs prédites et les mesures du site ont été superposées. En outre, après discussion avec mes collègues, j'ai décidé de procéder à une évaluation plus poussée des performances du modèle, car la tâche est très sensible sur le plan environnemental et juridique. En conséquence, j'ai effectué une analyse statistique des résultats pour estimer l'erreur et la comparer aux critères qui ont été développés par les chercheurs. Ces critères sont présentés dans le Tableau 6. En effectuant cette tâche, je me suis assuré que le modèle est bien calibré, ce qui a permis d'obtenir des résultats fiables. Les résultats de l'évaluation sont présentés dans le Tableau 7. J'ai présenté l'approche et le résultat au client et aux autorités.

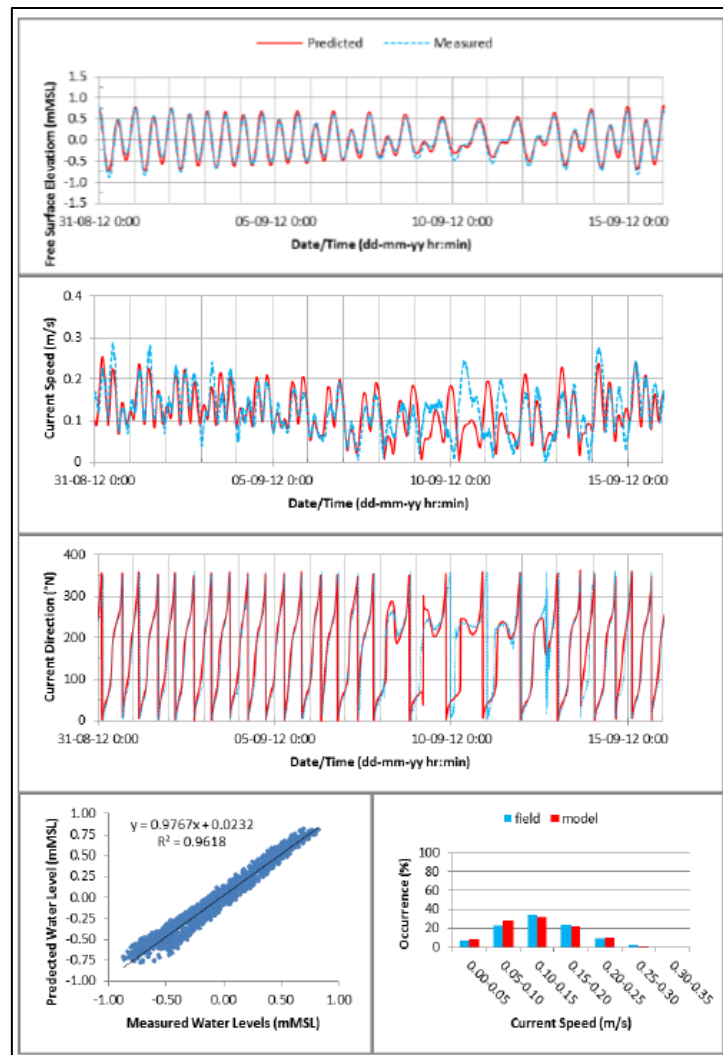


Figure 13: Calibration and validation du model

Tableau 6: classification de l'erreur (objectif à atteindre)

Classification	Range of ARMAE
Excellent	<0.2
Good	0.2 – 0.4
Reasonable	0.4 – 0.7
Poor	0.7 – 1.0
Bad	>1

Tableau 7: Evaluation de la performance du logiciel TELEMAC 3D

TELEMAC-3D Results	ARMAE	Evaluation
Depth Averaged Current Speeds	0.07	Excellent
Near Bottom Current Speeds	0.34	Good
Mid-Depth Current Speeds	0.26	Good
Near Surface Current Speeds	0.25	Good

7. CONCLUSION

Le comportement à court terme des matériaux placés pendant les travaux ne devrait pas présenter d'impacts potentiellement significatifs sur l'environnement marin sur le site de placement ou à proximité. Des mesures d'atténuation ne sont pas nécessaires.

Deux méthodes de mise en place ont été étudiées dans ce rapport (portes de fond et pompage par le tuyau d'aspiration). Toutes les deux ont démontré une conformité avec un léger dépassement pour les critères à court terme (Sédiments en suspension et dépôt) et une conformité totale pour les critères à long terme (évolution du fond marin). Bien que l'option de pompage présente un impact plus faible, les opérations ne sont pas toujours techniquement possibles ; les coûts sont sensiblement plus élevés et la durée de vie est plus longue, ce qui entraîne une consommation de carburant et des émissions de moteurs plus importantes. Par conséquent, le placement par les portes de fond est considéré comme la meilleure technique de placement pour le projet.

Le site de placement est non-dispersif, c'est-à-dire que le matériau restera dans les limites du bloc de placement. Un certain remodelage se produit uniquement lors d'événements extrêmes temporaires, mais il est toujours contenu dans le bloc de placement.

La zone 4 d'emprunt épuisée en mer du projet Port de la Mer (PDLM) peut être utilisée pour placer le volume total des matériaux de dragage non compactables du projet du port de Dubaï (c'est-à-dire environ 2,6 millions de m³) sans répercussions environnementales significatives.

Les études de modélisation numérique ont montré que l'impact physique pendant les opérations de mise en place (devenir à court terme) et après l'achèvement des travaux (devenir à long terme) sur le milieu marin est conforme aux critères fixés dans le présent rapport. Par conséquent, les blocs similaires de la zone d'emprunt 4 peuvent être utilisés comme site de placement.

8. REFERENCES

- [1] L. Paipai, «Beneficial uses of dredged material: Yesterday, today and tomorrow. Terra et Aqua. Number 92,» 2003.
- [2] PIANC, «Dredging management practices for the environment. A structured selection approach. Report No. 100 – Environmental commission.,» 2008.
- [3] Dubai Municipality, «Environmental Standards and Allowable Limits of Pollutants on Land, Water, and Air Environment,» Environment Protection and Safety Section, Information Bulletin, Dubai,» 2003.
- [4] P. Erftemeijer, «Seagrass habitats in the Arabian Gulf: distribution, tolerance thresholds and threats,» 2012.
- [5] USACE - ERDC, «Ocean Dredged Material Disposal Site (ODMDS) Authorization and Short-Term FATE (STFATE) Model Analysis,» 2016.
- [6] USACE - EPA, «Evaluation of Dredged Material Proposed For Discharge in Waters of the U.S.-Testing Manual,» 1998.
- [7] A. B. a. J. L. R.N Bray, «Dredging A Handbook For Engineers,» 2001.
- [8] J. H. B. Becker, E. M. M. Van Eekelen, J. Wiechen, W. De Lange, T. Damsma et T. & V. K. M. Smolders, «Estimating source terms for far field dredge plume modelling,» 2015.
- [9] EDF-DRD, «SISYPHE Release 6.0 User Manual,» 2010.
- [10] D. W. T. C. L. v. R. H. S. J. Sutherland, «Evaluation of coastal area modelling systems at an estuary mouth,» 2003.

8. TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1 : Le plan masse conceptuel de Dubai Harbour.....	3
Figure 2 : Comparaison des méthodes de traitements des matériaux dragués.....	4
Figure 3: Evaluation géotechnique	4
Figure 4: Les site Présélectionnés	5
Figure 5: TSHD “Rotterdam”	6
Figure 6: Descente des matériaux.....	7
Figure 7: Les résultats de STFATE	8
Figure 8: Le model TELEMAC 3D.....	8
Figure 9: Présentation visuelle des matériaux déposés au fond marin après dispersion.....	8
Figure 10: Présentation schématique du système de grille pour le placement des matériaux.....	9
Figure 11: Dépôt total à la fin des travaux	12
Figure 12: Exemple d’évolution du fond marin (Simulation LT-03)	14
Figure 13: Calibration and validation du model	15

Tableau 1: Paramètre du model STFate	9
Tableau 2: Paramètre du model TELEMAC 3D	10
Tableau 3: Scenarios de modélisation TELEMAC 3D.....	11
Tableau 4: Paramètres des sédiments pour SISYPHE.....	13
Tableau 5: Scenarios de modélisation SISYPHE	13
Tableau 6: classification de l’erreur (objectif à atteindre).....	16
Tableau 7: Evaluation de la performance du logiciel TELEMAC 3D.....	16