

REPUBLIQUE FRANCAISE

Shom

Etablissement public administratif
sous tutelle du ministère de la défense

13, rue du Châtelier
CS 92803
29228 BREST cedex 2

Direction des Opérations de la Production et des
Services
Division HOM

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES

Contrat de Recherche relatif à la propagation de la marée en estuaire

N° 57/2016 version 3 du 6 mars 2017

Contrat de recherche n° 16CP09

Table des matières

1.	TERMINOLOGIE.....	3
2.	CONTEXTE DU CONTRAT DE RECHERCHE.....	4
3.	OBJET DE L'ETUDE.....	5
4.	ETAT DE L'ART.....	6
5.	DESCRIPTION DÉTAILLEE DU BESOIN.....	7
6.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	12
7.	BESOINS RELATIFS À L'ORGANISATION DE L'ÉTUDE.....	13
8.	LIEU ET DURÉE DE L'ÉTUDE.....	15
9.	CADRE DE LA RÉPONSE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
10.	ANNEXE : FORMATS DES DONNES ET FICHIERS DE L'ETUDE.....	15

1. TERMINOLOGIE

Terme/Sigle	Signification
HYCOM	HYbrid Coordinate Ocean Model
NPBMA	Niveau des Plus Basses Mers Astronomiques
MNT	Modèle numérique de terrain, ici, appliquée à la bathymétrie.
POCVIP	Outils de traitement de champs océaniques comme la marée.
PROTEVS	PRévision Océanique, Turbidité, Ecoulements, Vagues et Sédimentologie
SMO	Surface moyenne océanique
SMH	Surface moyenne hydrographique
ZERO D'ETIAGE	La ligne d'étiage est définie comme étant le niveau moyen des plus basses mers de marée d'équinoxe.
ZERO HYDROGRAPHIQUE (ZH)	<p>Le zéro hydrographique (ZH) est le niveau de référence commun aux cartes marines et aux annuaires de marée du Shom, à partir duquel sont comptées d'une part les profondeurs portées sur les cartes et d'autre part les hauteurs d'eau résultant des calculs de marée. Les ZH sont publiés annuellement par le Shom, dans le produit « RAM ».</p> <p>Le zéro hydrographique, ou zéro de réduction des sondes : est défini sur la base des observations marégraphiques, visant la meilleure sécurité possible pour la navigation ; est coté dans un référentiel terrestre, soit par rapport à un repère stable situé à proximité d'un marégraphe terrestre, soit par rapport à une surface de référence, de manière à assurer sa conservation sur le long terme.</p> <p>Le ZH est défini par le Shom comme étant : « le niveau de la plus basse des basses mers astronomiques », selon les recommandations de l'OHI. Le ZH doit être, selon les recommandations de l'OHI, confondu aussi bien que possible avec le PBMA.</p>

2. CONTEXTE DU CONTRAT DE RECHERCHE

Cette étude concerne le département « Recherche océanographique » de la Division HOM de la Direction des Opérations, de la Production et des Services (DOPS) du Shom.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du programme d'études amont financé par la DGA (PEA082401) PROTEVS qui vise l'amélioration des systèmes décrivant l'environnement marin en temps réel ainsi que son évolution possible.

Les objectifs du projet sont : (1) d'améliorer la connaissance des processus océaniques et côtiers (action continue de «recherche amont»), (2) d'étudier la faisabilité de systèmes permettant la reconstitution en temps réel (analyse) de l'environnement hydrodynamique ainsi que de son évolution possible (prévision), (3) d'étudier des possibilités d'y intégrer des paramètres biogéochimiques (matière en suspension, mobilité des sols, transparence, visibilité).

Le projet PROTEVS est scindé en 5 axes. Le premier axe est lié aux améliorations des outils numériques de modélisation et à des études de processus permettant d'améliorer notre connaissance et la représentation de la physique des interfaces entre modules dynamiques, biochimiques et géochimiques. Le second axe concerne le recueil de données pour la validation des modèles numériques, en particulier la réalisation de campagnes à la mer. Le troisième axe concerne l'acquisition de moyens de calculs nécessaires à la réalisation des maquettes numériques prévues dans le cadre du programme. Le quatrième axe est lié aux modules d'assimilation de données. Le cinquième axe concerne la mise en place et la validation des démonstrateurs prévus dans le cadre de ce PEA.

L'étude se rattache au premier axe du cadre PROTEVS et vise plus particulièrement l'amélioration de la prédiction de marée dans un environnement contraint comme un estuaire.

3. OBJET DE L'ETUDE

L'objet général de l'étude consiste à étudier la marée dans un environnement estuarien à améliorer sa modélisation avec le modèle HYCOM utilisé dans le cadre du PEA PROTEVS.

L'approche retenue est de comparer les résultats du modèle HYCOM avec un modèle aux éléments finis qui a fait ses preuves pour la modélisation de la marée dans les environnements où la topographie est complexe, dans un premier temps dans une configuration simplifiée puis dans une configuration réaliste. Les enjeux principaux sont de bien représenter et comprendre la déformation de la marée qui se produit dans les estuaires ainsi que d'établir les règles de choix des paramètres essentiels susceptibles de contrôler la marée estuarienne (pente du lit du fleuve, frottement sur le fond, débit fluvial, etc...). L'évaluation des modèles se fera avant tout par comparaison avec les mesures in situ.

4. ETAT DE L'ART

Dans des régions dynamiques comme celles du plateau continental de l'Atlantique le long des côtes françaises, les sources d'erreurs modèle majeures provenant de la bathymétrie, des conditions aux limites et du frottement sur le fond ont fait ressortir l'importance de la représentation des processus physiques liés à la dynamique des masses d'eau au voisinage du fond (Boutet M., 2015[2], Mathisen P.P et al, 1996 [10], Soulsby R.L et al 1983 [12], 1995 [13]). Transposé à un estuaire, la fonction de rugosité, variable selon la nature du fond ou en fonction du temps, fait partie des paramètres importants à étudier et à adapter dans les modèles. Ce sera une difficulté de l'étude.

De récentes paramétrisations utilisées dans les modèles de marée offrent des résultats intéressants en termes de prédiction des hauteurs d'eau (Boutet 2015 [2], Lahaye S et al. 2011 [6], Le Bars Y, 2010 [7]). Cependant, des phénomènes physiques présents dans ces modèles sont encore difficiles à isoler et à modéliser, notamment le terme de dissipation lié à la friction de fond et les interactions non linéaires entre ondes de marée. Ces erreurs limitent la précision des hauteurs d'eau calculées mais aussi la capacité à estimer d'autres paramètres comme les hauteurs d'eau minimale et maximale instantanées, l'évolution du bouchon vaseux ou le transport de matières organiques.

La marée dans un environnement de haute variabilité spatiale pose la question de la représentativité des mesures ponctuelles utilisées pour contraindre le modèle ou le valider. C'est, entre autres, l'analyse de la qualité du jeu de données et une réflexion sur leurs utilisations qui sont à mener dans un objectif d'amélioration de la modélisation de la marée.

Les développements publiés sur les modèles de marée en estuaire sont en majorité des études qui s'appuient sur une marée barotrope (Simon 2007 [14], Fortunato A, et al. 1994 [5]), Y. Le Bars 2010 [7], Laborie V., [4]). Le développement du modèle 2DH est traité dans cette étude car il est identifié comme une étape au préalable nécessaire pour avancer progressivement dans la paramétrisation de la dynamique de marée en milieu fortement contraint, comme un estuaire. L'étude de la propagation de la marée barocline en estuaire est une perspective d'amélioration de la prédiction et prévision (Le Hir P. et al. 2012 [9]).

5. DESCRIPTION DETAILLEE DU BESOIN

5.1. Tâche 1 : Mise en place d'une configuration barotrope en estuaire simplifié

Cette première tâche a pour objet de définir et mettre en place une configuration d'estuaire simplifié. Elle comportera les actions suivantes :

- Définir la configuration et ses principales caractéristiques ;
- Mettre en place la configuration avec HYCOM sous la forme d'une grille cartésienne régulière puis sous forme d'une grille curvilinéaire ;
- Mettre en place la configuration avec un modèle aux éléments finis ;
- Mettre en place une comparaison modèle-données pertinente au regard de la configuration simplifiée ;
- Déterminer la grille HYCOM la plus pertinente (régulière ou curvilinéaire).

Les grilles du modèle HYCOM seront à construire par le titulaire à partir des outils disponibles au Shom (ex: générateur de maillage, construction de grille HYCOM codé en Fortran). Deux types de grilles HYCOM seront mises en place : La grille cartésienne et la grille curvilinéaire, afin de définir une géométrie de grille optimale pour une prédiction de marée dans un milieu formé de méandres par petits fonds. La discrétisation de la grille définie dans cette tâche, sera utilisée pour la suite de l'étude. Le fleuve est à idéaliser par une forme simplifiée de sinusöide et une pente lissée de la topographie, représentant la pente du lit du fleuve. La simulation Hycom sera réalisée par le Shom à partir de la configuration fournie par le titulaire. En parallèle, une simulation réalisée à partir d'un modèle en éléments finis sera mise en place par le titulaire pour fournir une autre source de référence en matière de représentativité de la dynamique de la marée. Celle-ci devra être définie sur une configuration similaire à celle conditionnant la simulation HYCOM.

Les limites du modèle, à l'embouchure du fleuve, sont à caractériser par une frontière ouverte où la marée est prescrite. L'amont fluvial du modèle sera construit pour garantir l'amortissement total de l'onde de marée et ainsi permettre de prescrire un débit fluvial indépendant de la dynamique de l'estuaire. Cette condition sera réalisée en imposant une pente suffisante de la surface libre fluviale moyenne à l'extrémité amont du fleuve, qui dans les conditions réelles constitue souvent le moteur principal de l'amortissement des ondes de marée.

D'autre part, les atlas de marée disponibles sur les régions d'études et, en général à l'échelle du globe, sont souvent issus de modèles en éléments finis. C'est pourquoi, la grille du modèle d'estuaire devra pouvoir être interfacée avec une grille en éléments finis. L'idée est de pouvoir transférer de l'information entre une grille structurée et une grille non structurée. Les champs de forçages prescrits au modèle devront pouvoir être facilement transposables de la grille d'origine du forçage vers la grille en estuaire du modèle HYCOM. La mise en relation d'un modèle de marée en éléments finis avec le modèle HYCOM est un passage nécessaire pour prescrire une information de transport de marée ajustée au gradient de bathymétrie et au trait de côte.

Les écarts entre les résultats du modèle numérique de marée et la dynamique locale seront quantifiés à partir de l'analyse des mesures in situ. Les demandes de récupération des données du débit fluvial, seront effectuées par le titulaire, en adéquation avec la modélisation concernée dans cette étude. Lorsque nécessaire, cette démarche sera menée en concertation avec le Shom et avec son appui. Les observations disponibles lors de la réalisation de l'étude serviront de référence. Elles apporteront l'information sur la hauteur d'eau, le courant ou le débit, selon la nature de ces mesures. A défaut d'obtention des données requises (problème de disponibilité), la conduite à tenir sera définie en concertation avec le Shom (choix d'un autre observatoire ou abandon du traitement.)

Livrables:

-
- La description de la géométrie du modèle simplifié.
 - Les 2 grilles HYCOM cartésienne régulière et curvilinéaire, en estuaire simplifié.
 - Les résultats du modèle en éléments finis, dans la même configuration d'estuaire simplifié (simulation réalisée par le titulaire).

Un rapport de synthèse de fin de tâche sera rédigé et regroupera l'ensemble des travaux réalisés :

- La méthodologie des traitements et les données traitées.
- Synthèse de la quantification de l'erreur (modèle Hycom et éléments finis) pour les simulations réalisées
- Synthèse des paramètres ajustés pour le modèle dynamique sur le modèle Hycom.

Un outil adapté à la génération de grilles complexes est un prérequis.

5.2. Tâche 2 : Déformation de l'onde de marée en fonction du débit fluvial en estuaire simplifié

L'objet de cette tâche est d'étudier la déformation de l'onde de marée en fonction du débit fluvial ainsi que sa modélisation avec HYCOM en comparaison avec le modèle aux éléments finis.

La sensibilité de la propagation de l'onde de marée face à une perturbation due au débit fluvial, ainsi qu'à la pente de sa surface libre, doit permettre de progresser sur la question de la prédiction de la marée en milieu estuarien. Cette tâche doit être réalisée sur le modèle défini en tâche 1 de l'étude.

A la manière des courbes de tarage, les courbes d'élévation seront tracées en fonction du débit du fleuve. Une rivière présente une courbe de tarage linéaire. En estuaire, cette courbe n'est plus univoque. La relation entre élévation et débit n'est pas la même à marée montante ou descendante. L'étude comprendra une approche de la sensibilité du modèle à l'élévation prescrite à partir d'une élévation, issue de la mesure marégraphe et de la variation d'élévation due au fleuve. L'étude se limitera aux conditions de crue et d'étiage. L'application des résultats de l'étude de sensibilité du modèle simplifié aux conditions de débit fluvial en crue et en étiage, portera sur un forçage par un débit réel du fleuve. En amont fluvial, appliquer une pente significative de la surface libre du fleuve (de l'ordre de 1 m pour 50 km) permettra de garantir l'amortissement total de l'onde de marée. Cela permettra la prescription d'un débit fluvial indépendant de la dynamique de l'estuaire

Cette tâche appelle l'étude de la variation temporelle du débit du fleuve, du marégraphe et du modèle. Le problème à traiter tient donc, en partie, dans la reconstruction de séries temporelles dans le cas du forçage de flux d'eau douce par un jeu de données réelles.

Livrables :

- Les champs de forçage de marée en condition de mortes eaux, de vives eaux, interfacés pour le modèle HYCOM en estuaire, sur la grille de calcul qui aura été sélectionnée au cours des tâches précédentes (cartésienne régulière ou curvilinéaire).
- Les résultats des tests de déformation de l'onde de marée en fonction du débit du fleuve et des conditions de marnage de marée (vives et mortes eaux). Comparaison aux mesures marégraphiques disponibles.
- La comparaison des simulations HYCOM avec les simulations du modèle en éléments finis, opérés dans les mêmes conditions de simulations.
- Un rapport d'étude.

5.3. Tâche 3 : Prise en compte du frottement en estuaire simplifié

5.3.1. Paramétrisation de la friction de fond

L'objet de cette tâche est de proposer une démarche pour optimiser la friction de fond dans le cas d'un estuaire.

Le calage des termes responsables de l'amortissement des ondes et de la génération d'harmoniques supérieures est un élément essentiel de cette étude. L'enjeu est ici de séparer la part de la physique résolue explicitement par le modèle de ce qui ne peut l'être et doit en conséquence être paramétré dans le cas de résolutions allant de l'ordre de 10 m à 1 km. Or, dans un modèle 2DH, le coefficient de frottement de fond (C_d) synthétise les effets diffusifs verticaux (turbulence) et les effets de friction sur le fond. La transposition d'un C_d 2D vers une dynamique réaliste reste une question complexe. Dans la pratique, ce paramètre reste essentiellement empirique et constitue alors un paramètre critique de calibration du modèle, qui contrôle l'essentiel de la dissipation d'énergie de marée. Des considérations liées à la nature du fond et à sa topologie peuvent être employées pour le déterminer.

Pour apporter une réponse à la question de la représentativité du C_d ajusté dans un modèle 2DH, un test de calage de ce coefficient de friction sera réalisé à partir de simulations spectrales, mises en œuvre par le titulaire. En effet, l'approche spectrale en estuaire semble être efficace lorsque les ondes principales de marée sont étudiées (ex : M2, S2) (Chevalier L., 2014 [3], Le Bars 2010 [7]). Le potentiel avantage des simulations spectrales de marée tient en partie au fait que la diffusion horizontale n'est pas nécessaire à la stabilité du solveur et donc peut être librement prescrite. Une fois l'étape de calage effectuée, les simulations séquentielles devraient apporter le raffinement attendu pour cette étude tout en reprenant les paramètres C_d calés sur les simulations spectrales. Disposer d'une méthode ou d'un programme qui permettraient d'automatiser cette recherche évolutive de C_d pour arriver à l'équilibre dynamique sera apprécié. Les tests développés exploiteront la configuration d'un estuaire simplifié, défini dans la première tâche de l'étude. La tâche doit pouvoir conclure sur la meilleure stratégie à déployer pour la construction des jeux initiaux du paramètre C_d (méthodes spectrales ou pas).

Livrables

- Un rapport détaillant la méthodologie de la mise en œuvre de l'optimisation du frottement sur le fond.
- Les jeux de données nécessaires à la mise en œuvre de la paramétrisation du paramètre C_d .
- Les jeux de coefficients (C_d) testés et optimisés pour la configuration simplifiée, définie pour l'étude.
- Un rapport d'étude pour cette tâche sur la prise en compte du frottement dans le modèle simplifié.

5.3.2. Paramétrisation de la friction horizontale

Cette tâche a pour objet de déterminer l'impact du frottement horizontal dans la dynamique de marée en domaine estuarien.

Considérant que la diffusion horizontale dans un modèle joue un rôle dans la stabilité numérique, la difficulté consiste à l'ajuster de manière réaliste. Ce rôle de stabilisation numérique dépend des schémas numériques des modèles mais la diffusion est un terme qui se retrouve dans toute la dynamique (Bennis A-C et al, 2016 [1]). La variabilité spatiale de la friction de fond et sa modulation par le débit fluvial seront à évaluer dans cette étude.

On s'interrogera sur la contribution de la diffusion horizontale sur la déformation d'une onde de marée et la génération d'harmonique. Dans les sections fluviales de l'estuaire, les effets diffusifs horizontaux ont un impact sur l'écoulement lié au cisaillement entre les berges et le centre du chenal, et rien ne garantit qu'une paramétrisation standard soit adaptée pour des résolutions horizontales souvent plus fines que celles rencontrées usuellement en modélisation côtière. En effet, il n'est pas trivial de choisir entre une condition aux limites de la diffusion horizontale, free slip, no slip ou encore basée sur la paramétrisation du frottement latéral.

Dans les sections les plus contraintes (estuaire supérieur), la diffusion horizontale peut également activement amortir l'onde de marée, éventuellement de façon excessive. Cette diffusion horizontale, lorsqu'elle est explicite, dépend de la formulation physique utilisée, mais elle est également fortement conditionnée par sa condition aux limites latérales qui s'exprime soit par un frottement latéral explicite, soit par une condition de glissement ou de non-glissement. Dans la pratique, la condition aux limites latérales du modèle la plus adaptée pour cette étude sera formulée à l'issue de cette tâche. Elle constitue un paramètre critique de calibration du modèle, qui contrôle pour partie la dissipation d'énergie de marée. Des considérations liées à la nature du fond et à sa topologie peuvent être employées pour estimer la friction horizontale et la condition aux limites latérales du modèle.

Livrable

Un rapport détaillant la méthode et les résultats des simulations mises en œuvre pour analyser l'effet de la paramétrisation de la friction latérale sur la dynamique du modèle en estuaire.

5.3.3. Prise en compte de la nature du fond sur le frottement

L'objet de la tâche est d'examiner l'intérêt de choisir un coefficient de frottement en fonction de la nature des fonds.

Actuellement, dans le modèle HYCOM, la tension de fond est formulée à l'aide d'une fonction quadratique dépendante d'un coefficient de frottement de fond. Elle peut être paramétrée à partir de la variation spatiale de ce coefficient (Cd). L'enjeu est alors de relier la nature du fond à la valeur d'un coefficient de frottement de fond. Il s'agit d'optimiser la paramétrisation du frottement de fond par la valeur du Cd, variable le long de l'estuaire. Un travail d'optimisation et de recherche de la nature du fond dans l'estuaire sera à proposer. L'expertise de l'équipe de sédimentologie au Shom apportera sa connaissance sur la nature des fonds et la friction de fond en estuaire.

Livrables

- Les coefficients de frottement de fond Cd le long de l'estuaire,
- Les tableaux de friction de fond déduite du coefficient de frottement local,
- Un rapport contenant a minima (1) les résultats de validation harmonique des simulations obtenues avec différentes paramétrisations du coefficient de frottement en fonction de la nature du fond de l'estuaire, (2) la comparaison des simulations HYCOM avec celles issues d'un modèle en éléments finis.

5.4. Tâche 4 : Modèle d'estuaire en estuaire réaliste

Cette tâche consiste à mettre en place puis analyser une configuration réaliste de l'estuaire de la Gironde.

La configuration sera réalisée en mode barotrope.

La bathymétrie et le trait de côte les plus à jour seront utilisés. La friction de fond sera calibrée suivant la méthode qui aura été choisie en tâche 5.3.

On cherchera l'information sur la nature du fond du fleuve la plus réaliste possible et disponible. Celle-ci pourra provenir du Shom (T. Garlan et al.) ou être proposée par le titulaire. Elle sera recherchée et exploitée par le titulaire pour cette tâche.

Le référencement vertical du fond de l'estuaire par rapport à un ellipsoïde sera à réaliser en calculant les écarts entre la pente du niveau moyen et un géoïde choisi pour l'étude. Pour qu'il y ait un écoulement du fleuve, la surface libre de la rivière doit présenter une pente par rapport au géoïde.

Une stratégie du traitement de la marée à la frontière Est (amont du fleuve) du modèle devra être proposée. Elle sera discutée avec le Shom avant sa mise en œuvre dans le modèle HYCOM en condition de forçages réalistes.

Si un modèle spectral de marée est utilisé pour cette étude, il devra être interfaçable avec le modèle Hycom.

La bathymétrie conditionne fortement l'amplitude et la phase d'une onde de marée, la dissipation et la génération d'harmoniques. Lorsque la dynamique est intégrée sur toute la longueur d'un estuaire, l'impact des erreurs de bathymétrie est du premier ordre et reste difficile à distinguer de celui d'autres paramètres tel que le frottement de fond (Cd). L'effet de la nouvelle paramétrisation de ce coefficient sur la performance globale du modèle devra être évalué.

Les résultats du modèle, en conditions réalistes, seront comparés aux jeux de données existants afin de chercher à valider le modèle de propagation de la marée. La question de l'injection de la mesure dans le modèle sera abordée afin d'estimer la capacité à mettre en place une configuration test avec assimilation de mesures de hauteurs d'eau et de courant.

Livrables

- Le modèle HYCOM barotrope (2DH) en configuration fluviale réaliste; modèle projeté sur le niveau de référence verticale.
- Les champs de forçages : bathymétrie actualisée pour les besoins de l'étude, forçage de marée aux frontières dont la limite amont du modèle (limite fluviale) et autres champs utiles à la simulation.
- Un rapport d'étude sur l'écart de hauteur entre un ellipsoïde de référence, le géoïde le long du fleuve et l'expression des résultats du modèle HYCOM par rapport au niveau moyen et par rapport à un géoïde référencé sur ellipsoïde.
- Si utilisé, le solveur spectral de la marée devra être interfaçable avec le modèle HYCOM. Les interfaces Fortran des développements seront vérifiées en utilisant le compilateur INTEL (dont intel64).
- Le jeu de paramètres de frottement de fond optimisés pour l'estuaire en condition réaliste.
- Les résultats des simulations pour différentes conditions de marée et de débits fluviaux, définis en tâche 5.2, pour le modèle HYCOM et le modèle en éléments finis.
- Un rapport de validation et un manuel utilisateur des méthodes, programmes et scripts.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. A.-C. Bennis, F. Dumas, B. Blanke, Modulation of wave current interactions by horizontal mixing and spatial resolution *Ocean Modelling* 99 (2016) 75–85.
2. Boutet M., Estimation du frottement sur le fond pour la modélisation de la marée barotrope ; Doctorat UBO, 2015.
3. Chevalier L. Caractérisation et modélisation de la variabilité hydrologique de l'estuaire de Seine dans le cadre de la future mission spatiale SWOT, 2014, thèse de l'Université Rouen et LEGOS.
4. Laborie V. et al.; *The Hydrodynamic, sea-state and infrastructures platform developed by Saint-Venant Hydrolics Lab. And Cerema : A special focus on the Telemac2D surge levels numerical model of the Atlantic Ocean, the Channel and the North Sea* ; STFC Daresbury Lab., UK, 13-16 Oct. 2015.
5. Fortunato, A., Baptista, A., 1994. Localized sigma coordinates for vertical structure of hydrodynamic models. In: Proceedings of the Third International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, New York.
6. Lahaye, S., F. Gouillon, R. Baraille, A. Pichon, L. Pineau-Guillou, et Y. Morel (2011), A numerical scheme for modeling tidal wetting and drying, *Journal of Geophysical Research : Oceans (1978–2012)*, 116 (C3).
7. Le Bars Y., 2010, Modélisation de la dynamique océanique barotrope dans l'estuaire et le plateau amazoniens. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. 196p.
8. Kazantsev E., Optimized boundary conditions at staircase-shaped coastlines. *Ocean Dynamics*, Springer Verlag, 2015, 65 (1), pp.49-63. <10.1007/s10236-014-0780-z> <hal-00952847>
9. Le Hir P. & Lafite R., 2012, Rapport Seine Aval 4. MODEL – Modélisation validée de l'hydro-morpho-sédimentologie, base physique d'une modélisation environnementale de l'estuaire de la Seine.
10. Mathisen, P. P., and O. S. Madsen (1996), *Waves and currents over a fixed rippled bed: 1. Bottom roughness experienced by waves in the presence and absence of currents*, *J. Geophys. Res.*, 101(C7), 16533–16542, doi:10.1029/96JC00954.
11. Morel, Y., R. Baraille, et A. Pichon (2008), Time splitting and linear stability of the slow part of the barotropic component, *Ocean Modelling*, 23 (3), 73–81.
12. R.L. Soulsby, A.G. Davies, R.H. Wilkinson. The detailed processes of sediment transport by tidal currents and by surface waves. Institute of Oceanographic Sciences. Resp, no 152, 80 pp.
13. Soulsby, R.L., 1995. Bed shear stresses due to combined waves and currents. In: Stive, M., Fredsøe, J., Hamm, L., Soulsby, R., Teisson, C., Winterwerp, J. (Eds.), *Advances in Coastal Morphodynamics*. Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands, pp. 420–423.
14. Simon, B. (2007), *La marée océanique côtière*, 443 pp., Institut océanographique.

7. BESOINS RELATIFS A L'ORGANISATION DE L'ETUDE

Besoins relatifs à la conduite de projet

Le suivi du projet sera assuré par un comité de pilotage composé comme suit :

- **Par le Shom** : le responsable technique et toute autre personne invitée en fonction des sujets traités ;
- **Par le titulaire** : le chef de projet, et toute autre personne invitée en fonction des sujets traités.

1	Le titulaire détaillera l'organisation retenue pour la réalisation de l'étude (équipe projet, etc.), ainsi que l'organisation prévue pour les échanges d'informations (format, fréquence des réunions d'avancement).
---	--

7.1 Besoins relatifs à la conduite de projet

2	Une réunion de lancement, une ou plusieurs réunion(s) intermédiaire(s) ainsi qu'une réunion de clôture seront organisées.
3	Les réunions de lancement et la réunion de clôture se dérouleront à Brest dans les locaux du Shom. Les réunions intermédiaires pourront se dérouler par des moyens de télécommunications adaptés (réunion téléphonique, visioconférence), après accord du Shom. Une proposition d'ordre du jour de ces réunions est diffusée au responsable étatique au minimum 3 jours avant la date de la réunion.
4	Le titulaire rédigera les comptes rendus de ces réunions dans un délai n'excédant pas 15 jours ouvrés après la date de la réunion
5	Le titulaire présentera au Shom les résultats de l'étude sous la forme d'un exposé de synthèse.

7.2 Besoins relatifs à la gestion de la documentation

6	Les documents accessibles sous forme numérique seront regroupés et fournis dans un format PDF et format bureautique ODT ou office/WORD.
7	Les circuits de visa pour prise en compte des commentaires du Shom avant validation officielle seront réalisés par voie électronique

7.3 Citations et besoins relatifs à la confidentialité

8	La publication des résultats dans des conférences et dans des journaux à comité de lecture est fortement encouragée. Les publications relatives au présent contrat de recherche devront alors clairement mentionner le support financier de la DGA dans les remerciements. La contribution du Shom devra également apparaître.
9	L'ensemble des documents transmis au titulaire ne peut être transmis ou

	communiqué sans l'autorisation expresse du Shom.
10	Propriété intellectuelle : Le résultat du contrat générera des résultats dont le titulaire, le SHOM et le Ministère de la Défense ne disposeront pas de la propriété intégrale : les résultats seront partagés par les deux parties
11	<p>Droit de la personne publique : Le Shom et le Ministère de la Défense ont le droit d'utilisation, c'est-à-dire de développer, rédiger des objets, ouvrages ou matériels conformes aux résultats des prestations ou à des éléments de ces résultats.</p> <p>Le Shom et le Ministère de la Défense peuvent communiquer à des tiers les résultats des prestations, notamment les dossiers d'études, rapports d'essais, documents et renseignements de toute nature provenant de l'exécution du contrat. Le Shom s'engage à imposer aux tiers de tenir confidentiels les résultats communiqués et à leur préciser que cette communication ne constitue pas une divulgation au regard de la législation sur les brevets.</p> <p>Le Shom et le Ministère de la Défense peuvent publier les résultats des prestations ; cette publication doit mentionner le titulaire.</p>
12	<p>Droit du titulaire : Le titulaire peut publier les résultats des prestations, après accord préalable et écrit du Shom.</p> <p>Sous réserve de prescriptions éventuelles relatives au secret des prestations et de leurs résultats, le titulaire peut publier les résultats des prestations après accord préalable et écrit du Shom; cette publication doit mentionner que l'étude a été cofinancée par le Shom.</p>
13	<p>Brevet - Exploitation commerciale</p> <p>Le présent contrat ne donne pas lieu à dépôt de demandes de brevet au profit du Shom ou du titulaire. Si toutefois une demande de brevet devait être déposée, elle ferait l'objet d'une négociation entre les deux parties.</p>

8. LIEU ET DUREE DE L'ETUDE

L'étude sera réalisée dans les locaux du titulaire. Cependant, une interaction forte avec le Shom est souhaitable et des déplacements sur le site du Shom de Brest sont à prévoir.
Le délai maximal d'exécution de l'étude est de 24 mois à compter de la notification.

9. ANNEXE : FORMATS DES DONNES ET FICHIERS DE L'ETUDE

Ascii, Netcdf, binaires et grid seront les formats utilisés pour l'étude. Ce sont les formats classiquement exploités pour les données et les variables du modèle. Les langages fortran et python seront privilégiés. Les développements en Fortran seront vérifiés en utilisant le compilateur INTEL (dont intel64).