

EDF R&D

LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENT

SIMULATION MULTIDIMENSIONNELLE ET MODELISATION PHYSIQUE EN HYDRAULIQUE FLUVIALE ET MARITIME

6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

7 février 2013

Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D

Chi-tuân PHAM

Sébastien BOURBAN

HR Wallingford

Noémie DURAND

HR Wallingford

Michael TURNBULL

HR Wallingford

H-P74-2012-02534-FR	1.0		
<p>De nombreuses études d'ouvrages côtiers modélisent la marée grâce à des simulations numériques. À partir de la version 6.1 de TELEMAC-2D, des développements ont été intégrés afin de pouvoir traiter la modélisation de la marée pour deux raisons :</p> <ul style="list-style-type: none"> - proposer des sous-programmes pour traiter la marée dans la version standard de TELEMAC de la manière la plus automatique possible, ce qui facilite le lancement des simulations et permet de limiter le risque d'erreurs potentielles ; - fournir à la communauté des utilisateurs de TELEMAC une base de constantes harmoniques de marée gratuite. <p>La version 6.2 de TELEMAC (2D et 3D) permet l'utilisation de trois bases de constantes harmoniques. Elles incluent l'atlas régional NEA (pour North East Atlantic), réalisé par NOVELTIS/LEGOS qui couvre la partie nord-est de l'Atlantique, de la Mauritanie au sud de la Norvège, ainsi que la solution globale de marée TPXO et d'autres solutions régionales ou locales provenant de l'Université de l'État de l'Oregon ou Oregon State University (OSU). Elles fournissent à la fois des hauteurs d'eau et les composantes horizontales de vitesse des constantes harmoniques avec une résolution spatiale plutôt bonne.</p> <p>À l'intérieur de la présente note sont notamment décrits les trois ensembles de bases de constantes harmoniques actuellement disponibles dans la version 6.2 de TELEMAC (2D et 3D), les développements menés sur TELEMAC pour chacune des bases de constantes harmoniques et les mots-clés utiles pour la simulation de la marée avec TELEMAC.</p> <p>Ce document constitue un guide méthodologique pour les études avec modélisation de la marée avec TELEMAC-2D ou TELEMAC-3D en version 6.2. Ce livrable a été réalisé dans le cadre du projet PHE (P10VU).</p>			

EDF R&D

NATIONAL HYDRAULICS AND ENVIRONMENT LABORATORY
 NUMERICAL AND PHYSICAL MODELLING IN RIVER AND COASTAL HYDRODYNAMICS
 6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

February 7 2013

Methodology to model tides with version 6.2 of TELEMAC-2D and TELEMAC-3D

Chi-tuân PHAM

Sébastien BOURBAN

HR Wallingford

Noémie DURAND

HR Wallingford

Michael TURNBULL

HR Wallingford

H-P74-2012-02534-FR	1.0		
----------------------------	------------	--	--

Many studies of waterworks use numerical modelling of tides. Since version 6.1 of TELEMAC-2D, some developments have been integrated in order to deal with modelling of tides for two reasons:

- to propose some subroutines to deal with tides in the most automatic way as possible in the standard version of Telemac-2D. This may facilitate calculations and may also decrease the number of potential errors,
- to supply a database of harmonic constants to the community of TELEMAC users for free.

The version 6.2 of TELEMAC (2D and 3D) enables the use of three databases of harmonic constants. These include the regional NEA atlas (North East Atlantic), processed by NOVELTIS/LEGOS, which covers an area from Mauritania to the south of Norway, as well as the TPXO global tidal solution and other regional or local solutions from Oregon State University (OSU). They provide the water depths and horizontal velocity components of harmonic constants with a quite good spatial resolution. In this report, the three sets of databases of harmonic constants currently available in the version 6.2 of TELEMAC (2D and 3D) are described, as well as the developments carried out in TELEMAC for each database and the keywords to model tides in TELEMAC.

This document is a manual for studies modelling tides with the version 6.2 of TELEMAC 2D and 3D. This deliverable was carried out in the frame of the PHE project (P10VU).

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
--------------------	---	--

AVERTISSEMENT / CAUTION

L'accès à ce document, ainsi que son utilisation, sont strictement limités aux personnes expressément habilitées par EDF.

EDF ne pourra être tenu responsable, au titre d'une action en responsabilité contractuelle, en responsabilité délictuelle ou de toute autre action, de tout dommage direct ou indirect, ou de quelque nature qu'il soit, ou de tout préjudice, notamment, de nature financière ou commerciale, résultant de l'utilisation d'une quelconque information contenue dans ce document.

Les données et informations contenues dans ce document sont fournies "en l'état" sans aucune garantie expresse ou tacite de quelque nature que ce soit.

Toute modification, reproduction, extraction d'éléments, réutilisation de tout ou partie de ce document sans autorisation préalable écrite d'EDF ainsi que toute diffusion externe à EDF du présent document ou des informations qu'il contient est strictement interdite sous peine de sanctions.

The access to this document and its use are strictly limited to the persons expressly authorized to do so by EDF.

EDF shall not be deemed liable as a consequence of any action, for any direct or indirect damage, including, among others, commercial or financial loss arising from the use of any information contained in this document.

This document and the information contained therein are provided "as are" without any warranty of any kind, either expressed or implied.

Any total or partial modification, reproduction, new use, distribution or extraction of elements of this document or its content, without the express and prior written consent of EDF is strictly forbidden. Failure to comply to the above provisions will expose to sanctions.

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Synthèse

De nombreuses études d'ouvrages côtiers modélisent la marée grâce à des simulations numériques. Pour les besoins d'EDF, on peut citer par exemple :

- les études d'impact thermique des rejets des centrales de production d'énergie sur l'environnement ;
- les études de transport de colmatants de circuits de refroidissement (algues, sable, groseilles de mer...), de nappes d'hydrocarbures ou d'effluents ;
- les études de caractérisation des courants de marée et d'estimation du productible de parcs d'hydroliennes...

Avant la version 6.1 de TELEMAC-2D, les utilisateurs de TELEMAC souhaitant modéliser la propagation de la marée devaient développer leurs propres traitements de calcul de conditions aux limites de marée (variables en temps et en espace) dans le sous-programme BORD (à partir de séries temporelles d'élévation de surface libre ou de bases de constantes harmoniques de marée), éventuellement en reproduisant des sous-programmes Fortran pour TELEMAC-2D déjà utilisés pour des études précédentes. Un certain nombre de modifications étaient nécessaires à chaque simulation suivant le type de marée à simuler, ce qui était susceptible de faire apparaître des erreurs. En outre, la procédure pour générer les constantes harmoniques n'était pas très simple.

À partir de la version 6.1 de TELEMAC-2D, des développements ont été intégrés afin de pouvoir traiter la modélisation de la marée pour deux raisons :

- proposer des sous-programmes pour traiter la marée dans la version standard de TELEMAC de la manière la plus automatique possible, ce qui facilite le lancement des simulations et permet de limiter le risque d'erreurs potentielles ;
- fournir à la communauté des utilisateurs de TELEMAC des bases de constantes harmoniques de marée gratuites ou à accès sous conditions.

Une méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec TELEMAC-2D en version 6.1 a été rédigée. Depuis la version 6.1 de TELEMAC-2D, les utilisateurs peuvent ainsi utiliser une base de constantes harmoniques pour calculer les conditions aux limites de modèles locaux dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique.

La version 6.2 de TELEMAC (2D et 3D) permet en plus l'utilisation d'autres bases de constantes harmoniques sur des domaines plus grands. Ces bases de données incluent l'atlas régional NEA (pour North East Atlantic), réalisé par NOVELTIS/LEGOS, qui couvre la partie nord-est de l'Atlantique, de la Mauritanie au sud de la Norvège, ainsi que la solution globale de marée TPXO et d'autres solutions régionales ou locales provenant de l'Oregon State University (OSU).

Les trois bases de constantes harmoniques actuellement utilisables dans la version 6.2 de TELEMAC (2D et 3D) sont décrites dans la présente note. Les développements réalisés dans TELEMAC pour chacune des bases de constantes harmoniques sont explicités. Ces bases de données fournissent à la fois les hauteurs d'eau et les composantes horizontales de vitesse des constantes harmoniques avec une résolution spatiale plutôt bonne. En particulier, l'atlas NEA permet de traiter 47 composantes harmoniques pour sa solution hydrodynamique *a priori* et 15 composantes harmoniques pour sa solution assimilée avec des observations satellitaires. Les solutions proposées par l'OSU permettent de traiter environ 11 composantes harmoniques pour les solutions couvrant les côtes françaises par exemple.

Ce document constitue un guide méthodologique pour les études avec modélisation de la marée avec TELEMAC-2D ou TELEMAC-3D en version 6.2.

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Sommaire / Summary

PAGE DE GARDE	I
FRONT PAGE	II
CIRCUIT DE VALIDATION	III
PRE-DIFFUSION	III
LISTE DE DIFFUSION	IV
AVERTISSEMENT / CAUTION	1
SYNTHÈSE	2
SOMMAIRE / SUMMARY	3
1. INTRODUCTION	5
2. ÉLÉMENTS DE THEORIE UTILISES POUR MODELISER LA MAREE	5
2.1. LES COURANTS DE MAREE	5
2.2. MISE EN EQUATIONS.....	6
2.3. BASES DE CONSTANTES HARMONIQUES DISPONIBLES.....	7
2.3.1. <i>Modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique (JMJ)</i>	7
2.3.2. <i>Atlas Nord-Est Atlantique du LEGOS (NEA)</i>	8
2.3.3. <i>La solution globale TPXO et les solutions régionales et locales de l'Oregon State University (OSU)</i>	9
2.4. SIMULATION DE MAREES « REELLES », A PARTIR D'UN JOUR PRECIS DU CALENDRIER	10
2.5. SIMULATION DE MAREES TYPES.....	10
2.6. SIMULATION AVEC LE MODULE TPXO	11
3. APPLICATION DANS TELEMAR	12
3.1. SOUS-PROGRAMME DE COMMANDE TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D	13
3.2. SOUS-PROGRAMME DE GENERATION DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE BORD_TIDAL_BC14	
3.3. SOUS-PROGRAMMES POUR LE CALCUL DES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE BORD_TIDE ET BORD_TIDE_LEGOS.....	15
3.3.1. <i>Marées types avec BORD_TIDE</i>	16
3.3.2. <i>Marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, avec BORD_TIDE ou BORD_TIDE_LEGOS</i>	16
3.4. SOUS-PROGRAMMES DE CALCUL DE FACTEURS NODAUX POUR LES BASES JMJ ET NEA	16
3.5. SOUS-PROGRAMMES DE CONVERSION DE SYSTEMES GEOGRAPHIQUES.....	17
3.6. MODULE TPXO	17
4. FICHIERS D'ENTREE DU MODELE NUMERIQUE TELEMAR	18
4.1. FICHER DES PARAMETRES	18
4.1.1. <i>Paramètres généraux de marée</i>	19
4.1.2. <i>Parallélisme</i>	20
4.1.3. <i>Fichiers de données de marée</i>	20
4.1.4. <i>Origine des temps et conditions initiales</i>	20
4.1.5. <i>Coordonnées et système géographique</i>	21
4.1.6. <i>Coefficients de calage de la marée</i>	22
4.2. FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES	22
4.3. FICHER FORTRAN.....	22
4.4. FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE	22

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

5. MODE OPERATOIRE POUR GENERER LE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE.....	24
6. SIMULATION DE LA MAREE EN VERSION 6.2.....	27
7. QUELQUES ERREURS A NE PAS COMMETTRE	28
8. MOTS-CLES ET FICHIERS POUR L'UTILISATION DES DIFFERENTES BASES DE CONSTANTES HARMONIQUES	29
8.1. TOUTE BASE DE CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE	29
8.2. SOLUTIONS PROVENANT DE L'OSU	30
8.3. BASE JMJ	30
8.4. ATLAS NEA	30
9. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	31
10. REFERENCES	31
ANNEXE 1 : EXEMPLES DE SOUS-PROGRAMMES TIDAL_MODEL_T2D ET TIDAL_MODEL_T3D POUR UNE SIMULATION DE LA MAREE AVEC TELEMAC EN VERSION 6.2	33
ANNEXE 2 : EXEMPLE DE FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES	43
ANNEXE 3 : EXEMPLE DE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MARÉE POUR LA BASE JMJ.....	44
ANNEXE 4 : EXEMPLE DE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MARÉE POUR L'ATLAS NEA.....	45
ANNEXE 5 : EXEMPLE DE FICHER DES PARAMÈTRES POUR TELEMAC-2D	46

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Notation : dans l'intégralité de cette note, « TELEMAC » désignera indifféremment les logiciels TELEMAC-2D et/ou TELEMAC-3D.

1. Introduction

Avant la version 6.1 de TELEMAC-2D, les utilisateurs de TELEMAC souhaitant modéliser la propagation de la marée sur un domaine d'étude maritime ou à proximité d'un estuaire devaient développer leurs propres traitements de calcul de conditions aux limites de marée (variables en temps et en espace) dans le sous-programme `BORD` (à partir de séries temporelles d'élévation de surface libre ou de bases de constantes harmoniques de marée), éventuellement en reproduisant des sous-programmes Fortran pour TELEMAC-2D déjà utilisés pour des études précédentes. Un certain nombre de modifications étaient nécessaires à chaque simulation suivant le type de marée à simuler, ce qui était susceptible de faire apparaître des erreurs. En outre, la procédure pour générer les constantes harmoniques n'était pas très simple.

À partir de la version 6.1 de TELEMAC-2D, des développements ont été intégrés afin de pouvoir traiter la modélisation de la marée pour deux raisons :

- proposer des sous-programmes pour traiter la marée dans la version standard de TELEMAC de la manière la plus automatique possible (avec mots-clés), ce qui facilite le lancement des simulations et permet de limiter le risque d'erreurs potentielles ;
- fournir à la communauté des utilisateurs de TELEMAC des bases de constantes harmoniques de marée gratuites ou à accès sous conditions.

Une méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec TELEMAC-2D en version 6.1 a été rédigée [1]. Depuis la version 6.1 de TELEMAC-2D, les utilisateurs peuvent ainsi utiliser une base de constantes harmoniques pour calculer les conditions aux limites de modèles locaux dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique grâce à la base de constantes harmoniques dite de Jean-Marc Janin (JMJ).

La version 6.2 de TELEMAC permet en plus l'utilisation d'autres bases de constantes harmoniques sur des domaines plus grands. Ces bases de données incluent l'atlas régional NEA (pour North East Atlantic), réalisé par NOVELTIS/LEGOS, qui couvre la partie nord-est de l'Atlantique, de la Mauritanie au sud de la Norvège, ainsi que la solution globale de marée TPXO et d'autres solutions régionales ou locales provenant de l'Oregon State University (OSU).

Dans un premier temps, la théorie utilisée dans cette méthodologie pour modéliser la marée dans TELEMAC est présentée pour les différentes bases de données disponibles, notamment la possibilité de représenter des marées types ou des marées à partir d'un jour précis du calendrier (aussi appelées marées « réelles ») ; en outre les trois bases de constantes harmoniques utilisables en version 6.2 de TELEMAC sont décrites. Dans une deuxième partie, les développements réalisés dans TELEMAC en version 6.2 pour appliquer ces éléments de théorie de la marée sont explicités et les différents paramètres à renseigner pour une simulation de la marée avec TELEMAC sont décrits. Les sections 4, 5 et 6 décrivent les fichiers d'entrée de calculs TELEMAC de modélisation de la marée (en particulier la sous-section 4.1 décrit l'ensemble des mots-clés utilisés par cette méthodologie de modélisation de la marée) ainsi que les deux étapes de génération du fichier des constantes et de calcul des conditions aux limites de marée. Les deux dernières parties recensent quelques erreurs à éviter pour l'utilisation de cette base de données ainsi que les mots-clés et fichiers indispensables ou utiles pour l'utilisation des différentes bases de constantes harmoniques. Ce rapport indique en outre les développements envisagés pour les versions suivantes. Un exemple de cas test est fourni en version 6.2 de TELEMAC-2D et de TELEMAC-3D.

2. Éléments de théorie utilisés pour modéliser la marée

2.1. Les courants de marée

Les marées océaniques peuvent être considérées comme la superposition d'un ensemble d'ondes

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

élémentaires, appelées aussi composantes harmoniques, répertoriées en fonction de leur période approximative et de leur origine physique.

On distingue quatre types de composantes harmoniques :

- les ondes de longues périodes, mensuelles, semestrielles ou annuelles ;
- les ondes diurnes, dont la période est voisine de vingt-quatre heures ;
- les ondes semi-diurnes, ayant une période d'environ douze heures ;
- les ondes supérieures et composées de périodes quart-diurne, tiers-diurne...

Dans la plupart des cas, les ondes diurnes et semi-diurnes sont nettement prédominantes. Elles génèrent la forme générale des marées. Toutefois, dans les zones de faible profondeur, les ondes supérieures et composées peuvent jouer un rôle important.

On parle de marées de type semi-diurne lorsque les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers par jour, d'importances sensiblement égales. Ce type de marée est, par exemple, prépondérant en Atlantique et en Manche.

Les trois principales composantes harmoniques semi-diurnes sont :

- M2 ou onde lunaire principale, de période 44 714 s (12 h 25 min 14 s) ;
- S2 ou onde solaire principale, de période 43 200 s (12 h) ;
- N2 ou onde lunaire elliptique majeure, de période 45 570 s (12 h 39 min 30 s).

Les harmoniques d'ordre plus élevé peuvent résulter d'interactions non linéaires des ondes entre elles. Ainsi, l'interaction de l'onde M2 avec elle-même crée l'onde M4 ainsi qu'une résiduelle constante. L'onde M4, appelée première harmonique de M2, est une onde quart-diurne (de période 22 357 s = 6 h 12 min 37 s).

2.2. Mise en équations

La théorie utilisée pour représenter la marée dans TELEMAC en version 6.2 provient très majoritairement de Janin et al. [2] et de Schureman [3]. Le lecteur est notamment invité à lire ces ouvrages pour compléter la présente note.

Deux catégories de marées peuvent être simulées avec TELEMAC en version 6.2 :

- des marées types (uniquement pour la base de données dite de Jean-Marc Janin – JMJ) :
 - o marée de vive-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 110),
 - o marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95),
 - o marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70),
 - o marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45),
 - o marée de morte-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 30) ;
- des marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier.

NB : on appellera à partir de maintenant marée « réelle », une marée à partir d'un jour précis du calendrier.

La hauteur d'eau h et les composantes de vitesse horizontale U et V sont calculées de la manière suivante, au point M et au temps t :

$$F(M, t) = \sum_i F_i(M, t), \quad (1)$$

avec :

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

$$F_i(M, t) = A_{F_i}(M) \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} - \varphi_{F_i}(M)\right), \quad (2)$$

pour des marées types,

$$F_i(M, t) = f_i(t) A_{F_i}(M) \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} - \varphi_{F_i}(M) + u_i^0 + v_i(t)\right), \quad (3)$$

pour des marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier,

où la grandeur F désigne la hauteur d'eau h ou une des composantes de vitesse horizontale U ou V , i désigne l'onde considérée, T_i représente la période de l'onde, A_{F_i} désigne l'amplitude de la hauteur ou d'une des composantes de vitesse horizontale de l'onde (donnée dans le fichier des constantes harmoniques dans TELEMAC, voir la sous-section 4.4, ou directement interpolée), sa phase φ_{F_i} , $f_i(t)$ et $v_i(t)$ désignent les facteurs nodaux et u_i^0 désigne la phase à l'origine des temps pour la simulation (voir sous-section 2.4) pour des marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier. Pour des marées « réelles », la phase citée ci-dessus est directement la phase de l'onde donnée dans le fichier des constantes harmoniques dans TELEMAC. Pour des marées types, la phase est obtenue en sommant la phase donnée dans le fichier des constantes harmoniques et le déphasage donné dans le Tableau 1.

Les hauteurs et les vitesses de chaque onde considérée sont donc ensuite sommées pour obtenir les hauteurs d'eau et vitesses à imposer comme conditions aux limites du domaine :

$$- \quad h = \sum_i h_i - z_f + z_{\text{moy}}, \quad (4)$$

$$- \quad U = \sum_i U_i, \quad (5)$$

$$- \quad V = \sum_i V_i, \quad (6)$$

où z_f est la cote du fond et z_{moy} est un niveau pour caler les niveaux de mer (dans le même référentiel, par exemple en m CM – Cartes Marines –, MSL – Mean Sea Level – ou IGN69).

Les coefficients A_{F_i} et φ_{F_i} sont des constantes par rapport au temps et ne dépendent que de la position du point M . Ces valeurs, dont la qualité est très importante, sont très utilisées pour la modélisation de la propagation de la marée et des bases de constantes harmoniques existent pour différentes zones. Trois d'entre elles sont disponibles pour des calculs avec TELEMAC en version 6.2.

2.3. Bases de constantes harmoniques disponibles

2.3.1. Modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique (JMJ)

Jean-Marc Janin (JMJ) et Xavier Blanchard ont réalisé la simulation déterministe de la marée sur un mois afin de calculer des champs de courants sous forme de constantes harmoniques dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique pour les quatre ondes M2, S2, N2 et M4 [2]. Ces constantes constituent ainsi une base de données utilisée pour le calcul de conditions aux limites de modèles numériques plus locaux. Le domaine d'étude, qui s'étend au-delà du plateau continental (voir Figure 1), comporte 29 229 éléments triangulaires avec des tailles de maille décroissant de 40 km au large à 2 km à la côte. La précision obtenue est ainsi de l'ordre de 5 à 10 cm [2].

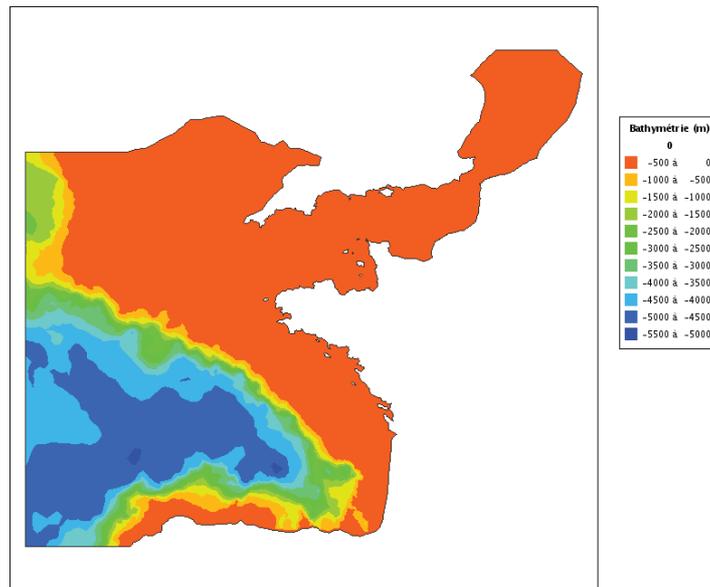


Figure 1 : Emprise du modèle dit de Jean-Marc Janin [2].

Le modèle JMJ considère quatre ondes (M2, S2, N2 et M4) et donne les amplitudes et phases pour la hauteur d'eau et pour deux composantes horizontales de vitesse.

2.3.2. Atlas Nord-Est Atlantique du LEGOS (NEA)

Les conditions aux limites peuvent aussi provenir de l'atlas régional NEA (Nord-Est Atlantique) réalisé par NOVELTIS/LEGOS dans le cadre du projet COMAPI financé par le CNES [4], [5]. L'atlas couvre la partie nord-est de l'Atlantique, de la Mauritanie au sud de la Norvège (voir Figure 2) et donne les amplitudes et les phases pour la hauteur d'eau et pour les deux composantes horizontales de vitesse. Le modèle hydrodynamique qui a servi pour réaliser cet atlas est basé sur le logiciel T-UGOm [7] qui utilise la technique des éléments finis. La dernière version (printemps 2010) donne 47 composantes harmoniques (2MK6, 2MN6, 2MS6, 2N2, 2Q1, 2SM2, 2SM6, ε_2 , J1, K1, K2, KJ2, L2, λ_2 , M1, M2, M4, M6, Mf, MK3, MK4, MKS2, Mm, MN4, MO3, MP1, MS4, MSK6, MSN2, MSN6, MSqm, Mtm, μ_2 , N2, ν_2 , O1, P1, Q1, R2, ρ_1 , S2, S4, σ_1 , SK4, SN4, T2 et Z0). La résolution approximative est de 20-25 km dans l'océan jusqu'à 4 km près de la côte (avec un raffinement local jusqu'à 1 ou 2 km dans les pertuis).

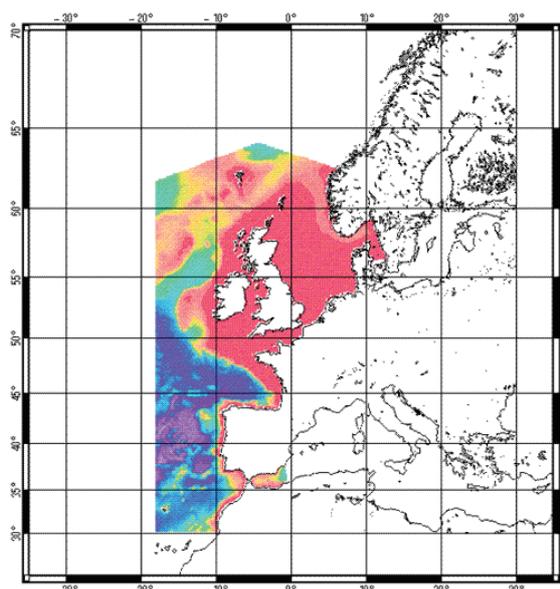


Figure 2 : Emprise de l'atlas NEA [6].

En plus des solutions hydrodynamiques *a priori*, l'atlas NEA fournit une solution de 15 composantes harmoniques (2N2, K1, K2, L2, M2, M4, MS4, μ 2, N2, ν 2, O1, P1, Q1, S2 et T2) améliorée par assimilation d'observations satellitaires. L'assimilation de données, construite avec la méthode des représentants, est basée sur le logiciel SpEnOI [7]. L'atlas NEA (et d'autres atlas régionaux comme la mer Méditerranée, le golfe persique, le plateau de l'Amazonie...) peuvent être téléchargés sur le site web de Sirocco (un service communautaire INSU) sous conditions [8].

2.3.3. La solution globale TPXO et les solutions régionales et locales de l'Oregon State University (OSU)

L'Oregon State University (OSU) fournit une solution de marée globale (appelée TPXO) et plusieurs solutions régionales et locales [9]. Par exemple, pour modéliser les côtes françaises ou britanniques, il existe les solutions de l'Océan Atlantique (Atlantic Ocean – AO) ou du plateau européen (European Shelf – ES – voir Figure 3) qui couvre la partie nord-est de l'océan Atlantique, définis sur des grilles structurées avec 11 composantes harmoniques (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, M4, MS4 et MN4) ou 13 pour la solution globale TPXO (mêmes composantes harmoniques + Mf et Mm). Les solutions données sur grilles régulières, fournissent les amplitudes et phases pour la hauteur d'eau et des termes de transport qui correspondent au produit de la hauteur d'eau par les composantes horizontales de vitesse. Ces dernières peuvent donc être obtenues par division des termes de transport par la hauteur d'eau (attention aux divisions par 0 qui peuvent donner des vitesses anormalement élevées !). Les résolutions des différents modèles sont, par exemple, $\frac{1}{4}$ de degré pour la solution globale TPXO, $\frac{1}{12}$ de degré pour la solution régionale Atlantic Ocean et $\frac{1}{30}$ de degré pour la solution locale European Shelf. Il est notamment conseillé d'utiliser des solutions locales (par exemple l'European Shelf le long des côtes françaises, lorsque c'est possible) en cas de présence de bancs découvrants dans ces solutions au niveau du modèle numérique local en zone côtière. Le lecteur pourra lire le site web [9] pour plus d'informations.

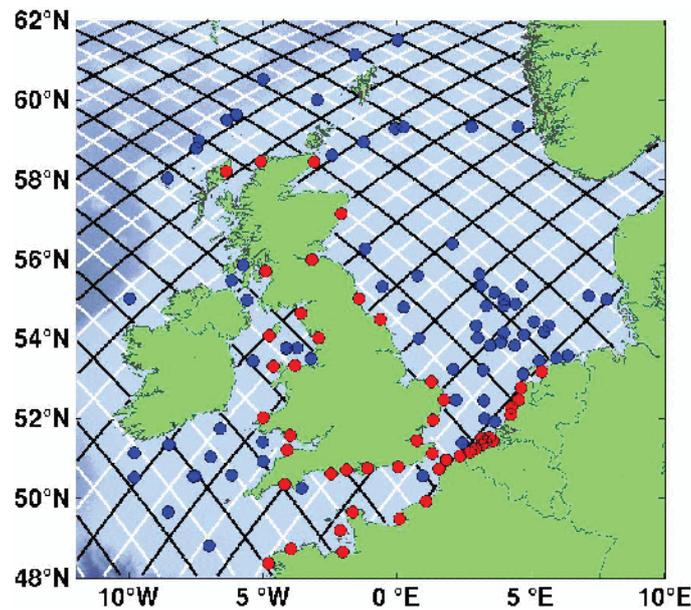


Figure 3 : Emprise de la solution locale European Shelf [9].

2.4. Simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier

Pour des marées « réelles », chaque onde considérée peut se mettre sous la forme (voir formule (3)) :

$$F_i(M, t) = f_i(t) A_{F_i}(M) \times \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} - \varphi_{F_i}(M) + u_i^0 + v_i(t)\right), \quad (7)$$

avec $f_i(t)$ et $v_i(t)$ qui désignent les facteurs nodaux et u_i^0 désigne la phase à l'origine des temps pour la simulation. Ces facteurs nodaux sont à prendre en compte pour corriger les variations lentes induites par l'inclinaison de l'orbite de la Lune sur l'équateur [10]. Pour des ondes solaires, comme S2, il n'y a pas de correction ($f_i(t) = 1$ et $v_i(t) = u_i^0 = 0$ à chaque instant t). Par contre, pour les ondes lunaires ou les ondes composées avec au moins une onde lunaire, ces facteurs sont à calculer. Les formules utilisées ici sont celles de Pugh [11] pour la base JMJ, de Schureman [3] pour l'atlas NEA et sont celles codées originellement dans le logiciel OTPS (OSU Tidal Prediction Software) [9] pour les solutions provenant de l'OSU, aux corrections de bugs près (cf. sous-section 3.6).

Quelques paramètres sont calculés directement dans TELEMAC : la longitude moyenne de la lune, la longitude moyenne du soleil, la longitude du périhélie lunaire, la longitude du nœud ascendant lunaire. Les facteurs nodaux sont ensuite calculés à partir de ces paramètres (cf. formules de Pugh [11] ou la note en version 6.1 [1] pour la base JMJ, ou les formules de Schureman [3] pour l'atlas NEA). Les formules sur u_i^0 et $f_i(t)$ diffèrent légèrement suivant les auteurs.

On peut trouver des valeurs des facteurs $f_i(t)$ tabulées (cf. Tableau 11 de [2] ou Tableau 14 en annexe de [3]) au jour correspondant au milieu de l'année. Avant d'avoir des moyens de calcul assez performants, ces facteurs nodaux $f_i(t)$ pouvaient être considérés comme constants sur toute une année. Ceci est en particulier possible en figeant le paramètre N à la même valeur tout au long de l'année.

2.5. Simulation de marées types

La version 6.2 de TELEMAC offre la possibilité de simuler des marées types (**uniquement pour la base de données JMJ**) :

- marée de vive-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 110) ;
- marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95) ;
- marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70) ;
- marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45) ;
- marée de morte-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 30).

On rappelle que seules quatre composantes harmoniques (M2, S2, N2 et M4) sont prises en compte par la base de constantes harmoniques dite de Jean-Marc Janin.

Lors de la modélisation des marées de morte-eau et de vive-eau moyennes au niveau des sites en bord de mer, les harmoniques M2, S2 et M4 sont considérées ; pour les marées « exceptionnelles » la contribution de l'onde N2 est ajoutée (cf. Tableau 1). Seules les ondes M2 et M4 sont prises en compte pour une marée moyenne. Certains types de marées nécessitent d'imposer un déphasage de 180° à une ou deux des ondes considérées, comme on peut le voir dans le Tableau 1.

	M2	S2	N2	M4
Marée de Vive Eau "exceptionnelle" (\approx coef. 110)	0	0	0	0
Marée de Vive Eau moyenne (\approx coef. 95)	0	0	onde non considérée	0
Marée moyenne (\approx coef. 70)	0	onde non considérée	onde non considérée	0
Marée de Morte Eau moyenne (\approx coef. 45)	0	180	onde non considérée	0
Marée de Morte Eau "exceptionnelle" (\approx coef. 30)	0	180	180	0

Tableau 1 : Déphasages de chacune des ondes afin de simuler un type de marées donné. Tableau extrait du rapport [2].

2.6. Simulation avec le module TPXO

La théorie utilisée avec les solutions de l'OSU est légèrement différente (travail dans l'espace des complexes). La formule (7) devient ainsi :

$$F_j(M, t) = f_j(t) \operatorname{Re} \left(A_{F_j}(M) \exp \left(i \left(2\pi \frac{t}{T_j} + \varphi_{F_j}(M) + u_j^0 + v_j(t) \right) \right) \right). \quad (8)$$

Pour l'utilisation de ses solutions de constantes harmoniques, l'OSU met des sources à la libre disposition du public sur son site web [9]. La théorie utilisée est donc exactement la même que celle fournie par l'OSU.

En particulier, ce ne sont pas les vitesses qui sont fournies sous forme de constantes harmoniques, mais des termes de transport (produit de la hauteur d'eau par les composantes horizontales de vitesse). Pour obtenir les composantes de vitesse, il faut donc diviser ces termes de transport par la hauteur d'eau, ce qui peut poser problème dans des zones de bancs découvrants (en pratique, un seuil minimum de 10 cm de hauteur d'eau est utilisé pour éviter des divisions par 0, ce qui peut

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

néanmoins entraîner des valeurs de vitesses trop importantes et physiquement incorrectes). En outre, pour le calcul des facteurs nodaux, comme déjà dit à la sous-section 2.4, les formules utilisées sont celles codées originellement dans le logiciel OTPS (OSU Tidal Prediction Software) [9] pour les solutions provenant de l'OSU, aux corrections de bugs près (cf. sous-section 3.6).

3. Application dans TELEMAC

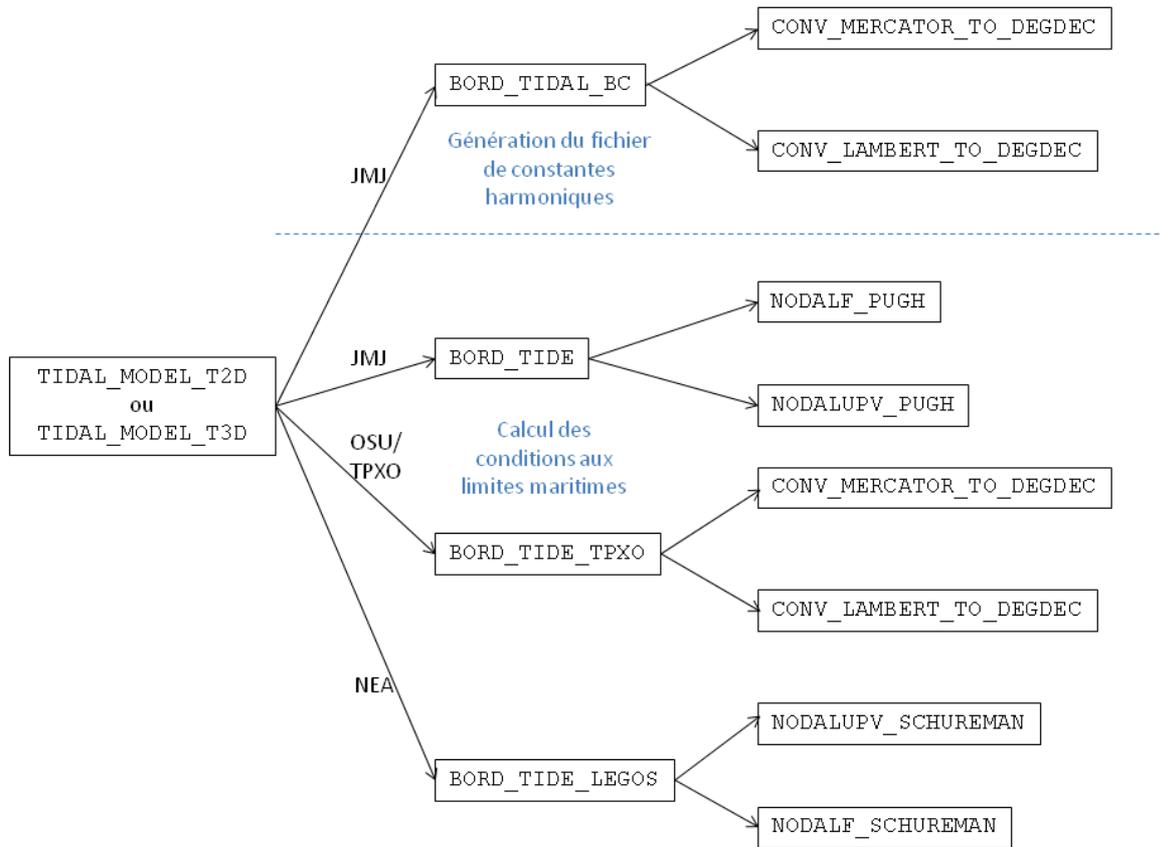
Comme il est décrit plus loin dans les sections 5 et 6, la méthodologie proposée dans le présent rapport comporte deux phases pour la base JMJ ; pour l'atlas NEA, seule la deuxième phase de calculs des conditions aux limites est concernée. Enfin, pour les bases provenant de l'OSU, c'est une autre méthodologie qui est employée : les deux phases sont incluses directement dans le module Fortran TPXO, sans passage par un fichier intermédiaire contenant les constantes harmoniques de marée. Les deux phases sont ainsi :

- la génération du fichier des constantes harmoniques de marée (uniquement pour la base JMJ dans la présente note) ;
- le calcul des conditions aux limites des nœuds de frontière maritime pour les composantes horizontales de vitesse et/ou pour la hauteur d'eau, variables en temps et en espace.

Afin de pouvoir traiter les éléments de théorie décrits dans la section 2, onze sous-programmes ainsi qu'un module ont été intégrés à la version 6.2 :

- un module Fortran TPXO qui contient notamment le sous-programme BORD_TIDE_TPXO pour le calcul des conditions aux limites aux nœuds de frontière maritime pour les solutions provenant de l'OSU ;
- deux sous-programmes de commande TIDAL_MODEL_T2D en 2D et TIDAL_MODEL_T3D en 3D ;
- trois sous-programmes principaux (génération des constantes harmoniques pour la base JMJ et calcul des conditions aux limites aux nœuds de frontière maritime pour les deux bases JMJ et NEA) BORD_TIDAL_BC, BORD_TIDE et BORD_TIDE_LEGOS ;
- quatre sous-programmes de calcul de facteurs nodaux NODALUPV_PUGH, NODALF_PUGH, NODALUPV_SCHUREMAN et NODALF_SCHUREMAN ;
- deux sous-programmes de conversion de systèmes plans en système géographique longitude/latitude CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC et CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC.

Ainsi, les sous-programmes de commande TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D appellent (éventuellement) celui de génération du fichier des constantes harmoniques (BORD_TIDAL_BC, pour la base JMJ uniquement) et ceux de calcul des conditions aux limites des nœuds de frontière maritime (BORD_TIDE, BORD_TIDE_LEGOS ou BORD_TIDE_TPXO du module TPXO). Les sous-programmes NODALUPV_PUGH et NODALF_PUGH (resp. NODALUPV_SCHUREMAN et NODALF_SCHUREMAN) sont appelés pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, à l'intérieur du sous-programme BORD_TIDE (resp. BORD_TIDE_LEGOS). Les deux sous-programmes de conversion de systèmes géographiques CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC et CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC sont appelés à chaque interpolation des coordonnées du modèle local sur les bases de données de constantes harmoniques, par exemple dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC ou dans le module TPXO (sous-programmes BORD_TIDE_TPXO ou CONDI_TPXO), afin de pouvoir traiter de modèles numériques construits dans des systèmes de coordonnées variés. L'arbre d'appels de ces sous-programmes est présenté ci-après. Plus de détails sur ces sous-programmes sont donnés dans le reste de cette section.



3.1. Sous-programme de commande TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D

Selon que le mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE* est activé ou non (par un entier compris entre 1 et 7, voir sous-section 4.1), le sous-programme BORD en 2D (resp. BORD3D en 3D) appelle le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D (resp. TIDAL_MODEL_T3D). Par défaut, ce mot-clé est mis à 0 (pas de prise en compte de la marée par la méthodologie décrite dans cette note).

Ce sous-programme contient les paramètres liés à la marée à renseigner pour générer le fichier des constantes harmoniques (uniquement pour la base JMJ) et/ou calculer les conditions aux limites des nœuds de frontière maritime. Ces paramètres sont ceux qui n'existent pas en mot-clé du dictionnaire de TELEMAR de la version 6.2. Ils sont décrits plus en détails dans les sections 5 et 6, suivant que l'on génère le fichier des constantes harmoniques ou que l'on calcule les conditions aux limites de marée :

- TIDALBCGEN : logique qui permet de choisir si le fichier des constantes harmoniques est généré (= .TRUE.) ou pas (= .FALSE. par exemple lors d'une simulation pour laquelle le fichier des constantes harmoniques de marée a déjà été généré précédemment), pour la base JMJ uniquement en version 6.2 ;
- NODALCORR : entier qui indique comment sont calculés les facteurs nodaux $f_i(t)$ pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier (**ne concerne que les bases JMJ et NEA**) ;
- ICALHW : entier qui donne le numéro de nœud de frontière maritime par rapport auquel les ondes sont déphasées pour débiter la simulation aux environs d'une pleine mer, uniquement pour des marées types (aussi appelé nœud de référence

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

pour le déphasage des ondes), donc pour la base JMJ uniquement en version 6.2 ;

- XSHIFT et YSHIFT : réels flottants qui sont les coordonnées du vecteur de translation à appliquer éventuellement en cas de décalage entre le modèle numérique local et le modèle qui sert à interpoler lors de la génération du fichier des constantes harmoniques de marée (voir section 5 et Figure 4), donc pour la base JMJ uniquement en version 6.2 ;
- BETA en 2D, ou BETA0 en 3D : réel flottant qui est l'angle de rotation à appliquer éventuellement en cas de décalage entre le modèle numérique local et le modèle qui sert à interpoler lors de la génération du fichier des constantes harmoniques de marée (voir section 5 et Figure 5), pour la base JMJ uniquement en version 6.2 ;
- TM2S2N2EQUAL : booléen qui indique si les périodes des ondes M2, S2 et N2 sont prises égales ou non pour la simulation de marées types uniquement (et uniquement pour la base JMJ donc en version 6.2).

En outre, c'est ce sous-programme qui appelle (éventuellement suivant la valeur du logique TIDALBCGEN) le sous-programme BORD_TIDAL_BC pour la génération du fichier des constantes harmoniques et l'un des sous-programmes BORD_TIDE, BORD_TIDE_LEGOS ou BORD_TIDE_TPXO du module TPXO pour le calcul des conditions aux limites des nœuds de frontière maritime.

L'utilisateur peut imposer une rampe de vitesse en début de simulation pour diminuer la durée de la phase transitoire si les vitesses sont trop grandes pendant cette phase (un exemple de rampe sur 1 800 s = 30 min est laissé en commentaires en version 6.2). En pratique, ce sont alors les deux composantes de vitesse de la marée qui sont multipliées par cette fonction rampe en début de calcul.

3.2. Sous-programme de génération des constantes harmoniques de marée BORD_TIDAL_BC

Le sous-programme BORD_TIDAL_BC n'est utilisé que pour la base de constantes harmoniques dite de Jean-Marc Janin [2]. Il lit les deux fichiers de géométrie et de constantes harmoniques de marée du modèle dit de Jean-Marc Janin [2], puis interpole les constantes harmoniques de marée aux nœuds de frontière maritime du modèle numérique local. Cette interpolation est de type éléments finis. Ensuite, ce sous-programme écrit les quelques lignes en en-tête du fichier des constantes harmoniques de marée qui seront utiles lors de calculs en parallèle. Il s'agit du nombre de frontières maritimes, ainsi que du numéro local des extrémités de ces frontières maritimes (voir sous-section 4.4 + Annexe 3).

Des paramètres de recalage sont définis dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D en 2D (ou TIDAL_MODEL_T3D en 3D) du fichier Fortran et utilisés dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC (plus de détails seront donnés en section 5) :

- XSHIFT et YSHIFT ;
- BETA en 2D (resp. BETA0 en 3D).

Ces paramètres à modifier éventuellement sont surlignés en cyan dans les exemples de sous-programme TIDAL_MODEL_T2D et TIDAL_MODEL_T3D inclus en Annexe 1 pour la génération du fichier des constantes harmoniques.

Les coordonnées du modèle numérique local sont transformées d'abord en longitude/latitude (λ/φ) par l'appel aux sous-programmes CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC ou CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC, puis transformées en projection de Mercator (parfois appelée coordonnées « Mercator pour TELEMAR ») avec la relation :

$$x_M = R \cdot \lambda \quad (9)$$

$$y_M = R \cdot (\log(\tan(\varphi/2 + \pi/4)) - \log(\tan(48\pi/360 + \pi/4))) \quad (10)$$

avec $R = 6\,370$ km le rayon de la Terre, la longitude λ et la latitude φ étant exprimés en radians ici.

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Le sous-programme écrit enfin le fichier des constantes harmoniques.

En version 6.2, cette phase de génération des constantes harmoniques de marée n'est possible qu'en mode séquentiel (pas de mode parallèle possible en version 6.2). Cependant, la génération du fichier des constantes harmoniques n'est nécessaire au plus qu'une fois pour un même fichier de géométrie et un même fichier des conditions aux limites associés.

3.3. Sous-programmes pour le calcul des conditions aux limites de marée BORD_TIDE et BORD_TIDE_LEGOS

Pour l'utilisation de la base de constantes harmoniques JMJ (resp. NEA), le sous-programme BORD_TIDE (resp. BORD_TIDE_LEGOS) lit le fichier des constantes harmoniques de marée pour chaque nœud de la frontière maritime et pour chacune des ondes de marée considérée (ainsi que des informations utiles pour des calculs en mode parallèle – le nombre de frontières maritimes et les numéros locaux des extrémités de ces frontières maritimes). Ensuite, à chaque pas de temps, le sous-programme BORD_TIDE (resp. BORD_TIDE_LEGOS) permet de calculer les conditions aux limites dues aux ondes de marée (hauteur d'eau et/ou composantes horizontales de vitesse, variables en temps) à imposer en chaque nœud de frontière maritime du domaine d'étude, conformément à ce qui est décrit dans la section 2. Ce sous-programme fonctionne en modes séquentiel et parallèle.

Le mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS LIMITEES DE MAREE* (voir sous-section 4.1) permet de déterminer les traitements spécifiques pour le calcul des conditions aux limites de marée de la simulation de marées types (uniquement pour la base JMJ) ou de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier (en particulier, les ondes considérées parmi les quatre disponibles et la phase à prendre en compte pour la simulation de marées types avec la base JMJ).

Des paramètres de déphasage des ondes et d'options de calcul des facteurs nodaux et des périodes des ondes sont définis dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D (voir sous-section 3.1) du fichier Fortran et utilisés dans le sous-programme BORD_TIDE (plus de détails seront donnés dans la section 6) :

- NODALCORR (uniquement pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, et seulement pour les bases JMJ et NEA) ;
- ICALHW (uniquement pour la simulation de marées types et donc pour la base JMJ en version 6.2),
- TM2S2N2EQUAL (uniquement pour la simulation de marées types et donc pour la base JMJ en version 6.2).

Ces paramètres à modifier éventuellement sont surlignés en **jaune** dans les exemples de sous-programmes TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D inclus en Annexe 1 pour le calcul des conditions aux limites de marée.

Avec les coefficients de calage définis en mots-clés et leurs « mnémos » (voir sous-section 4.1), les relations (4) à (6) deviennent en pratique :

$$h = CTIDE \sum_i h_i - z_f + MSL \quad (11)$$

$$U = CTIDEV \sum_i U_i \quad (12)$$

$$V = CTIDEV \sum_i V_i \quad (13)$$

Ce sont ces expressions qui ont été codées dans les sous-programmes BORD_TIDE et BORD_TIDE_LEGOS.

3.3.1. Marées types avec BORD_TIDE

La modélisation de marées types n'est possible qu'avec la base JMJ en version 6.2.

Pour la simulation de marées types, toutes les ondes sont déphasées à l'instant initial $t = 0$ au démarrage du calcul (pour toutes les variables hauteur d'eau h et composantes horizontales de vitesse U et V). Ce déphasage constant pour toutes les ondes et tous les nœuds de frontière maritime correspond à la phase de la hauteur en un nœud particulier de la frontière. Son indice de nœud est fixé par le paramètre `ICALHW` (généralement vers le milieu de la (ou des) frontière(s) maritime(s) du modèle). On soustrait au déphasage de chaque onde la phase de la composante harmonique de la hauteur en ce nœud (que l'on peut appeler nœud ou point de référence). Par défaut, si la valeur `ICALHW` (pour Indice de Calage de la Pleine Mer, High Water en anglais) est laissée à 0, le code détermine automatiquement un indice de nœud situé à la moitié de la numérotation des nœuds de frontière maritime. L'utilisateur peut donc éventuellement modifier ce choix de nœud de référence par défaut si besoin. Ce paramètre `ICALHW` n'est utilisé que pour la simulation de marées types.

Pour des marées types, la phase φ_i a été codée en version 6.1 comme étant la somme de la phase donnée par le fichier des constantes harmoniques de TELEMAC et d'un déphasage suivant le type de marée simulé (voir sous-section 2.4). Dans ce cas-là, la simulation démarre autour d'une pleine mer à $t = 0$. Si l'on ne souhaite pas commencer le calcul durant la pleine mer à $t = 0$, il faut alors ajouter un autre déphasage de l'ensemble des ondes (cf. Tableau 2 ou Tableau 9 de [2]) pour faire coïncider l'instant $t = 0$ avec un autre instant de la marée (par exemple la basse mer, le mi-montant ou le mi-descendant). L'utilisateur est alors invité à modifier le sous-programme `BORD_TIDE` en conséquence.

	Pleine mer ou marée haute	Mi-montant ou mi-marée descendante	Basse mer ou marée basse	Mi-descendant ou mi-marée montante
phi (°)	0	90	180	270

Tableau 2 : Déphasage de l'ensemble des ondes afin d'imposer la phase de la marée à $t = 0$.

3.3.2. Marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, avec BORD_TIDE ou BORD_TIDE_LEGOS

Les mots-clés `DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS` et `HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS` (voir sous-section 4.1) ainsi que le paramètre `NODALCORR` défini dans `TIDAL_MODEL_T2D` en 2D ou `TIDAL_MODEL_T3D` en 3D sont des arguments uniquement utilisés pour la simulation de marées « réelles ». Ils servent pour le calcul des facteurs nodaux déterminés dans les sous-programmes `NODALUPV_PUGH` et `NODALF_PUGH` appelés dans `BORD_TIDE` pour la base JMJ (voir sous-section 3.4) ou dans les sous-programmes `NODALUPV_SCHUREMAN` et `NODALF_SCHUREMAN` appelés dans `BORD_TIDE_LEGOS` pour l'atlas NEA.

Remarque : en version 6.2, un bug a été repéré pour l'utilisation du mot-clé HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS avec la base JMJ. La prise en compte de ce mot-clé n'est correcte que pour les heures 0 h UTC et 12 h UTC. Ce bug sera corrigé à partir de la version suivante de TELEMAC.

3.4. Sous-programmes de calcul de facteurs nodaux pour les bases JMJ et NEA

Les facteurs nodaux pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, sont calculés à partir des formules de Pugh [11] pour la base JMJ ou de Schureman [3] pour l'atlas NEA (voir sous-section 2.4). Elles ont été codées dans les sous-programmes `NODALUPV_PUGH` et

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

NODALUPV_SCHUREMAN pour les termes u_i^0 et $v_i(t)$ et dans les sous-programmes NODALF_PUGH et NODALF_SCHUREMAN pour les termes $f_i(t)$.

Les facteurs nodaux $v_i(t)$ et le déphasage à l'origine u_i^0 ne sont calculés qu'une seule fois en début de calcul en fonction des date et heure renseignées par les mots-clés *DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS* et *HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS* (voir sous-section 4.1).

En fonction du choix fait par l'utilisateur pour le paramètre NODALCORR dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D en 2D ou TIDAL_MODEL_T3D en 3D, les facteurs nodaux $f_i(t)$ sont calculés à l'instant de l'origine des temps de la simulation (choix 1 par défaut) ou au milieu de l'année de l'origine des temps de la simulation (choix 2, voir sous-section 2.4) et gardés constants pendant toute la simulation. Depuis la version 6.2 de TELEMAC, ils peuvent également être recalculés à chaque pas de temps (choix 0). Néanmoins, sur une courte durée de simulation, ces facteurs ne varient pas trop (la différence relative des corrections reste au pire inférieure à 2,5 % sur une année complète, donc bien moindre sur une période plus courte comme quelques jours).

Remarque : en version 6.2, un bug a été repéré pour l'utilisation du mot-clé HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS avec la base JMJ (voir remarque de la sous-sous-section 3.3.2).

3.5. Sous-programmes de conversion de systèmes géographiques

Pour utiliser les développements intégrés en version 6.2 de TELEMAC, il est conseillé de construire le modèle numérique dans un des systèmes de coordonnées géographiques à préciser par le mot-clé *SYSTEME GEOGRAPHIQUE*, voir sous-section 4.1. On les énonce une première fois ici :

- système WGS84 géographique (longitude/latitude en degrés décimaux) : choix 1 ;
- système WGS84 plan UTM (nord ou sud) : choix 2 pour nord ou 3 pour sud ;
- système NTF plan Lambert (Lambert 1 nord, 2 centre, 2 étendu, 3 sud, 4 Corse) : choix 4. La projection Lambert 93 n'a pas encore été implémentée en version 6.2 ;
- projection de Mercator (parfois aussi appelée « Mercator pour TELEMAC ») : choix 5 (en renseignant les mots-clés *LONGITUDE DU POINT ORIGINE* et *LATITUDE DU POINT ORIGINE*).

Les sous-programmes CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC et CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC convertissent les coordonnées de points de systèmes géographiques plans WGS84 UTM ou Lambert, en système WGS84 géographique (longitude/latitude en degrés décimaux). Ils utilisent les algorithmes disponibles sur le site de l'IGN [12-14]. Un petit biais a été utilisé dans le sous-programme CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC pour le calcul de la latitude lors d'une conversion à partir du système Lambert afin de se recalculer par rapport au logiciel Circé de l'IGN.

L'utilisateur a la possibilité de définir un système de coordonnées personnel qu'il peut coder dans les sous-programmes BORD_TIDAL_BC, BORD_TIDE_TPXO ou CONDI_TPXO du module TPXO (par exemple, conversion dans un repère local et rotation d'un certain angle par commodité, qui est le cas de l'exemple codé dans les sous-programmes précédemment cités pour la valeur 0 pour le mot-clé *SYSTEME GEOGRAPHIQUE*).

3.6. Module TPXO

Pour l'utilisation de ses solutions de constantes harmoniques, l'OSU met des sources à la libre disposition du public sur son site web [9]. Les sous-programmes utiles ont ainsi été repris par HR Wallingford, complétés pour leur utilisation dans TELEMAC puis intégrés en version 6.2. Quelques modifications sur les sous-programmes originaux ont néanmoins été apportées :

- la précision des variables et constantes a été augmentée de la simple précision à la double précision (pour les flottants et les complexes) lorsque c'était possible (hors lecture de données binaires notamment) ;

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- quelques bugs ont été corrigés dans les sous-programmes ARGUMENTS et INFER_MINOR du module TPXO pour le calcul des facteurs nodaux :
 - o les ondes θ_1 , λ_2 , M3 n'étant pas solaires, les facteurs nodaux ne sont pas triviaux (voir sous-section 2.4),
 - o le facteur multiplicatif f pour l'onde composée MS4 (= M2+S2) est le facteur f de M2 (pas celui de l'onde composée MN4 (= M2+N2) qui est le carré de celui de M2),
 - o le facteur nodal de phase u pour l'onde composée 2SM2 (= 2S2-M2) est l'opposé de celui de M2, pas celui de M2.

À l'extérieur du module TPXO, ce sont les sous-programmes BORD_TIDE_TPXO et CONDI_TPXO qui sont appelés. Le premier est appelé par les sous-programmes TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D au même niveau que les sous-programmes BORD_TIDE pour la base JMJ et BORD_TIDE_LEGOS pour l'atlas NEA. Il effectue le calcul des conditions aux limites dues aux ondes de marée à chaque pas de temps (hauteur d'eau et/ou composantes horizontales de vitesse, variables en temps) à imposer en chaque nœud de frontière maritime du domaine d'étude. Contrairement aux sous-programmes BORD_TIDE et BORD_TIDE_LEGOS, aucun autre paramètre ne doit être défini dans les sous-programmes TIDAL_MODEL_T2D ou TIDAL_MODEL_T3D (en particulier, les facteurs nodaux sont calculés à chaque pas de temps). Les mots-clés DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS et HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS doivent être renseignés (voir sous-section 4.1). Le deuxième sous-programme CONDI_TPXO est utilisé pour le calcul des conditions initiales si l'option de calcul des conditions initiales 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO' est activée (voir sous-section 4.1). Ces sous-programmes fonctionnent en modes séquentiel et parallèle.

Les solutions de constantes harmoniques étant définies sur grilles régulières, l'interpolation des valeurs se fait de manière bilinéaire (voir le sous-programme BSI_WEIGHTS du module TPXO).

4. Fichiers d'entrée du modèle numérique TELEMAC

Afin de réaliser une simulation de propagation de la marée sur un domaine d'étude, TELEMAC a besoin d'un certain nombre de fichiers d'entrée, en particulier des fichiers des paramètres, des conditions aux limites, Fortran et des constantes harmoniques (+ éventuellement les fichiers de base de données de marée).

4.1. Fichier des paramètres

Dans ce fichier figurent les mots-clés de la simulation. Afin de modéliser la marée sur un domaine, il faut en particulier préciser tout ou partie des mots-clés suivants :

- *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE ;*
- *BASE DE DONNEES DE MAREE ;*
- *FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES ;*
- *INTERPOLATION DE COMPOSANTES MINEURES*
- *PROCESSEURS PARALLELES ;*
- *BASE BINAIRE 1 DE DONNEES DE MAREE ;*
- *BASE BINAIRE 2 DE DONNEES DE MAREE ;*
- *BASE ASCII DE DONNEES DE MAREE* (pour la génération du fichier des constantes harmoniques pour la base JMJ) ;
- *FICHER DU MODELE DE MAREE* (pour la génération du fichier des constantes harmoniques pour la base JMJ) ;
- *DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS* (pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier) ;

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS (pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier) ;
- CONDITIONS INITIALES ;
- SYSTEME GEOGRAPHIQUE ;
- NUMERO DE FUSEAU OU PROJECTION DANS LE SYSTEME GEOGRAPHIQUE ;
- LONGITUDE DU POINT ORIGINE ;
- LATITUDE DU POINT ORIGINE ;
- COEFFICIENT DE CALAGE DU MARNAGE ;
- COEFFICIENT DE CALAGE DES VITESSES DE COURANT ;
- COEFFICIENT DE CALAGE DU NIVEAU DE MER.

Un exemple de fichier des paramètres pour TELEMAR-2D est donné en Annexe 5 avec l'utilisation d'une solution provenant de l'OSU comme base de constantes harmoniques. Les mots-clés pour la modélisation de la marée ont été surlignés en **jaune**.

4.1.1. Paramètres généraux de marée

Par défaut, le mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE* est mis à 0 (pas de prise en compte de la marée par la méthodologie décrite dans cette note). Pour activer les développements de traitement de la marée, il faut alors indiquer le type de marées simulées par un entier compris entre 1 et 7 : un des cinq choix présentés en sous-section 2.4 pour des marées types (2 à 6) ou un des deux choix pour des marées « réelles », c'est-à-dire la simulation de marées à partir d'un jour précis du calendrier (1 ou 7). Pour la version 6.2 de TELEMAR, les choix 2 à 7 ne sont possibles que pour la base JMJ :

- 1 : marée « réelle » (méthodologie recommandée) ;
- 2 : marée de vive-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 110) ;
- 3 : marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95) ;
- 4 : marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70) ;
- 5 : marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45) ;
- 6 : marée de morte-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 30) ;
- 7 : marée « réelle » (méthodologie d'avant 2010 au LNHE).

Avec le mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE* dans TELEMAR, il est nécessaire de bien distinguer le type 7 pour lequel les constantes harmoniques générées sont au format projection de composantes suivant x et y (format rectangulaire qui est celui d'origine de la base de données dite de Jean-Marc Janin [2]) et les autres types pour lesquels le format des constantes harmoniques est (amplitude, phase).

À partir de la version 6.2 de TELEMAR, il est donc possible d'utiliser trois bases de données de constantes harmoniques. Le choix de la base est donné par le mot-clé *BASE DE DONNEES DE MAREE* :

- 1 : base JMJ ;
- 2 : solutions provenant de l'OSU (solution globale TPXO ou solutions régionales ou locales, par exemple : Atlantic Ocean ou European Shelf) ;
- 3 : atlas NEA du LEGOS.

Avec les bases JMJ et NEA, le fichier des constantes harmoniques doit obligatoirement exister avec le chemin indiqué par le mot-clé *FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES* et éventuellement être vide s'il n'a pas été créé précédemment (avec l'utilisation des scripts Perl, ce fichier est défini comme READ-WRITE dans le dictionnaire de TELEMAR). Il contient les constantes harmoniques de chaque

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

onde de marée en chaque nœud de frontière maritime (voir descriptif en sous-section 4.4 ou Annexes 3 et 4), ce qui permet d'éviter de stocker et manipuler les bases de constantes harmoniques à chaque calcul.

Si une solution provenant de l'OSU est utilisée comme base de constantes harmoniques, il y a une possibilité d'interpoler des composantes mineures (non existantes dans les fichiers de solution de constantes harmoniques, par exemple : $2Q1$, $\sigma1$, $\rho1$, $M1$, $\chi1$, $\pi1$, $\varphi1$, $\theta1$, $J1$, $OO1$, $2N2$, $\mu2$, $\nu2$, $\lambda2$, $L2$ et $T2$) à partir de celles lues dans les fichiers correspondant aux mots-clés *BASE BINAIRE 1 DE DONNEES DE MAREE* et *BASE BINAIRE 2 DE DONNEES DE MAREE*. Il faut alors activer le mot-clé *INTERPOLATION DE COMPOSANTES MINEURES* (valeur par défaut : NON). Cependant, il faut se souvenir que l'extension du spectre par fonctions d'admittance devient moins précise dans les régions à faibles profondeurs. Aussi, des composantes non linéaires supplémentaires peuvent être requises pour reproduire précisément la marée et les courants dans certaines régions, typiquement à l'intérieur de la Manche.

4.1.2. Parallélisme

Si l'on souhaite effectuer une simulation de la marée avec TELEMAC en mode parallèle, il faut indiquer une valeur supérieure ou égale à 2 pour le mot-clé *PROCESSEURS PARALLELES*.

Pour la base JMJ, seule la partie « calcul des conditions aux limites de marée » peut être réalisée en mode parallèle en version 6.2, une fois le fichier des constantes harmoniques généré et écrit une première fois. Si l'on souhaite seulement générer ce fichier des constantes harmoniques, ou que l'on souhaite générer ce fichier des constantes harmoniques puis dans la continuité réaliser une simulation de la marée avec un même calcul TELEMAC, il est uniquement possible de faire un calcul séquentiel (*PROCESSEURS PARALLELES* = 0) en version 6.2 (sinon, un message d'erreur s'affiche). On conseille donc à l'utilisateur de générer le fichier des constantes harmoniques une première fois en séquentiel, puis, une fois ce fichier créé, de réaliser les simulations sans générer ce fichier à nouveau à chaque fois, ce qui permet d'utiliser le mode parallèle.

4.1.3. Fichiers de données de marée

Pour la base JMJ uniquement, les deux mots-clés *FICHIER DU MODELE DE MAREE* et *BASE ASCII DE DONNEES DE MAREE* (ancien nom en version 6.1 : *BASE DE DONNEES DE MAREE*) sont à préciser si le fichier des constantes harmoniques n'existe pas ou si l'on souhaite générer ce fichier. Le fichier de géométrie sur lequel le modèle local vient interpoler les constantes harmoniques est renseigné par le mot-clé *FICHIER DU MODELE DE MAREE* ; c'est un fichier binaire au format Sérafin qui est le fichier de géométrie servant au cas-test de TELEMAC-2D dit « Onde M2 ». En chaque nœud de ce fichier de géométrie, les constantes harmoniques de marée du modèle dit de Jean-Marc Janin [2] ont été stockées dans le fichier ASCII correspondant au mot-clé *BASE DE DONNEES DE MAREE*.

Pour l'utilisation de solutions provenant de l'OSU (par exemple TPXO), par exemple pour le calcul des conditions aux limites de marée ou des conditions initiales avec l'option 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO', les deux mots-clés *BASE BINAIRE 1 DE DONNEES DE MAREE* et *BASE BINAIRE 2 DE DONNEES DE MAREE* sont à préciser. Ces fichiers binaires servent pour l'interpolation des constantes harmoniques aux nœuds de frontières ouvertes du modèle local ou sur l'intégralité des nœuds du modèle local si ces solutions sont utilisées pour le calcul des conditions initiales (hauteur d'eau et composantes horizontales de vitesse). La base n°1 est censée contenir les constantes harmoniques de hauteur d'eau alors que la base n°2 est censée contenir les constantes harmoniques de transport (produit de la hauteur d'eau par les deux composantes horizontales de vitesse). Attention à bien télécharger les fichiers au format binaire (et donc pas au format NetCDF), seul format pour ces bases de constantes harmoniques de l'OSU qui peut être utilisé avec la version 6.2 de TELEMAC.

4.1.4. Origine des temps et conditions initiales

Pour la simulation de marées « réelles », c'est-à-dire la simulation de la marée à partir d'un jour précis du calendrier, la date de début de simulation est spécifiée par le mot-clé *DATE DE L'ORIGINE DES*

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

TEMPS (au format année ; mois ; jour, par exemple 2011 ; 10 ; 22 pour le 22 octobre 2011). En version 6.2, la simulation peut commencer à n'importe quelle heure pour les bases provenant de l'OSU ou l'atlas NEA en précisant le mot-clé **HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS** (valeur par défaut : 0 ; 0 ; 0). En revanche pour la base JMJ avec la version 6.2, il faut commencer la simulation à l'heure 0 h UTC ou 12 h UTC, un bug existant pour tout autre choix d'heure. Néanmoins, ce bug sera corrigé dans la prochaine version de TELEMAR.

Pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, si les fichiers de bases binaires de données de marée provenant des solutions de l'OSU sont renseignés, il y a une nouvelle option pour initialiser à la fois les hauteurs d'eau et les composantes de vitesse en cohérence avec la date et l'heure de début de simulation. Pour cela, il faut utiliser l'option 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO' pour le mot-clé **CONDITIONS INITIALES**. À noter qu'il est possible d'utiliser cette option même si l'on utilise d'autres bases de constantes harmoniques pour le calcul des conditions aux limites de marée (JMJ ou NEA par exemple).

*Remarque : En version 6.2, un bug a été détecté en 3D sur l'initialisation des vitesses dans le cas de l'option 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO' ainsi que sur l'initialisation des hauteurs d'eau dans le cas de bathymétries qui ne sont pas référencées par rapport au niveau moyen de la mer en 2D et 3D (en particulier le mot-clé **COEFFICIENT DE CALAGE DU NIVEAU DE MER** n'est pas pris en compte, ce qui rend incohérent les conditions aux limites et conditions initiales sur la hauteur d'eau en cas de référence de la bathymétrie par rapport au zéro hydrographique). Ces bugs seront corrigés dans une prochaine version de TELEMAR.*

4.1.5. Coordonnées et système géographique

Le système de coordonnées géographiques dans lequel le modèle numérique a été construit doit être précisé par le mot-clé **SYSTEME GEOGRAPHIQUE**, en particulier lorsque des constantes harmoniques de marée doivent être interpolées (ex. : génération du fichier des constantes harmoniques ou calcul des conditions initiales avec l'option 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO'). Les cas actuellement prévus sont :

- 1 : système WGS84 géographique (longitude/latitude en degrés décimaux) ;
- 2 : système WGS84 plan UTM nord ;
- 3 : système WGS84 plan UTM sud ;
- 4 : système NTF plan ;
- 5 : projection de Mercator (parfois aussi appelée « Mercator pour TELEMAR ») pour l'utilisation des coordonnées sphériques par exemple. Ne pas oublier de renseigner alors les mots-clés **LONGITUDE DU POINT ORIGINE** et **LATITUDE DU POINT ORIGINE**.

L'utilisateur a la possibilité de définir un système de coordonnées personnel qu'il peut coder dans les sous-programmes **BORD_TIDAL_BC**, **BORD_TIDE_TPXO** ou **CONDI_TPXO** du module TPXO (par exemple, conversion dans un repère local et rotation d'un certain angle par commodité, qui est le cas de l'exemple codé dans les sous-programmes précédemment cités pour la valeur 0 du mot-clé **SYSTEME GEOGRAPHIQUE**). Il est néanmoins conseillé de construire le modèle numérique dans un système de coordonnées standard pour éviter des erreurs de conversion lors de transformations de coordonnées.

Dans le cas de systèmes plans (WGS84 UTM ou Lambert), le numéro de fuseau (pour WGS84 UTM) ou la projection plane de type Lambert correspondant(e) doit être indiqué(e) par le mot-clé **NUMERO DE FUSEAU OU PROJECTION DANS LE SYSTEME GEOGRAPHIQUE** en cohérence avec le mot-clé **SYSTEME GEOGRAPHIQUE** :

- directement le numéro de fuseau pour le système WGS84 plan UTM entre 1 et 60 (entre 30 et 32 par exemple pour la France dans le système WGS84 plan UTM nord) ;
- pour le système NTF plan Lambert :
 - 1 : Lambert 1 nord,

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- 2 : Lambert 2 centre,
- 22 : Lambert 2 étendu,
- 3 : Lambert 3 sud,
- 4 : Lambert 4 Corse.

La projection Lambert 93 n'a pas encore été implémentée au moment de la rédaction de cette note.

Dans le cas de l'utilisation de la projection de Mercator comme système géographique, les mots-clés *LONGITUDE DU POINT ORIGINE* ou *LATITUDE DU POINT ORIGINE* doivent être renseignés avec les coordonnées du point origine de référence pour cette projection.

4.1.6. Coefficients de calage de la marée

Le mot-clé *COEFFICIENT DE CALAGE DU MARNAGE* contient un coefficient multiplicateur du signal de marée imposé en chaque nœud de frontière maritime et permet d'ajuster l'amplitude du marnage. Par défaut, sa valeur est 1. Son « mnémo » (nom de variable associé au mot-clé dans TELEMAR et déclaré dans le module *DECLARATIONS_TELEMAR2D* ou *DECLARATIONS_TELEMAR3D*) est *CTIDE*. Le calage de l'amplitude du marnage peut en particulier être réajusté pour chaque type de marées types simulées.

Le mot-clé *COEFFICIENT DE CALAGE DES VITESSES DE COURANT* contient un coefficient multiplicateur du signal de la vitesse des ondes de marée imposé en chaque nœud de frontière maritime et permet d'ajuster l'amplitude des vitesses de courant. Par défaut, sa valeur est 999 999, ce qui signifie que c'est la racine carrée de la valeur du mot-clé *COEFFICIENT DE CALAGE DU MARNAGE* qui est prise, car la vitesse de l'onde de marée est proportionnelle à la racine carrée de sa hauteur, en première approximation, mais il peut donc être modifié. Son « mnémo » est *CTIDEV*.

Le mot-clé *COEFFICIENT DE CALAGE DU NIVEAU DE MER* correspond à un niveau moyen de la mer et peut aussi être fixé de manière à caler au mieux les niveaux de la mer (par exemple par rapport à un ou des port(s) de référence). Ce coefficient est généralement pris égal au niveau moyen de la mer dans un port de référence à proximité du site d'étude. Son « mnémo » est *MSL*.

4.2. Fichier des conditions aux limites

Il est important de bien vérifier que la dernière colonne du fichier des conditions aux limites (numéro de nœud frontière) correspond au numéro de la ligne dans le fichier avant partitionnement éventuel. Ceci est indispensable pour le bon fonctionnement d'un calcul en parallèle et interdit l'utilisation particulière du tableau *BOUNDARY_COLOUR* pour les bases JMJ et NEA.

L'Annexe 2 montre un exemple de fichier des conditions aux limites. Afin de pouvoir utiliser le traitement des conditions aux limites de marée de la version 6.2 de TELEMAR, les nœuds de frontière maritime doivent obligatoirement avoir les codes 5 4 4 (hauteur d'eau imposée et composantes de vitesse *U* et *V* libres), 4 6 6 (composantes de vitesse *U* et *V* imposées et hauteur d'eau libre) ou 5 6 6 (hauteur d'eau et composantes de vitesse *U* et *V* imposées simultanément) dans les trois premières colonnes du fichier des conditions aux limites (surlignées en **jaune** dans l'Annexe 2).

4.3. Fichier Fortran

Le fichier Fortran contient tous les sous-programmes modifiés par l'utilisateur. Dans ce type de simulations de marée, il peut généralement contenir le sous-programme *TIDAL_MODEL_T2D* ou *TIDAL_MODEL_T3D* en version 6.2 de TELEMAR dans lequel les paramètres liés à la marée sont renseignés.

4.4. Fichier des constantes harmoniques de marée

Le fichier des constantes harmoniques de marée (indiqué par le mot-clé *FICHER DES*

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

CONSTANTES HARMONIQUES dans le fichier des paramètres, voir sous-section 4.1), qui est un fichier de données formaté ASCII, est uniquement utilisé pour les bases JMJ et NEA. Ce fichier contient les constantes harmoniques pour chaque onde de marée considérée, en chaque nœud de frontière maritime correspondant à un site donné sur l'emprise des bases de constantes harmoniques. Il peut être généré par le sous-programme `BORD_TIDAL_BC` pour la base JMJ ou à l'extérieur de TELEMAC avec les outils COMODO [15] pour l'atlas NEA à la rédaction de la présente note. La lecture de ce fichier est effectuée à l'intérieur du sous-programme `BORD_TIDE` (resp. `BORD_TIDE_LEGOS`) pour la simulation de la marée avec la base JMJ (resp. NEA). Deux exemples de fichiers des constantes harmoniques de marée sont donnés en Annexe 3 et 4 (pour les bases JMJ et NEA). En outre, la création de ce fichier des constantes harmoniques de marée à partir de la base JMJ est détaillée dans la section 5. Pour l'atlas NEA, en version 6.2 de TELEMAC, la procédure doit se faire de manière externe avec les outils COMODO [15] et n'est pas détaillée ici. Ce fichier des constantes harmoniques permet d'économiser de la mémoire (localement, le stockage et la duplication éventuelle de fichiers en mode parallèle, qui peuvent être très volumineux, sont ainsi supprimés) ; ne sont alors gardées que les informations minimales nécessaires aux simulations (les constantes harmoniques de marée aux nœuds de frontière maritime du modèle numérique). Cette possibilité n'a pas été traitée pour les solutions provenant de l'OSU en version 6.2.

Pour la base JMJ, on décrit ci-après ce fichier des constantes harmoniques de marée.

Les premières lignes comportent le nombre de frontières sur lesquelles on impose la marée puis les numéros locaux des bornes de ces frontières (une ligne comprenant les indices des bornes pour chaque frontière).

Ensuite, dans le cas du mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE* compris entre 1 et 6, pour chaque nœud de frontière maritime, il y a un bloc de cinq lignes au format suivant :

```

i      Zf(i)
AHM2(i)  φHM2(i)  AUM2(i)  φUM2(i)  AVM2(i)  φVM2(i)
AHS2(i)  φHS2(i)  AUS2(i)  φUS2(i)  AVS2(i)  φVS2(i)
AHN2(i)  φHN2(i)  AUN2(i)  φUN2(i)  AVN2(i)  φVN2(i)
AHM4(i)  φHM4(i)  AUM4(i)  φUM4(i)  AVM4(i)  φVM4(i)

```

avec :

- en première ligne : i le numéro local du nœud frontière et $Z_f(i)$ la cote du fond (en m CM) interpolée dans le modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique (modèle dit de Jean-Marc Janin [2]) ;
- pour les quatre lignes suivantes : les constantes harmoniques (un type d'onde, parmi M2, S2, N2 ou M4, par ligne) avec pour chaque ligne, l'amplitude (A) et la phase (φ) de chaque type de signal (hauteur d'eau H en m ou composante horizontale de vitesse U ou V en m/s).

Dans le cas du mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE* égal à 7, pour chaque nœud de frontière maritime, il y a un bloc de cinq lignes au format suivant :

```

i      Zf(i)
HFXM2(i)  HFYM2(i)  UFXM2(i)  UFYM2(i)  VFXM2(i)  VFYM2(i)
HFXS2(i)  HFYS2(i)  UFXS2(i)  UFYS2(i)  VFXS2(i)  VFYS2(i)
HFXN2(i)  HFYN2(i)  UFXN2(i)  UFYN2(i)  VFXN2(i)  VFYN2(i)
HFXM4(i)  HFYM4(i)  UFXM4(i)  UFYM4(i)  VFXM4(i)  VFYM4(i)

```

avec :

- en première ligne : i le numéro local du nœud frontière et $Z_f(i)$ la cote du fond (en m

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

CM) interpolée dans le modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique (modèle dit de Jean-Marc Janin [2]) ;

- pour les quatre lignes suivantes : les constantes harmoniques (un type d'onde, parmi M2, S2, N2 ou M4, par ligne) avec pour chaque ligne, les projections selon x et y (FX et FY) de la composante de chaque type de signal (hauteur d'eau H en m ou composante horizontale de vitesse U ou V en m/s).

Pour l'atlas NEA, on décrit ci-après ce fichier des constantes harmoniques de marée.

Les premières lignes comportent le nombre de frontières sur lesquelles on impose la marée puis les numéros locaux des bornes de ces frontières (une ligne comprenant les indices des bornes pour chaque frontière) et enfin sur une même ligne le nombre de nœuds de frontière maritime, le nombre d'ondes disponibles dans le fichier et l'unité utilisée (M pour mètre).

Ensuite, pour chaque onde, il y a un bloc de $N_{PTFRL}+1$ lignes où N_{PTFRL} est le nombre de nœuds de frontière au format suivant :

Nom de l'onde

LON(1) LAT(1) $A_H(1)$ $\varphi_H(1)$ $A_U(1)$ $\varphi_U(1)$ $A_V(1)$ $\varphi_V(1)$

...

LON(N) LAT(N) $A_H(N)$ $\varphi_H(N)$ $A_U(N)$ $\varphi_U(N)$ $A_V(N)$ $\varphi_V(N)$

avec :

- en première ligne le nom de l'onde (quatre caractères maximum) ;
- pour chaque ligne (N_{PTFRL} lignes, une pour chaque numéro local de nœud frontière) : la longitude (LON) et la latitude (LAT) du nœud frontière, les constantes harmoniques en amplitude (A) et phase (φ) de chaque type de signal (hauteur d'eau H en m ou composante horizontale de vitesse U ou V en m/s).

5. Mode opératoire pour générer le fichier des constantes harmoniques de marée

Rappel : cette section ne concerne que l'utilisation de la base de constantes harmoniques du modèle dit de Jean-Marc Janin (JMJ). Comme dit en sous-section 4.4, la génération du fichier des constantes harmoniques de marée avec l'atlas NEA ne peut se faire qu'à l'extérieur de TELEMAC avec les outils COMODO [15] en version 6.2.

Avant d'effectuer des simulations de propagation de la marée dans un domaine avec la base JMJ, il est tout d'abord nécessaire de générer le fichier des constantes harmoniques de marée. Comme déjà dit en sous-section 4.1, la génération du fichier des constantes harmoniques de marée n'est possible qu'en mode séquentiel en version 6.2 (mot-clé *PROCESSEURS PARALLELES* = 0).

Le fichier des constantes harmoniques de marée est généré à partir d'un calcul TELEMAC ayant pour données d'entrée les fichiers de géométrie et de conditions aux limites du modèle numérique sur lequel on souhaite modéliser la marée, ainsi que le fichier de géométrie et une base de données de constantes harmoniques associée pour un domaine de plus grande emprise (ici le modèle de la Manche et du proche Atlantique [2], voir la sous-section 4.1 pour les mots-clés employés). Ces dernières données sont interpolées sur les nœuds de frontière maritime. La génération du fichier des constantes harmoniques de marée s'effectue lors d'une courte simulation TELEMAC, qui permet de lire la base de données de constantes harmoniques de Jean-Marc Janin et d'interpoler ces informations sur les nœuds de la frontière maritime du domaine à modéliser (interpolation de type éléments finis). Le fichier formaté de constantes harmoniques est ainsi créé (il se peut que la simulation finisse par une erreur, ce qui n'est pas rédhibitoire, l'important est qu'elle génère ce fichier formaté).

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Comme dit en sous-section 4.2, afin de pouvoir utiliser le traitement des conditions aux limites de marée de la version 6.2 de TELEMAC, les nœuds de frontière maritime doivent obligatoirement avoir les codes 5 4 4 (hauteur d'eau imposée et composantes de vitesse U et V libres), 4 6 6 (composantes de vitesse U et V imposées et hauteur d'eau libre) ou 5 6 6 (hauteur d'eau et composantes de vitesse U et V imposées simultanément) dans les trois premières colonnes du fichier des conditions aux limites.

Quelques paramètres du sous-programme `TIDAL_MODEL_T2D` en 2D ou `TIDAL_MODEL_T3D` en 3D sont à renseigner lors de la génération du fichier des constantes harmoniques aux nœuds de frontière maritime (ils sont surlignés en cyan, ou vert dans le cas de la variable `TIDALBCGEN` en Annexe 1) :

- `TIDALBCGEN` (logique mis alors à `.TRUE.` – vrai) ;
- `XSHIFT` et `YSHIFT` éventuellement en cas de décalage de translation entre le modèle local et le modèle qui sert à interpoler ;
- `BETA` (resp. `BETA0`) éventuellement en cas de décalage en angle entre le modèle local et le modèle qui sert à interpoler en 2D (resp. en 3D).

Si, lors du déroulement du calcul TELEMAC, la mention « `ERROR WHEN INTERPOLATION, K=` » apparaît, c'est qu'un ou plusieurs nœuds de frontière maritime se trouve(nt) en dehors de l'emprise du modèle de la base de données. Il peut s'agir parfois d'une erreur de conversion de coordonnées ou souvent d'un léger décalage du fait que le trait de côte du modèle ayant servi à construire la base est assez grossier (décalage éventuel entre le trait de côte grossier du modèle dit de Jean-Marc Janin [2] et le modèle local). Dans ce cas, il est recommandé de déterminer une petite translation à imposer aux coordonnées des nœuds de frontière, ce qui peut être fait avec les paramètres `XSHIFT` et `YSHIFT` du sous-programme `TIDAL_MODEL_T2D` en 2D ou `TIDAL_MODEL_T3D` en 3D. Le décalage peut être visualisé en décommentant les lignes comportant le nombre 57 (trois au total) dans le sous-programme `BORD_TIDAL_BC`, ce qui permet de générer un fichier formaté de coordonnées dans le système de coordonnées du modèle de la Manche et du proche Atlantique et que l'on peut visualiser en superposition du fichier de géométrie de ce dernier modèle. Sur la Figure 4 sont représentés en trait continu noir (resp. en pointillés rouges, en pointillés bleus) le trait de côte du modèle dit de Jean-Marc Janin (resp. les nœuds de frontière du modèle local sans changements, les nœuds de frontière du modèle local après translation du vecteur (`XSHIFT`, `YSHIFT`)).

Si l'on n'effectue pas de translation malgré le (ou les) message(s) d'avertissement, c'est à partir de l'élément le plus proche que se fait l'interpolation.

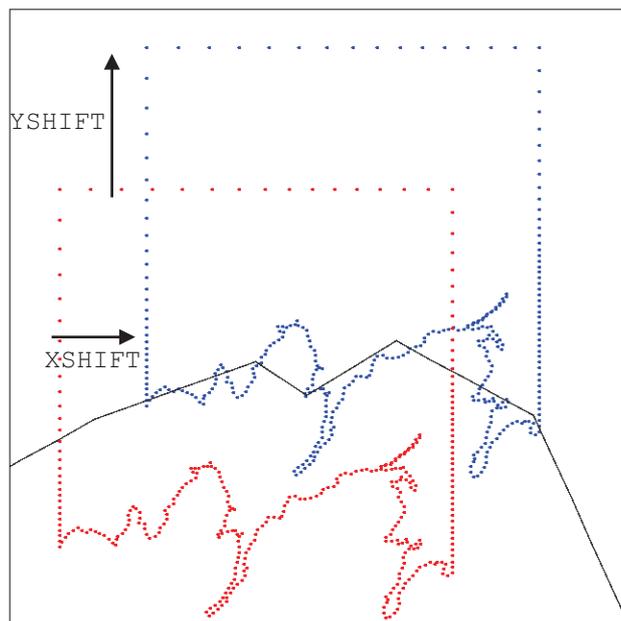


Figure 4 : Application du vecteur de translation (XSHIFT-YSHIFT) sur un exemple.

Si le modèle numérique local est tourné par rapport à celui du modèle dit de Jean-Marc Janin (construit en projection de Mercator), l'angle $BETA$ (resp. $BETA0$) dans le sous-programme `TIDAL_MODEL_T2D` (resp. `TIDAL_MODEL_T3D`) peut être ajusté afin de tenir compte de cette rotation. La Figure 5 montre l'emprise du modèle numérique du cas test fourni avec TELEMAC-2D et TELEMAC-3D en version 6.2. Dans le système WGS84 longitude/latitude, les deux côtés gauche et droit suivent deux méridiens, alors que le côté supérieur suit un parallèle. Dans la projection Lambert utilisée, on constate une rotation entre les deux directions nord (de la projection Lambert et du système WGS84) d'un angle $BETA$. C'est cet angle qu'il faut reporter dans les sous-programmes `TIDAL_MODEL_T2D` et `TIDAL_MODEL_T3D`.

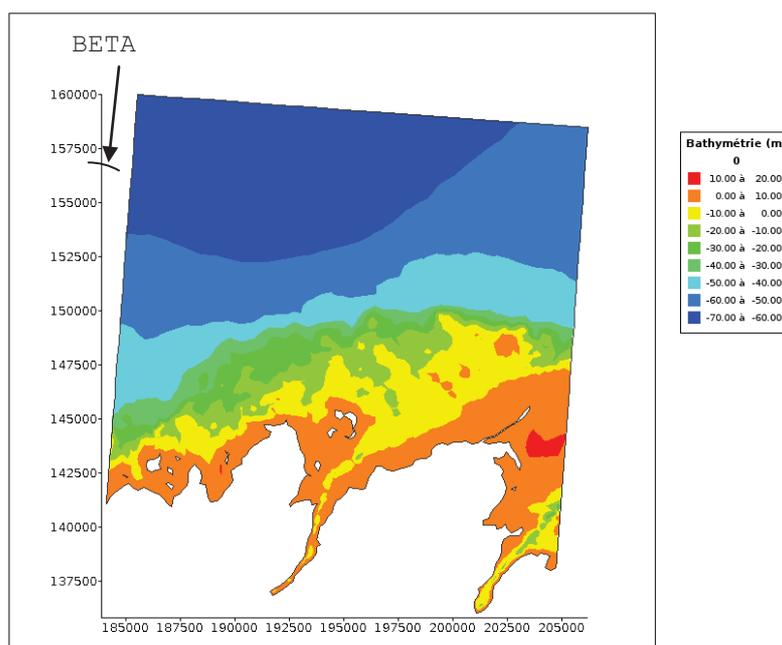


Figure 5 : Exemple de modèle numérique local tourné par rapport à celui du modèle dit de Jean-Marc Janin [2].

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

À la fin, on obtient ainsi un fichier contenant les constantes harmoniques de la hauteur d'eau et des composantes horizontales de vitesse U et V (amplitude et phase, ou projection suivant x et y , suivant le type de marée à simuler) pour chaque type d'onde (M2, S2, N2 ou M4), pour chaque nœud de frontière maritime du domaine (voir une courte description du fichier dans la sous-section 4.4 ou en Annexe 3).

Afin de ne pas multiplier les fichiers de constantes harmoniques lors de l'utilisation de la base JMJ et de ne pas se tromper dans l'utilisation de ces fichiers, il est conseillé de ne générer et de n'utiliser que des fichiers de constantes harmoniques au format (amplitude, phase) et non pas au format « projections suivant x et y » (qui était le format utilisé précédemment lors de la simulation de marées « réelles » au LNHE) ; il est donc préférable de choisir le mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS LIMITES DE MAREE* compris entre 1 et 6.

6. Simulation de la marée en version 6.2

Une fois que le fichier des constantes harmoniques a été généré (pour les bases JMJ ou NEA) ou directement pour les solutions provenant de l'OSU, l'utilisateur peut lancer un calcul de simulation de la marée. Le mot-clé *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE* doit être choisi entre 1 et 7 (voir sous-section 4.1) :

- 1 : marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier (méthodologie recommandée) ;
- 2 : marée de vive-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 110) ;
- 3 : marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95) ;
- 4 : marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70) ;
- 5 : marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45) ;
- 6 : marée de morte-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 30) ;
- 7 : marée « réelle » (méthodologie d'avant 2010 au LNHE).

En version 6.2, les choix 2 à 7 ne sont possibles qu'avec la base de constantes harmoniques JMJ.

Ces simulations peuvent être effectuées en modes séquentiel ou parallèle (mot-clé *PROCESSEURS PARALLELES*).

Comme dit en sous-section 4.2, afin de pouvoir utiliser le traitement des conditions aux limites de marée de la version 6.2 de TELEMAC, les nœuds de frontière maritime doivent obligatoirement avoir les codes 5 4 4 (hauteur d'eau imposée et composantes de vitesse U et V libres), 4 6 6 (composantes de vitesse U et V imposées et hauteur d'eau libre) ou 5 6 6 (hauteur d'eau et composantes de vitesse U et V imposées simultanément) dans les trois premières colonnes du fichier des conditions aux limites.

Quelques paramètres du sous-programme *TIDAL_MODEL_T2D* en 2D ou *TIDAL_MODEL_T3D* en 3D sont à renseigner lors du calcul des conditions aux limites aux nœuds de frontière maritime (ils sont surlignés en **jaune** en Annexe 1) :

- *NODALCORR* (uniquement pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, et **seulement pour les bases JMJ et NEA**) ;
- *ICALHW* (à changer éventuellement, uniquement pour la simulation de marées types) ;
- *TM2S2N2EQUAL* (à changer éventuellement, uniquement pour la simulation de marées types).

Le paramètre *NODALCORR* est un entier qui indique comment sont calculés les facteurs nodaux $f_i(t)$ pour la simulation de marées « réelles » (uniquement pour les bases JMJ et NEA ; pour les solutions provenant de l'OSU, les facteurs nodaux sont calculés à chaque pas de temps obligatoirement) :

- 0 : calcul à chaque pas de temps (possible depuis la version 6.2 de TELEMAC) ;

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

- 1 (valeur par défaut) : calcul à l'instant de l'origine des temps de la simulation et gardés constants pendant toute la simulation ;
- 2 : calcul au milieu de l'année de l'origine des temps de la simulation (voir sous-section 2.4) et gardés constants pendant toute la simulation ;

Néanmoins, sur une courte durée de simulation, ces facteurs ne varient pas trop (la différence relative des corrections reste au pire inférieure à 2,5 % sur une année complète, donc est bien moindre sur une période plus courte comme quelques jours).

Les mots-clés *DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS* et *HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS* sont à renseigner pour la simulation de marées « réelles », à partir du jour précis du calendrier (voir sous-section 4.1 et en particulier la mise en garde si l'on utilise la base JMJ).

Le paramètre spécifique *ICALHW* donne l'indice de nœud de frontière maritime par rapport auquel toutes les ondes sont déphasées pour tous les nœuds de frontière maritime ; il est aussi appelé nœud de référence pour le déphasage des ondes. Ce déphasage permet de débiter la simulation aux environs d'une pleine mer. Il est décrit dans la sous-sous-section 3.3.1. Il est uniquement utilisé dans le cas de la simulation de marées types et donc de la base JMJ en version 6.2.

Le paramètre spécifique *TM2S2N2EQUAL* indique si les périodes des ondes M2, S2 et N2 sont prises égales ou non pour la simulation de marées types uniquement (et uniquement pour la base JMJ donc en version 6.2). La période de l'onde M4 est toujours prise moitié moindre que celle de l'onde M2. Ceci permet d'avoir un signal de marée périodique de période TM2 (cf. sous-sous-section 7.2.1 de [2]).

Remarque :

Afin de caler les modèles numériques TELEMAC dans des zones où la marée a une influence, certaines données peuvent être utiles :

- des données de marnage, de niveau moyen de la mer ou de niveaux de la mer à des instants précis de la marée dans un port de référence à proximité du site d'étude (par exemple à partir de données de marégraphes, de cartes marines ou de bases de données du SHOM disponibles sur leur site internet [16]) ;
- des vitesses de courants de marée en plusieurs points de la zone d'étude (par exemple à partir de mesures réalisées avec des ADCP, des annuaires de courant de marée du SHOM [16] ou des indications sur les cartouches de certaines cartes marines éditées par le SHOM).

7. Quelques erreurs à ne pas commettre

Pour la génération du fichier des constantes harmoniques de marée :

- les nœuds de la frontière sur lesquels on souhaite imposer des conditions de marée doivent avoir le code 5 4 4 – *i. e.* hauteur d'eau imposée et vitesses libres –, 4 6 6 – *i. e.* hauteur d'eau libre et vitesses imposées – ou 5 6 6 – *i. e.* hauteur d'eau et vitesses imposées –, si l'on souhaite utiliser le traitement quasi automatique de la marée dans TELEMAC ;
- si le système géographique choisi est de type WGS84 UTM (nord ou sud) ou Lambert, il faut préciser le numéro du fuseau ou la projection en adéquation.

Pour les simulations de marées :

- bien vérifier que la dernière colonne du fichier des conditions aux limites (numéro de nœud frontière) correspond au numéro de la ligne dans le fichier si l'on utilise les bases JMJ et NEA. Ceci est indispensable pour le bon fonctionnement d'un calcul en parallèle ;
- le nom du fichier des constantes harmoniques de marée doit être indiqué par mot-clé (*FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES*) dans le fichier des paramètres (pour les bases JMJ et NEA) ;
- il est nécessaire de vérifier que ce fichier des constantes harmoniques a bien été généré par

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

la procédure automatique de marée pour la base JMJ (en particulier que les premières lignes comprennent le nombre des frontières où l'on impose des conditions de marées, ainsi que les indices des bornes de ces frontières) ou est au bon format pour l'atlas NEA ;

- si le modèle a subi une transformation locale (par exemple, une rotation), bien appliquer cette transformation aux composantes de vitesse ;
- il est important de garder des formats homogènes entre l'étape de génération du fichier des constantes harmoniques de marée et l'étape de calcul qui utilise ce fichier pour la base JMJ. En particulier, il faut s'assurer que pour des marées de type $i - i$ compris entre 1 et 6 – les constantes harmoniques sont dans le format amplitude-phase (et pas projection selon x et y), et que pour des marées « réelles » de type 7, les constantes harmoniques sont dans le format de projection selon x et y (et pas amplitude-phase). Pour éviter de manipuler deux fichiers de constantes harmoniques écrits différemment et de commettre d'éventuelles erreurs, si l'on souhaite simuler des marées « réelles », il est donc recommandé de choisir le type 1.

8. Mots-clés et fichiers pour l'utilisation des différentes bases de constantes harmoniques

Dans cette section est synthétisée la liste des mots-clés et fichiers, indispensables ou utiles, à renseigner pour l'utilisation des développements autour des bases de constantes harmoniques pour la modélisation de la marée dans TELEMAR. Il est néanmoins conseillé au lecteur de lire l'ensemble de la présente note pour plus de détails d'utilisation notamment.

8.1. Toute base de constantes harmoniques de marée

2 mots-clés indispensables :

- *OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE ;*
- *BASE DE DONNEES DE MAREE.*

En cas de simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier (indispensable) :

- *DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS ;*
- *HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS.*

3 coefficients de calage (utiles pour le calage) :

- *COEFFICIENT DE CALAGE DU MARNAGE ;*
- *COEFFICIENT DE CALAGE DES VITESSES DE COURANT ;*
- *COEFFICIENT DE CALAGE DU NIVEAU DE MER.*

Si *CONDITIONS INITIALES* = 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO', entre 3 et 5 mots-clés supplémentaires indispensables :

- *BASE BINAIRE 1 DE DONNEES DE MAREE ;*
- *BASE BINAIRE 2 DE DONNEES DE MAREE ;*
- *SYSTEME GEOGRAPHIQUE :*
 - o si *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* = 2, 3 ou 4, préciser alors *NUMERO DE FUSEAU OU PROJECTION DANS LE SYSTEME GEOGRAPHIQUE,*
 - o si *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* = 5, préciser alors *LATITUDE DU POINT ORIGINE* et *LONGITUDE DU POINT ORIGINE.*

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

8.2. Solutions provenant de l'OSU

Entre 3 et 5 mots-clés indispensables :

- *BASE BINAIRE 1 DE DONNEES DE MAREE* ;
- *BASE BINAIRE 2 DE DONNEES DE MAREE* ;
- *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* :
 - o si *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* = 2, 3 ou 4, préciser alors *NUMERO DE FUSEAU OU PROJECTION DANS LE SYSTEME GEOGRAPHIQUE*,
 - o si *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* = 5, préciser alors *LATITUDE DU POINT ORIGINE* et *LONGITUDE DU POINT ORIGINE*.

Pour l'utilisateur avancé :

- *INTERPOLATION DE COMPOSANTES MINEURES* (par défaut = NON).

8.3. Base JMJ

1 mot-clé indispensable :

- *FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES*.

Pour la phase de génération du fichier des constantes harmoniques, entre 3 et 5 mots-clés indispensables :

- *BASE ASCII DE DONNEES DE MAREE* (fichier 'bdd_jmj') ;
- *FICHER DU MODELE DE MAREE* (fichier 'geofin') ;
- *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* :
 - o si *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* = 2, 3 ou 4, préciser alors *NUMERO DE FUSEAU OU PROJECTION DANS LE SYSTEME GEOGRAPHIQUE*,
 - o si *SYSTEME GEOGRAPHIQUE* = 5, préciser alors *LATITUDE DU POINT ORIGINE* et *LONGITUDE DU POINT ORIGINE* ;
- ainsi que le paramètre *TIDALBCGEN* mis à *.TRUE.* dans le sous-programme *TIDAL_MODEL_T2D* ou *TIDAL_MODEL_T3D* :
 - o si besoin de recalage en translation ou rotation, 3 paramètres utiles : *XSHIFT*, *YSHIFT*, *BETA* (en 2D) ou *BETA0* (en 3D) dans le sous-programme *TIDAL_MODEL_T2D* ou *TIDAL_MODEL_T3D*.

Pour le calcul des conditions aux limites aux nœuds de frontière maritime, quelques paramètres à modifier éventuellement dans le sous-programme *TIDAL_MODEL_T2D* ou *TIDAL_MODEL_T3D* :

- pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier : *NODALCORR* (0, 1 ou 2) ;
- pour la simulation de marées types, 2 paramètres utiles : *ICALHW* ou *TM2S2N2EQUAL*.

8.4. Atlas NEA

1 mot-clé indispensable :

- *FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES*.

1 paramètre à modifier éventuellement dans le sous-programme *TIDAL_MODEL_T2D* ou *TIDAL_MODEL_T3D* :

- pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier : *NODALCORR*

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

(0 ou 1).

9. Conclusion et perspectives

Un travail de comparaison d'utilisation de ces différentes bases de constantes harmoniques pour le calcul des conditions aux limites ouvertes a été réalisé avec TELEMAR-2D en version 6.2 [18]. Les résultats de hauteur d'eau et de vitesses sont donnés pour un même domaine d'étude pour les trois bases de données. L'utilisation de l'atlas NEA ou de la solution locale European Shelf de l'OSU comme base de constantes harmoniques améliore grandement les résultats, en particulier pour les vitesses de courant, par rapport à l'utilisation de la base MJJ.

Pour la version 6.3, la prise en compte correcte de l'heure de l'origine des temps avec la base MJJ (en dehors de 0 h et 12 h UTC), le traitement plus correct des conditions initiales à partir des solutions de l'OSU (en 3D et pour des bathymétries non référencées par rapport au niveau moyen de la mer), l'interpolateur à optimiser, en parallèle notamment, la possibilité de traiter des modèles en coordonnées Lambert 93, sont à regarder. Une réflexion pourrait être portée sur la possibilité de générer le fichier des constantes harmoniques en mode parallèle (développement dans le programme partel ?) pour les bases MJJ et NEA. La possibilité d'utiliser le modèle mondial FES2004 à 14 ondes (juste pour les cotes) ou FES2012 voire FES2013 (à la fois pour les cotes et les vitesses horizontales) [18] sera regardée. Certains développements seront intégrés en version 6.3.

10. Références

- [1] Pham C.-T. (2012). Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec TELEMAR-2D. Rapport EDF R&D-LNHE H-P74-2011-02581-FR.
- [2] Janin, J.-M., Blanchard, X. (1992). Simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique – Rapport final. Rapport EDF R&D-LNH HE-42/92.58 (référence Eureka H-E40-1992-02916-FR).
- [3] Schureman P. (1924, réédition 1971). Manual of harmonic analysis and prediction of tides. U.S. Coast and Geodetic Survey.
- [4] Pairaud I. L., Lyard, F., Auclair, F., Letellier, T., Marsaleix, P. (2008). Dynamics of the semi-diurnal and quarter-diurnal internal tides in the Bay of Biscay. Part 1: Barotropic tides. Continental Shelf Research vol. 28 (1011), pp. 1294–1315.
- [5] Pairaud, I. L., Auclair, F., Marsaleix, P., Lyard, F., Pichon, A. (2010). Dynamics of the semi-diurnal and quarter-diurnal internal tides in the Bay of Biscay. Part 2: Baroclinic tides. Continental Shelf Research vol. 30 (3-4), pp. 253–269.
- [6] <http://sirocco.omp.obs-mip.fr/outils/Tugo/Produits/TugoProduits.htm>
- [7] <http://www.legos.obs-mip.fr/recherches/equipes/ecola/outils-produits>
- [8] sirocco@aero.obs-mip.fr
- [9] <http://volkov.oce.orst.edu/tides>
- [10] Simon, B. (2007). La marée océanique côtière. Institut océanographique éditeur.
- [11] Pugh, D. T. (1987, réédition 1996). Tides, Surges and Mean Sea-Level. John Wiley & Sons.
- [12] Service de géodésie et nivellement de l'IGN (1995). Projection cartographique Mercator Transverse. Algorithmes. Note technique NT/G 76. Disponible sur le site internet de l'IGN : http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/algorithmes/notice/NTG_76.pdf
- [13] Service de géodésie et nivellement de l'IGN (1995). Projection cartographique conique conforme de Lambert. Algorithmes. Note technique NT/G 71. Disponible sur le site internet de l'IGN : http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/algorithmes/notice/NTG_71.pdf
- [14] Service de géodésie et nivellement de l'IGN (1995). Changement de système géodésique. Algorithmes. Note technique NT/G 80. Disponible sur le site internet de l'IGN :

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
--------------------	---	--

http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/algothmes/notice/NTG_80.pdf

[15]<http://www.legos.obs-mip.fr/recherches/equipes/ecola/outils-produits/comodo-tools>

[16]Site internet du SHOM : <http://www.shom.fr>

[17]Pham, C.-T., Lyard, F. (2012). Use of tidal harmonic constants databases to force open boundary conditions in TELEMAC. 19th TELEMAC-MASCARET User Conference Proceedings, Oxford, UK.

[18]<http://www.legos.obs-mip.fr/recherches/equipes/ecola/projets/fes2012>

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

```

! NODALCORR: OPTION FOR CALCULATION OF NODAL FACTOR CORRECTION F
! IN SUBROUTINES BORD_TIDE AND BORD_TIDE_LEGOS
! DEFAULT = 1 (FROZEN AT THE DATE MARDAT + HOUR MARTIM +
TEMPS)
! 0: NOT FROZEN, COMPUTED AT EACH TIME STEP
! 1: FROZEN WITH VALUE AT THE BEGINNING OF THE SIMULATION
! 2: FROZEN WITH VALUE AT THE MIDDLE OF THE YEAR IN MARDAT
! (SINGLE FORMER POSSIBILITY FOR TIDALTYPE = 7)
! IN THE STEERING FILE, THE KEYWORDS 'ORIGINAL DATE OF TIME'
! AND 'ORIGINAL HOUR OF TIME' HAVE TO BE SET
! WARNING, FORMAT: YEAR, MONTH, DAY
!
NODALCORR = 1
!
! TIDALBCGEN: LOGICAL FOR GENERATION OF TIDAL BOUNDARY CONDITIONS OR
NOT
! CURRENTLY WORKS ONLY FOR SCALAR COMPUTATIONS
! FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
TIDALBCGEN = .FALSE.
!
! ICALHW: NUMBER THAT MAY BE CHOSEN BY THE USER TO CALIBRATE HIGH WATER
! OR AUTOMATICALLY CHOSEN, WHEN MODELLING A SCHEMATIC TIDE
! IN SUBROUTINE BORD_TIDE
! DEFAULT = 0 (AUTOMATICALLY CHOSEN)
! FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
ICALHW = 0
!
! TM2S2N2EQUAL: LOGICAL TO IMPOSE THE PERIODS OF S2 AND N2 WAVES
! TO BE EQUAL TO THE PERIOD OF M2 WAVE
! DEFAULT = .FALSE.
! FOR SCHEMATIC TIDES MODELLING ONLY!
! FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
TM2S2N2EQUAL = .FALSE.
!
! OPTIONAL SHIFT OF COORDINATES
! FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
XSHIFT = 0.D0
YSHIFT = 0.D0
!
! BETA: OPTIONAL ANGLE (IN DEGREES) BETWEEN LAMBERT AND MERCATOR-JMJ
! REFERENCES (EAST OR X AXES, TRIGONOMETRIC)
! DEFAULT = 0.D0 DEGREES
! FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
BETA = 0.D0
!
! FILES:
!
T2DBDD: TIDE DATA BASE
T2DHAR: HARMONIC CONSTANTS FILE
T2DTID: TIDAL MODEL FILE
!
-----
!

```

```

!      AUTOMATIC TIDAL BOUNDARY CONDITIONS
!
      IF (TIDALDB.EQ.1) THEN
        IF (TIDALBCGEN) THEN
          IF (T2D_FILES (T2DBDD) %NAME (1:1) .EQ. ' ') THEN
            IF (LNG.EQ.1) THEN
              WRITE (LU, *) 'POUR GENERER LE FICHIER DES CONSTANTES'
              WRITE (LU, *) 'HARMONIQUES POUR LA BASE DE DONNEES DE JMJ,'
              WRITE (LU, *) 'DONNER LE FICHIER'
              WRITE (LU, *) 'BASE ASCII DE DONNEES DE MAREE.'
            ENDIF
            IF (LNG.EQ.2) THEN
              WRITE (LU, *) 'TO GENERATE THE HARMONIC CONTANTS FILE'
              WRITE (LU, *) 'FOR JMJ DATA BASE, PLEASE GIVE'
              WRITE (LU, *) 'ASCII DATABASE FOR TIDE FILE.'
            ENDIF
            CALL PLANTE (1)
            STOP
          ENDIF
          IF (T2D_FILES (T2DTID) %NAME (1:1) .EQ. ' ') THEN
            IF (LNG.EQ.1) THEN
              WRITE (LU, *) 'POUR GENERER LE FICHIER DES CONSTANTES'
              WRITE (LU, *) 'HARMONIQUES POUR LA BASE DE DONNEES DE JMJ,'
              WRITE (LU, *) 'DONNER LE FICHIER DU MODELE DE MAREE.'
            ENDIF
            IF (LNG.EQ.2) THEN
              WRITE (LU, *) 'TO GENERATE THE HARMONIC CONTANTS FILE'
              WRITE (LU, *) 'FOR JMJ DATA BASE, PLEASE GIVE'
              WRITE (LU, *) 'THE TIDAL MODEL FILE'
            ENDIF
            CALL PLANTE (1)
            STOP
          ENDIF
          IF (T2D_FILES (T2DHAR) %NAME (1:1) .EQ. ' ') THEN
            IF (LNG.EQ.1) THEN
              WRITE (LU, *) 'DONNER LE FICHIER DES CONSTANTES HARMONIQUES'
            ENDIF
            IF (LNG.EQ.2) THEN
              WRITE (LU, *) 'PLEASE GIVE THE HARMONIC CONTANTS FILE.'
            ENDIF
            CALL PLANTE (1)
            STOP
          ENDIF
          CALL BORD_TIDAL_BC (MESH%NBOR%I, LIHBOR%I, LIUBOR%I,
&                          NPTFR, KENT, KENTU,
&                          MESH, GEOSYST, NUMZONE, LAMBDO, PHI0,
&                          TIDALTYPE, BOUNDARY_COLOUR, MAXFRO,
&                          T2D_FILES (T2DBDD) %LU,
&                          T2D_FILES (T2DTID) %LU,
&                          T2D_FILES (T2DHAR) %LU, XSHIFT, YSHIFT, BETA)
        ENDIF
!
      IF (T2D_FILES (T2DHAR) %NAME (1:1) .EQ. ' ') THEN
        IF (LNG.EQ.1) THEN
          WRITE (LU, *) 'DONNER LE FICHIER DES CONSTANTES HARMONIQUES.'
        ENDIF
        IF (LNG.EQ.2) THEN
          WRITE (LU, *) 'PLEASE GIVE THE HARMONIC CONTANTS FILE.'
        ENDIF
      ENDIF

```

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

```

ENDIF
CALL PLANTE (1)
STOP
ENDIF
CALL BORD_TIDE (ZF%R, MESH%NBOR%I, LIHBOR%I, LIUBOR%I,
& NPOIN, NPTFR, AT, DT, NCOTE, NVITES,
& NUMLIQ%I, KENT, KENTU,
& T2D_FILES (T2DIMP) %NAME, TIDALTYPE,
& CTIDE, MSL, CTIDEV, NODALCORR, T2D_FILES (T2DHAR) %LU,
& BOUNDARY_COLOUR,
& HBTIDE, UBTIDE, VBTIDE, NUMTIDE, ICALHW,
& MARDAT, MARTIM, TM2S2N2EQUAL)
ELSEIF (TIDALDB.EQ.2) THEN
CALL BORD_TIDE_TPXO (ZF%R, MESH%NBOR%I, LIHBOR%I, LIUBOR%I,
& NPOIN, NPTFR, AT, NCOTE, NVITES,
& NUMLIQ%I, KENT, KENTU, MESH,
& T2D_FILES (T2DIMP) %NAME, TIDALTYPE,
& CTIDE, MSL, CTIDEV, NODALCORR,
& BOUNDARY_COLOUR,
& HBTIDE, UBTIDE, VBTIDE, NUMTIDE, ICALHW,
& MARDAT, MARTIM, T2D_FILES, T2DBB1, T2DBB2,
& X, Y, GEOSYST, NUMZONE, LAMBD0, PHI0, INTMICON)
ELSEIF (TIDALDB.EQ.3) THEN
IF (T2D_FILES (T2DHAR) %NAME (1:1).EQ. ' ') THEN
IF (LNG.EQ.1) THEN
WRITE (LU, *) 'DONNER LE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES.'
ENDIF
IF (LNG.EQ.2) THEN
WRITE (LU, *) 'PLEASE GIVE THE HARMONIC CONTANTS FILE.'
ENDIF
CALL PLANTE (1)
STOP
ENDIF
CALL BORD_TIDE_LEGOS (ZF%R, MESH%NBOR%I, LIHBOR%I, LIUBOR%I,
& NPOIN, NPTFR, AT, DT, NCOTE, NVITES,
& NUMLIQ%I, KENT, KENTU,
& T2D_FILES (T2DIMP) %NAME, TIDALTYPE,
& CTIDE, MSL, CTIDEV, NODALCORR,
& T2D_FILES (T2DHAR) %LU, BOUNDARY_COLOUR,
& HBTIDE, UBTIDE, VBTIDE, NUMTIDE, ICALHW,
& MARDAT, MARTIM)
ELSEIF (TIDALDB.EQ.-1) THEN
IF (LNG.EQ.1) THEN
WRITE (LU, *) 'VALEUR PAR DEFAULT INCORRECTE POUR LA BASE'
WRITE (LU, *) 'DE DONNEES DE MAREE. CHOIX POSSIBLES : '
WRITE (LU, *) ' -1 : JMJ ; '
WRITE (LU, *) ' -2 : TPXO ; '
WRITE (LU, *) ' -3 : LEGOS-NEA. '
ENDIF
IF (LNG.EQ.2) THEN
WRITE (LU, *) 'INCORRECT DEFAULT VALUE FOR TIDAL DATA BASE.'
WRITE (LU, *) 'POSSIBLE CHOICES: '
WRITE (LU, *) ' -1: JMJ, '
WRITE (LU, *) ' -2: TPXO, '
WRITE (LU, *) ' -3: LEGOS-NEA. '
ENDIF
CALL PLANTE (1)
STOP

```


EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

```

!+
!
!history C-T PHAM (LNHE)
!+      27/09/2011
!+      V6P2
!+
!
!-----
!|              |-->|
!-----
!
      USE BIEF
      USE DECLARATIONS_TELEMAC
      USE DECLARATIONS_TELEMAC3D
      USE INTERFACE_TELEMAC2D
      USE TPXO
!
      IMPLICIT NONE
      INTEGER LNG,LU
      COMMON/INFO/LNG,LU
!
!-----
!-----
!
      INTEGER K,NODALCORR,ICALHW,NP,IBORD
      DOUBLE PRECISION XSHIFT,YSHIFT,BETA0
      LOGICAL TIDALBCGEN,TM2S2N2EQUAL
!
!-----
!
      PARAMETERS FOR TIDAL BOUNDARY CONDITIONS
!
      CTIDEV: COEFFICIENT TO CALIBRATE THE VELOCITIES
              DEFAULT = SQRT(CTIDE)
!
      ACCORDING TO DV, IF A CORRECTION COEFFICIENT CTIDE IS APPLIED
      FOR WATER DEPTHS, ANOTHER ONE MUST BE APPLIED FOR VELOCITIES
      = SQRT(CTIDE)
!
      IF(CTIDEV.EQ.999999.D0) CTIDEV = SQRT(CTIDE)
!
      NODALCORR: OPTION FOR CALCULATION OF NODAL FACTOR CORRECTION F
      IN SUBROUTINES BORD_TIDE AND BORD_TIDE_LEGOS
      DEFAULT = 1 (FROZEN AT THE DATE MARDAT + HOUR MARTIM +
TEMPS)
!
      0: NOT FROZEN, COMPUTED AT EACH TIME STEP
      1: FROZEN WITH VALUE AT THE BEGINNING OF THE SIMULATION
      2: FROZEN WITH VALUE AT THE MIDDLE OF THE YEAR IN MARDAT
      (SINGLE FORMER POSSIBILITY FOR TIDALTYPE = 7)
!
      IN THE STEERING FILE, THE KEYWORDS 'ORIGINAL DATE OF TIME'
      AND 'ORIGINAL HOUR OF TIME' HAVE TO BE SET
      WARNING, FORMAT: YEAR, MONTH, DAY
!
      NODALCORR = 1
!

```

```

! TIDALBCGEN: LOGICAL FOR GENERATION OF TIDAL BOUNDARY CONDITIONS OR
NOT
!           CURRENTLY WORKS ONLY FOR SCALAR COMPUTATIONS
!           FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
TIDALBCGEN = .FALSE.
!
! ICALHW: NUMBER THAT MAY BE CHOSEN BY THE USER TO CALIBRATE HIGH WATER
!         OR AUTOMATICALLY CHOSEN, WHEN MODELLING A SCHEMATIC TIDE
!         IN SUBROUTINE BORD_TIDE
!         DEFAULT = 0 (AUTOMATICALLY CHOSEN)
!         FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
ICALHW = 0
!
! TM2S2N2EQUAL: LOGICAL TO IMPOSE THE PERIODS OF S2 AND N2 WAVES
!               TO BE EQUAL TO THE PERIOD OF M2 WAVE
!               DEFAULT = .FALSE.
!               FOR SCHEMATIC TIDES MODELLING ONLY!
!               FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
TM2S2N2EQUAL = .FALSE.
!
! OPTIONAL SHIFT OF COORDINATES
! FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
XSHIFT = 0.D0
YSHIFT = 0.D0
!
! BETA0: OPTIONAL ANGLE (IN DEGREES) BETWEEN LAMBERT AND MERCATOR-JMJ
!        REFERENCES (EAST OR X AXES, TRIGONOMETRIC)
!        DEFAULT = 0.D0 DEGREES
!        FOR JMJ DATA BASE ONLY AT THE MOMENT
!
BETA0 = 0.D0
!
FILES:
!
T3DBDD: TIDE DATA BASE
T3DHAR: HARMONIC CONSTANTS FILE
T3DTID: TIDAL MODEL FILE
!
-----
!
! AUTOMATIC TIDAL BOUNDARY CONDITIONS
!
IF(TIDALDB.EQ.1) THEN
  IF(TIDALBCGEN) THEN
    IF(T3D_FILES(T3DBDD)%NAME(1:1).EQ.' ') THEN
      IF(LNG.EQ.1) THEN
        WRITE(LU,*) 'POUR GENERER LE FICHIER DES CONSTANTES'
        WRITE(LU,*) 'HARMONIQUES POUR LA BASE DE DONNEES DE JMJ,'
        WRITE(LU,*) 'DONNER LE FICHIER'
        WRITE(LU,*) 'BASE ASCII DE DONNEES DE MAREE.'
      ENDIF
      IF(LNG.EQ.2) THEN
        WRITE(LU,*) 'TO GENERATE THE HARMONIC CONTANTS FILE'
        WRITE(LU,*) 'FOR JMJ DATA BASE, PLEASE GIVE'
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF

```

```

        WRITE(LU,*) 'ASCII DATABASE FOR TIDE FILE.'
    ENDIF
    CALL PLANTE(1)
    STOP
ENDIF
IF(T3D_FILES(T3DTID)%NAME(1:1).EQ.' ') THEN
    IF(LNG.EQ.1) THEN
        WRITE(LU,*) 'POUR GENERER LE FICHER DES CONSTANTES'
        WRITE(LU,*) 'HARMONIQUES POUR LA BASE DE DONNEES DE JMJ,'
        WRITE(LU,*) 'DONNER LE FICHER DU MODELE DE MAREE.'
    ENDIF
    IF(LNG.EQ.2) THEN
        WRITE(LU,*) 'TO GENERATE THE HARMONIC CONTANTS FILE'
        WRITE(LU,*) 'FOR JMJ DATA BASE, PLEASE GIVE'
        WRITE(LU,*) 'THE TIDAL MODEL FILE'
    ENDIF
    CALL PLANTE(1)
    STOP
ENDIF
IF(T3D_FILES(T3DHAR)%NAME(1:1).EQ.' ') THEN
    IF(LNG.EQ.1) THEN
        WRITE(LU,*) 'DONNER LE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES'
    ENDIF
    IF(LNG.EQ.2) THEN
        WRITE(LU,*) 'PLEASE GIVE THE HARMONIC CONTANTS FILE.'
    ENDIF
    CALL PLANTE(1)
    STOP
ENDIF
CALL BORD_TIDAL_BC(MESH2D%NBOR%I,LIHBOR%I,LIUBOL%I,
&                NPTFR2,KENT,KENTU,
&                MESH2D,GEOSYST,NUMZONE,LATIT,LONGIT,
&                TIDALTYPE,BOUNDARY_COLOUR,MAXFRO,
&                T3D_FILES(T3DBDD)%LU,
&                T3D_FILES(T3DTID)%LU,
&                T3D_FILES(T3DHAR)%LU,XSHIFT,YSHIFT,BETA0)
ENDIF
!
IF(T3D_FILES(T3DHAR)%NAME(1:1).EQ.' ') THEN
    IF(LNG.EQ.1) THEN
        WRITE(LU,*) 'DONNER LE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES.'
    ENDIF
    IF(LNG.EQ.2) THEN
        WRITE(LU,*) 'PLEASE GIVE THE HARMONIC CONTANTS FILE.'
    ENDIF
    CALL PLANTE(1)
    STOP
ENDIF
CALL BORD_TIDE(ZF%R,MESH2D%NBOR%I,LIHBOR%I,LIUBOL%I,
&             NPOIN2,NPTFR2,AT,DT,NCOTE,NVIT,
&             NUMLIQ%I,KENT,KENTU,
&             T3D_FILES(T3DIMP)%NAME,TIDALTYPE,
&             CTIDE,MSL,CTIDEV,NODALCORR,T3D_FILES(T3DHAR)%LU,
&             BOUNDARY_COLOUR,
&             HBTIDE,UBTIDE,VBTIDE,NUMTIDE,ICALHW,
&             MARDAT,MARTIM,TM2S2N2EQUAL)
ELSEIF(TIDALDB.EQ.2) THEN
    CALL BORD_TIDE_TPXO(ZF%R,MESH2D%NBOR%I,LIHBOR%I,LIUBOL%I,

```

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

```

&          NPOIN2,NPTFR2,AT,NCOTE,NVIT,
&          NUMLIQ%I,KENT,KENTU,MESH2D,
&          T3D_FILES(T3DIMP)%NAME,TIDALTYPE,
&          CTIDE,MSL,CTIDEV,NODALCORR,
&          BOUNDARY_COLOUR,
&          HBTIDE,UBTIDE,VBTIDE,NUMTIDE,ICALHW,
&          MARDAT,MARTIM,T3D_FILES,T3DBB1,T3DBB2,
&          X,Y,GEOSYST,NUMZONE,LATIT,LONGIT,INTMICON)
ELSEIF(TIDALDB.EQ.3) THEN
  IF(T3D_FILES(T3DHAR)%NAME(1:1).EQ.' ') THEN
    IF(LNG.EQ.1) THEN
      WRITE(LU,*) 'DONNER LE FICHIER DES CONSTANTES HARMONIQUES.'
    ENDIF
    IF(LNG.EQ.2) THEN
      WRITE(LU,*) 'PLEASE GIVE THE HARMONIC CONTANTS FILE.'
    ENDIF
    CALL PLANTE(1)
    STOP
  ENDIF
  CALL BORD_TIDE_LEGOS(ZF%R,MESH2D%NBOR%I,LIHBOR%I,LIUBOL%I,
&          NPOIN2,NPTFR2,AT,DT,NCOTE,NVIT,
&          NUMLIQ%I,KENT,KENTU,
&          T3D_FILES(T3DIMP)%NAME,TIDALTYPE,
&          CTIDE,MSL,CTIDEV,NODALCORR,
&          T3D_FILES(T3DHAR)%LU,BOUNDARY_COLOUR,
&          HBTIDE,UBTIDE,VBTIDE,NUMTIDE,ICALHW,
&          MARDAT,MARTIM)
ELSEIF(TIDALDB.EQ.-1) THEN
  IF(LNG.EQ.1) THEN
    WRITE(LU,*) 'VALEUR PAR DEFAULT INCORRECTE POUR LA BASE'
    WRITE(LU,*) 'DE DONNEES DE MAREE. CHOIX POSSIBLES : '
    WRITE(LU,*) ' -1 : JMJ ;'
    WRITE(LU,*) ' -2 : TPXO ;'
    WRITE(LU,*) ' -3 : LEGOS-NEA.'
  ENDIF
  IF(LNG.EQ.2) THEN
    WRITE(LU,*) 'INCORRECT DEFAULT VALUE FOR TIDAL DATA BASE.'
    WRITE(LU,*) 'POSSIBLE CHOICES: '
    WRITE(LU,*) ' -1: JMJ, '
    WRITE(LU,*) ' -2: TPXO, '
    WRITE(LU,*) ' -3: LEGOS-NEA.'
  ENDIF
  CALL PLANTE(1)
  STOP
ELSE
  IF(LNG.EQ.1) THEN
    WRITE(LU,*) 'BASE DE DONNEES DE MAREE NON TRAITEE.'
    WRITE(LU,*) 'CHOIX POSSIBLES : '
    WRITE(LU,*) ' -1 : JMJ ;'
    WRITE(LU,*) ' -2 : TPXO ;'
    WRITE(LU,*) ' -3 : LEGOS-NEA.'
  ENDIF
  IF(LNG.EQ.2) THEN
    WRITE(LU,*) 'TIDAL DATA BASE NOT TAKEN INTO ACCOUNT.'
    WRITE(LU,*) 'POSSIBLE CHOICES: '
    WRITE(LU,*) ' -1: JMJ, '
    WRITE(LU,*) ' -2: TPXO, '
    WRITE(LU,*) ' -3: LEGOS-NEA.'
  ENDIF

```

```

      ENDIF
      CALL PLANTE (1)
      STOP
    ENDIF
!
!-----
!
DO K=1,NPTFR2
  IF (NUMTIDE%I(K).GT.0) THEN
!     POSSIBLE SMOOTHING AT THE BEGINNING
!     IF (AT.LT.1800.D0) THEN
!       UBTIDE%R(K) = UBTIDE%R(K) * (AT/1800.D0)
!       VBTIDE%R(K) = VBTIDE%R(K) * (AT/1800.D0)
!     ENDIF
!     IF (LIUBOL%I(K).EQ.KENTU) THEN
!       DO NP=1,NPLAN
!         IBORD=(NP-1)*NPTFR2+K
!         UBORL%R(IBORD) = UBTIDE%R(K)*COS(ALF)+VBTIDE%R(K)*SIN(ALF)
!         VBORL%R(IBORD) = -VBTIDE%R(K)*SIN(ALF)+VBTIDE%R(K)*COS(ALF)
!         UBORL%R(IBORD) = UBTIDE%R(K)
!         VBORL%R(IBORD) = VBTIDE%R(K)
!         WBORL%R(IBORD) = 0.D0
!       ENDDO
!     ENDIF
!     IF (LIHBOR%I(K).EQ.KENT) THEN
!       HBOR%R(K) = HBTIDE%R(K)
!     ENDIF
!   ENDIF
! ENDIF
! ENDDO
!
!-----
!
RETURN
END

```

Multiplication de la vitesse de la marée par une éventuelle fonction rampe

Projection éventuelle de la vitesse sur les axes du repère local

ANNEXE 2 : EXEMPLE DE FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES

Attention : il est nécessaire de bien respecter les codes à imposer :

- 5 6 6 pour hauteur d'eau et composantes de vitesse imposées,
- 4 6 6 pour des composantes de vitesse imposées,
- 4 5 5 pour un débit imposé,
- 5 4 4 pour une hauteur d'eau imposée,
- 2 2 2 pour une paroi solide.

En particulier, au niveau des frontières liquides sur lesquelles la vitesse de la marée est imposée, on veillera à bien mettre le code 4 6 6 ou 5 6 6 (voir ci-dessous, surligné en jaune).

```

2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 1 1
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 106 2
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 118 3
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 368 4
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 94 5

...

2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 284 245
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 190 246
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 45 247
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 7 248
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 58 249
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 354 255
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 216 256
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 292 257
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 227 258
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 121 259
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 157 260

...

5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 379 335
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 44 336
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 325 337
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 250 338
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 210 339
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 313 340
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 287 341
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 269 342
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 79 343
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 48 344
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 1979 345

...

2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 377 400
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 299 401
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 882 402
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 863 403
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 870 404
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 273 405

```

Frontière
sur
laquelle
on
impose
la marée

ANNEXE 3 : EXEMPLE DE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MARÉE POUR LA BASE JMJ

1						
	250	339				← Nombre de frontières continues sur lesquelles on impose la marée
						← Bornes des frontières sur lesquelles on impose la marée (ici, une seule ligne car une seule frontière)
250	-0.88					
	3.245	159.2	0.605	85.0	0.852	266.4
	1.277	207.3	0.236	132.1	0.337	314.9
	0.619	141.7	0.109	67.8	0.157	249.8
	0.068	263.1	0.045	209.8	0.061	27.4
251	-3.26					← Numéro local du nœud de frontière + cote du fond interpolée
	3.241	159.1	0.656	85.3	0.852	267.6
	1.275	207.2	0.256	132.2	0.339	315.9
	0.618	141.6	0.119	68.0	0.157	251.0
	0.067	262.5	0.049	210.8	0.060	27.5
252	-5.80					A _{HM2} , φ _{HM2} , A _{UM2} , φ _{UM2} , A _{VM2} , φ _{VM2} A _{HS2} , φ _{HS2} , A _{US2} , φ _{US2} , A _{VS2} , φ _{VS2} A _{HN2} , φ _{HN2} , A _{UN2} , φ _{UN2} , A _{VN2} , φ _{VN2} A _{HM4} , φ _{HM4} , A _{UM4} , φ _{UM4} , A _{VM4} , φ _{VM4}
	3.237	159.1	0.693	85.7	0.849	268.4
	1.273	207.1	0.271	132.3	0.338	316.7
	0.618	141.6	0.125	68.3	0.157	251.7
	0.067	262.2	0.052	211.6	0.059	27.4
...						
304	-56.17					
	2.937	155.9	1.044	112.3	0.177	216.4
	1.155	203.0	0.431	155.6	0.062	263.1
	0.565	137.8	0.201	93.0	0.031	193.6
	0.038	233.3	0.047	212.3	0.009	12.0
305	-57.33					51 ^e nœud (= 305-250+1) de la frontière sur laquelle on impose la marée : nœud de référence choisi pour le déphasage des ondes, pour la simulation de marées types.
	2.926	155.5	1.030	112.2	0.171	208.8
	1.150	202.6	0.425	155.4	0.059	254.0
	0.564	137.4	0.198	92.8	0.030	185.1
	0.038	230.3	0.046	212.6	0.007	9.3
306	-59.08					
	2.915	155.1	1.000	112.3	0.175	202.4
	1.146	202.1	0.412	155.4	0.061	245.9
	0.562	137.0	0.192	93.0	0.031	178.6
	0.038	227.1	0.045	214.3	0.006	2.7
...						
337	-3.78					
	2.977	149.7	0.571	87.3	0.213	97.0
	1.164	196.2	0.218	127.6	0.082	136.2
	0.573	131.5	0.102	67.4	0.038	76.8
	0.049	209.8	0.034	221.6	0.012	221.4
338	-1.98					
	2.977	149.6	0.557	86.1	0.208	94.2
	1.165	196.2	0.212	126.4	0.079	133.3
	0.574	131.5	0.099	66.2	0.037	74.0
	0.049	209.7	0.033	222.5	0.012	222.4
339	-0.18					
	2.977	149.6	0.545	84.9	0.204	91.2
	1.165	196.1	0.206	125.1	0.078	130.3
	0.574	131.4	0.096	65.0	0.036	70.9
	0.049	209.6	0.033	223.5	0.012	223.5

ANNEXE 4 : EXEMPLE DE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MARÉE POUR L'ATLAS NEA

1 ← Nombre de frontières continues sur lesquelles on impose la marée
525 701 ← Bornes des frontières sur lesquelles on impose la marée (ici, une seule ligne car une seule frontière)
177 47 M ← Nombre de nœuds de frontières maritimes NPTFRL, nombre d'ondes disponibles dans le fichier et unité (M = en mètres)
2MK6

```
-2.886149 48.701096 0.013936 317.977203 0.003326 197.947632 0.003823 23.528519
-2.881960 48.702286 0.013931 318.020996 0.003261 198.111374 0.003886 24.619614
-2.877318 48.703606 0.013931 318.170380 0.003116 198.791656 0.004025 27.123814
```

NPTFRL lignes

```
...
-3.333333 48.837246 0.008914 282.450378 0.006761 199.499924 0.002344 202.080338
-3.333335 48.834553 0.008914 282.449951 0.006761 199.484482 0.002344 202.057068
-3.333334 48.831860 0.008800 282.073975 0.006869 186.737930 0.002900 186.343658
```

2MN6 ← Nom de l'onde (quatre caractères maximum)

```
-2.886149 48.701096 0.033758 246.402710 0.008611 143.746552 0.009938 326.549591
-2.881960 48.702286 0.033736 246.449341 0.008427 144.115219 0.010091 327.315491
-2.877318 48.703606 0.033721 246.613495 0.008031 145.207092 0.010424 329.088348
```

NPTFRL lignes

```
...
-3.333333 48.837246 0.021493 210.969345 0.015119 140.050003 0.005300 145.719666
-3.333335 48.834553 0.021492 210.968796 0.015119 140.037186 0.005301 145.696487
-3.333334 48.831860 0.021175 210.515213 0.015594 129.543930 0.006591 130.120193
```

↑ Longitude, Latitude, A_H , φ_H , A_U , φ_U , A_V , φ_V

```
Z0
-2.886149 48.701096 0.044377 180.000000 0.059249 180.000000 0.056397 -0.000000
-2.881960 48.702286 0.044339 180.000000 0.059517 180.000000 0.056592 -0.000000
-2.877318 48.703606 0.044083 180.000000 0.059405 180.000000 0.056424 -0.000000
```

NPTFRL lignes

```
...
-3.333333 48.837246 0.032909 180.000000 0.026094 360.000000 0.013002 180.000000
-3.333335 48.834553 0.032906 180.000000 0.026047 360.000000 0.013000 180.000000
-3.333334 48.831860 0.030719 180.000000 0.008657 180.000015 0.011139 180.000000
```

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée avec la version 6.2 de TELEMAR-2D et TELEMAR-3D	H-P74-2012-02534-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

ANNEXE 5 : EXEMPLE DE FICHER DES PARAMÈTRES POUR TELEMAR-2D

```

PROCESSEURS PARALLELES                : 12
/-----/
/
/              ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE
/-----/
FICHER FORTRAN                        : princi.f
FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES    : conlim
FICHER DE GEOMETRIE                  : geo
BASE BINAIRE 1 DE DONNEES DE MAREE  : hf.ES2008.out
BASE BINAIRE 2 DE DONNEES DE MAREE  : uv.ES2008.out
FICHER DES RESULTATS                 : res2d
/-----/
/
/              OPTIONS GENERALES
/-----/
VARIABLES POUR LES SORTIES GRAPHIQUES : 'U,V,H,M'
PAS DE TEMPS                         : 20.
NOMBRE DE PAS DE TEMPS               : 120960
PERIODE POUR LES SORTIES GRAPHIQUES  : 30
PERIODE DE SORTIE LISTING            : 4320
BILAN DE MASSE                       : OUI
/-----/
/
/              CONDITIONS INITIALES
/-----/
/ YEAR, MONTH, DAY
DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS          : 2012;12;17
HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS         : 0;0;0
CONDITIONS INITIALES : 'ALTIMETRIE SATELLITE TPXO'
/-----/
/
/              CONDITIONS AUX LIMITES
/-----/
OPTION POUR LES FRONTIERES LIQUIDES  : 2
/-----/
/
/              CONDITIONS DE MAREE
/-----/
OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE : 1

```

```

BASE DE DONNEES DE MAREE : 2
COEFFICIENT DE CALAGE DU MARNAGE : 1.06
COEFFICIENT DE CALAGE DES VITESSES DE COURANT : 1.10
SYSTEME GEOGRAPHIQUE : 4
NUMERO DE FUSEAU OU PROJECTION DANS LE SYSTEME GEOGRAPHIQUE : 1
/-----/
/
OPTIONS PHYSIQUES
/-----/
LOI DE FROTTEMENT SUR LE FOND : 3
COEFFICIENT DE FROTTEMENT : 27.
/
CORIOLIS : OUI
COEFFICIENT DE CORIOLIS : 1.10E-4
/-----/
/
OPTIONS NUMERIQUES
/-----/
DISCRETISATIONS EN ESPACE : 11 ; 11
STOCKAGE DES MATRICES : 3
COMPATIBILITE DU GRADIENT DE SURFACE LIBRE : 0.5
/
TRAITEMENT DU SYSTEME LINEAIRE : 2
/
FORME DE LA CONVECTION : 1;5
OPTION DE SUPG : 0;0
/
SOLVEUR : 1
PRECISION DU SOLVEUR : 1.E-4
MAXIMUM D'ITERATIONS POUR LE SOLVEUR : 500
PRECONDITIONNEMENT : 2
/
BANCS DECOUVRANTS : OUI
OPTION DE TRAITEMENT DES BANCS DECOUVRANTS : 1
/ POUR AVOIR DES HAUTEURS POSITIVES PARTOUT
MASS-LUMPING SUR H : 1.
CORRECTION DE CONTINUITE : OUI
TRAITEMENT DES HAUTEURS NEGATIVES : 2
&FIN

```