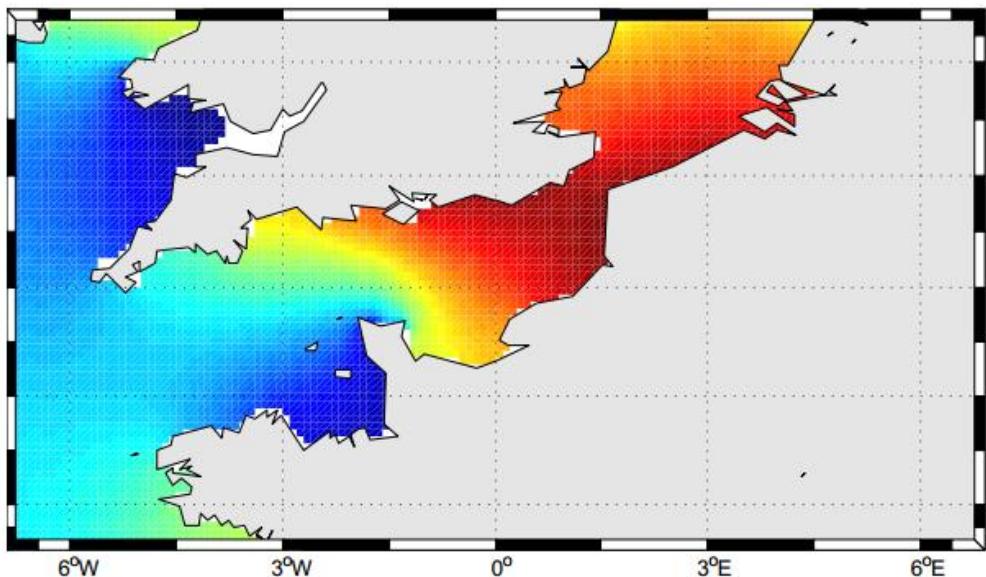


Master I Océanographie Physique et Biogéochimique

OPB205 : Modélisation de la circulation océanique

# Application du modèle ROMS à la Manche



**Mathieu Caffin**

Mai 2014

## Résumé

Dans l'essor de la prise de conscience générale du changement climatique, et dans la mise en place de nouveaux procédés énergétiques, la Manche de par sa courantologie atypique, due aux marées, est un terrain de jeu idéal pour l'installation d'énergies marines renouvelables (EMR). L'objectif de cette étude est d'implémenter le modèle de circulation océanique régional ROMS à cette zone de l'océan mondial. Les travaux s'articulent en deux parties, la première portant sur la mise en place du modèle sans considérer le phénomène de marée, la deuxième en considérant le caractère mégatidal de la Manche. Les résultats de la première partie montrent que la non prise en compte de la marée dans le modèle ne représente pas la circulation connue dans cette région. La mise en place du modèle avec le phénomène de marée n'a pas abouti mais ce rapport présente différentes pistes afin de réussir la mise en œuvre de modèle ROMS dans la Manche en prenant en considération la marée semi-diurne impactant cette région.

## Abstract

By the rise of the general awareness on the global warming, and the set-up of new renewable marine energy, the study of the atypical current of the English Channel Sea is important. The aim of this project is to implement the Regional Oceanic Modelling System (ROMS) in the region of the Channel Sea. This work is divided in two parts, the first part is a work on the Channel circulation without tidal impact, and in the second the work is based on the implementation of ROMS considering the tidal aspect of this region. The global circulation without tides does not reflect the in-situ results. That why the semi-diurnal tide has been considered in a second part. But the model with the tide has not succeeded yet. Some reflections are submitted to try to implement well ROMS on the English Channel Sea.

## Table des matières

1.	Introduction .....	3
2.	Matériels et Méthodes .....	4
2.1.	Modèle de circulation océanique régionale ROMS.....	4
2.1.1.	Equations Primitives .....	4
2.1.2.	Fermeture de la turbulence .....	4
2.1.3.	Approximations et hypothèses .....	5
2.1.4.	Discrétisation.....	5
2.1.5.	Conditions initiales, conditions aux limites .....	5
2.2.	Implémentation du modèle à la Manche.....	6
2.2.1.	Modèle sans marée .....	6
2.2.2.	Modèle soumis à la marée semi-diurne.....	7
3.	Résultats .....	9
3.1.	Modèle sans marée .....	9
3.2.	Modèle soumis à la marée .....	10
4.	Discussion .....	10
5.	Conclusion.....	12
	Annexes .....	14

## 1. Introduction

La Manche, mer épicontinentale bordée par les côtes Anglaises au Nord et par les côtes Françaises au Sud, s'étend sur 75000km<sup>2</sup> et présente une morphologie distincte des régions voisines. La Manche forme un corridor de 560km de long de la frontière largement ouverte à l'Ouest avec l'océan Atlantique et le Pas-de-Calais à l'Est ouvrant sur la mer du Nord. La profondeur maximale se situe dans la fosse centrale au Nord-Ouest de la presqu'île du Cotentin (Figure 1). En 1968, Cabioch sépare la Manche en deux bassins : le bassin occidental et le bassin oriental, tous deux séparé par une ligne fictive allant du Cap de la Hague en France jusqu'à la pointe Bill of Portland en Grande-Bretagne. Le bassin occidental est plus profond et largement influencé par les apports de l'océan Atlantique alors que le bassin oriental est moins profond et limité par le Pas-de-Calais. La circulation générale des masses d'eau en Manche est mise au clair par les travaux de Kautsky (1988) à l'aide d'isotopes radioactifs. A l'heure actuelle, la puissance des outils de calcul combinée à la connaissance générale sur la circulation océanique permet de résoudre les équations de la circulation océanique afin de représenter au mieux et de comprendre la dynamique océanique. L'utilisation de modèles océanographiques tels que Regional Ocean Modeling System (ROMS) permet d'appréhender la dynamique régionale avec une résolution la plus adéquate. La courantologie en Manche est due à sa morphologie et à deux principaux processus physique que sont la marée semi-diurne et l'action du vent. La marée semi-diurne provoque dans cette région des courants ayant un rôle important sur le transport des masses d'eau à court terme où à plus long terme avec le courant résiduel. Le forçage du vent peut inverser la circulation générale et avoir une influence destructrice sur les structures tourbillonnaires. Enfin les apports fluviaux pouvant impacter la dynamique de cette région et plus particulièrement le bassin oriental sont les apports d'eau douce par la Seine. La courantologie dans cette région fait de la Manche une zone potentiellement intéressante pour la mise en place d'énergies marines renouvelables telles que les hydroliennes et les usines marémotrices.

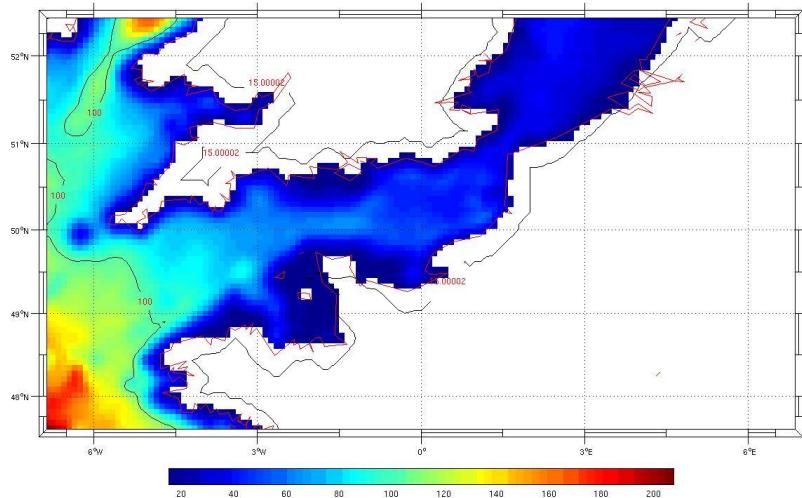


Figure 1: Bathymétrie de la région étudiée

L'objectif du travail présenté dans ce rapport est de mettre en place le modèle ROMS sur la région de la Manche, tout d'abord sans inclure la marée, puis dans un second temps en considérant le caractère mégatidal de cette région. Ensuite, les résultats obtenus seront comparés aux résultats disponibles dans la littérature. Enfin, nous verrons si le code ROMS est adapté à cette région de l'océan mondial.

## 2. Matériels et Méthodes

### 2.1. Modèle de circulation océanique régionale ROMS

Le système de modélisation océanique régionale ROMS est à l'heure actuelle de plus en plus utilisée par la communauté scientifique, ce qui permet une amélioration constante du modèle. Trois versions sont mises à la disposition des utilisateurs : deux versions américaines et une version française. La version ROMS\_AGRIF v3.0 est utilisée dans cette étude. Cette version est mise en place par l'Institut pour la Recherche et le Développement (IRD) et l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA). ROMS est un modèle numérique hydrodynamique tridimensionnel à surface libre basé sur la résolution des équations primitives de la circulation océanique. L'utilisation d'un base de données regroupant des observations satellites, des relevés météorologiques et des données *in-situ* issues de campagnes océanographiques, ainsi l'utilisation de paramétrisations et de schémas numériques complexes fait de ce modèle un modèle numérique nouvelle génération. De ce fait l'utilisation de ROMS requiert une grande puissance de calcul ainsi qu'une grande capacité de stockage. C'est pourquoi il a été utilisé le cluster informatique de l'Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO) pour faire fonctionner le modèle. Cependant les étapes de pré-processing et du post-processing, permettant respectivement de mettre en place le modèle et d'étudier les résultats, ont été réalisées sur les ordinateurs de la salle informatique de l'OSU Pythées.

#### 2.1.1. Equations Primitives

Le fondement du modèle ROMS consiste en la résolution des équations primitives du mouvement décrites par les équations de Navier-Stokes (1) (2) avec les équations de conservation de la chaleur (3) et de la salinité (4), l'équation d'état de l'eau de mer IES80 et l'équation de continuité (5).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{U} \nabla u - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 u + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{U} \nabla v + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 v + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{U} \nabla T = A_h \nabla_h^2 T + A_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{Q_c}{\rho_0 c_p} \frac{\partial I}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{U} \nabla S = A_h \nabla_h^2 S + A_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

#### 2.1.2. Fermeture de la turbulence

L'indétermination des termes de flux turbulent des équations primitives empêche la résolution du système d'équations. L'ajout d'équations appelées « de fermeture » est donc nécessaire. Ces équations permettent d'exprimer les termes indéterminés en fonction des variables calculées par le modèle. L'utilisation des équations de l'écoulement moyen de Reynolds permet l'apparition de ces termes de turbulences dans les équations de Navier-Stokes qui deviennent alors les équations Raynolds-averaged Navier-Stokes (RANS). L'emploi de l'hypothèse de fermeture newtonienne est nécessaire, c'est la relation entre les flux turbulents et les gradients des grandeurs moyennes non turbulentes.

Deux options sont possibles quant au choix des coefficients horizontaux. Ils peuvent être soit choisi constant, soit être déterminé à partir du schéma de Smagorinski. Dans le cas de cette étude, le choix est porté sur l'utilisation du schéma de Smagorinski. Deux méthodes de paramétrisation des coefficients verticaux sont à disposition de l'utilisateur du modèle ROMS : La méthode de Brunt-Väisälä Frequency mixing (BVF), où les coefficients sont déterminés sur la base de la stabilité de la fréquence de Brunt- Väisälä. La méthode KPP (K-Profile Parametrization) qui propose une paramétrisation des coefficients selon plusieurs couches suivant un profil vertical. C'est la deuxième méthode qui est utilisée dans cette étude.

### 2.1.3. Approximations et hypothèses

La résolution des équations utilisées dans le modèle est basée sur certaines approximations et hypothèses.

- Hypothèse hydrostatique : L'équation de mouvement sur la verticale dépend de l'équilibre entre le gradient vertical de pression et la force de pesanteur.
- Approximation de Boussinesq : Si les variations de densité sont faibles alors celle-ci est considérée constante dans toutes les équations hormis le terme de gravitation.
- Hypothèse d'incompressibilité : La masse volumique du fluide ne varie pas avec la pression. L'équation de continuité est valable pour le champ de vitesse moyen.
- Hypothèse de la turbulence horizontale isotrope : Les coefficients de viscosité turbulente horizontaux sont égaux.

### 2.1.4. Discréétisation

La discréétisation spatiale sur la verticale utilise les coordonnées sigma généralisées qui suivent les variations topographiques du fond marin. Ce type de grille permet de toujours avoir le même nombre de niveau verticaux. La discréétisation horizontale du modèle se fait sur une grille décalée d'Arakawa C.

La discréétisation temporelle utilise une méthode de séparation explicite des modes barotropes liés à la variation de la surface libre et des modes baroclines liés à la variation de la masse volumique. Le modèle 2D de surface (rapide) est couplé au modèle 3D (lent) afin de distinguer les ondes de gravité de surface et les ondes internes qui n'ont pas le même pas de temps.

Le critère de stabilité Courant-Friedrichs-Levy (CFL), équation (6), permet de lier la résolution spatiale avec la résolution temporelle afin que chaque phénomène ondulatoire ne se propage pas plus vite que d'une maille par pas de temps. La résolution spatiale est choisie en première, puis la résolution temporelle est définie telle que :

$$\Delta T \leq \frac{1}{\sqrt{gh_{max}}} \left[ \frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

### 2.1.5. Conditions initiales, conditions aux limites

Les conditions initiales du modèle sont prescrites à partir de la récupération de données du International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set Project (ICOADS) et du World Ocean Atlas (WOA). Les données récupérées sont utilisées dans la méthode dynamique afin de calculer les champs de courant 3D.

Les conditions aux limites sont paramétrées par l'utilisateur. L'utilisateur définit la condition en surface, au fond et les frontières latérales du modèle. Les frontières latérales sont

caractérisées comme ouverte si au moins une maille de grille est définie comme masse d'eau, sinon la frontière est caractérisée comme fermée.

## 2.2. Implémentation du modèle à la Manche

Deux types d'implémentations du modèle ont été réalisés dans la Manche. Une première implémentation a été réalisée sans prendre en compte le phénomène de marée. Puis une seconde implémentation dans laquelle a été pris en compte le phénomène de marée semi-diurne auquel est soumise cette région.

L'objectif primaire étant de centraliser le modèle sur la Manche, la zone définie s'étend de la pointe du Finistère jusqu'au Pas-de-Calais. Cependant il est tout de suite apparu un problème lors de l'étape de post-processing. En effet, la zone d'étude apparaît comme trop petite et le manque de données dans les différents atlas ne permettent pas la mise en place du modèle ROMS dans cette zone. Ainsi, la zone d'étude a été agrandi de la mer Celtique pour la limite ouest jusqu'au sud de la mer du Nord pour la limite est. Les coordonnées géographiques de la zone d'étude sont reportées ci-dessous :

Latitude maximum	52.5° Nord
Latitude minimum	47.5° Nord
Longitude maximum	7° Est
Longitude minimum	7° Ouest

Que ce soit pour le modèle sans marée ou pour le modèle soumis à la marée, les coordonnées géographiques de la zone d'étude sont les mêmes.

### 2.2.1. Modèle sans marée

Afin de prendre en main l'outil de travail ROMS, il a été décidé de le mettre en place dans la Manche en excluant le phénomène de marée auquel est soumise cette zone. Une fois la zone d'étude prise en compte, il est porté un intérêt sur la définition et la mise en place de la grille ainsi qu'à l'affectation des frontières. Ceci est effectué par l'utilisateur dans les fichiers *romstools\_param.m* et *param.h* (Tableau 1). De plus, il faut définir la nouvelle clé d'activation correspondant au modèle de l'étude dans le fichier *cppdefs.h*, dans lequel il est aussi défini l'activation ou la désactivation des frontières ouvertes.

Tableau 1 : Paramètres de la grille pour le modèle appliqué à la Manche

Paramètre	Valeur	Définition	Fichier
dl	1/10	Résolution du modèle (°)	<i>romstools_param.m</i>
N	32	Niveaux verticaux	<i>romstools_param.m</i>
hmin	15	Profondeur minimum	<i>romstools_param.m</i>
LLm	139	Nombre de maille horizontale	<i>romstools_param.m</i> et <i>param.h</i>
MMm	77	Nombre de maille verticale	<i>romstools_param.m</i> et <i>param.h</i>
[S E N W]	[1 0 1 1]	Frontières	<i>romstools_param.m</i> et <i>param.h</i>
zref	-100	Niveau référence pour le courant géostrophique	<i>romstools_param.m</i>
Clé d'activation		CHANNEL_LR	<i>param.h</i> et <i>cppdefs.h</i>

Le choix de la résolution du modèle est le résultat d'un compromis entre une résolution suffisamment élevée pour qu'il y ait assez de maille au niveau du Pas-de-Calais entre la côte Française et la côte Anglaise, mais pas trop élevée afin que la taille de la grille soit de l'ordre de  $10^5$  mailles. Dans le modèle la grille est de  $3,5 \cdot 10^5$  mailles. L'outil *editmask* du programme *make\_grid.m* permet de définir les mailles qui sont de la terre et ceux qui sont de la mer. Le

contour des côtes a été simplifié au maximum afin de ne pas être une source de divergence ou d'erreur lors de la simulation.

L'utilisation des scripts *make\_forcing.m* et *make\_clim.m* permettent la mise en place des forçages et des conditions initiales. Les pas de temps de la simulation sont obtenus à l'aide du script *ad\_cfl.m* et sont reportés dans le Tableau 2.

**Tableau 2 : Paramètres temporelles obtenues à l'aide du critère CFL pour le modèle sans la marée**

Paramètres	Valeur	Définition
NDTFAST	60	Nombre de pas de temps 2D dans chaque pas de temps 3D
NTIMES	960	Nombre total de pas de temps pour les équations 3D
DT	2700	Pas de temps pour les équations 3D (sec)
NWRT	96	Fréquence de sauvegarde pour les sorties instantanées (jours)
NAVG	96	Fréquence de sauvegarde pour les sorties moyennées (jours)

Il est porté attention à ce que les paramètres temporelles soient les mêmes dans les fichiers *run\_roms.csh*, *roms.in* et *roms\_inter.in*.

La durée de la simulation sur dix mois est déterminée dans le fichier *run\_roms.csh* comme dans le Tableau 3 :

**Tableau 3 : Paramètres pour la simulation plurianuelle**

Paramètre	Valeur	Définition
NY_START	1	Année de début
NY_END	10	Année de fin
NM_START	1	Mois de début
NM_END	12	Mois de fin

L'étape de pre-processing est finie, le modèle est lancé sur le cluster du MIO.

### 2.2.2. Modèle soumis à la marée semi-diurne

La Manche est une mer dite megatidal, elle est en effet impactée par une marée semi-diurne. Il parait donc judicieux de prendre en compte ce paramètre. La mise en place de la marée se fais dans un premier temps dans le fichier *cppdefs.h* dans lequel la ligne `# undef TIDES` est changé en `# define TIDES`. Cette condition apparait comme une nouvelle condition aux frontières. Les données de marées sont issues de la base de données TPX07. Cette base de données est issue d'un modèle global de marées, calculées avec les Laplace Tidal Equations à partir des mesures satellitaires de Topex/Poseidon et Jason. D'autre part les paramètres pour le forçage de la marée sont définis dans le fichier *romstools\_param.h*. Dans un premier toutes les ondes de marée sont prises en compte : M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, Mf et Mm. Les autres paramètres sont conservés comme pour le modèle sans marée. Durant l'étape de post-processing, le script *make\_tides* est lancé après *make\_clim* et *make\_forcing*. Le modèle est lancé mais la simulation plante au jour 2 de la simulation.

Afin d'améliorer le modèle, l'île de Jersey n'est plus définie comme point de terre sur le masque de la grille mais comme un point de mer. De plus la hauteur minimum *hmin* est passée de 15m à 50m. Cette hauteur minium à la côte correspond à la profondeur à partir de laquelle se fait la modélisation. Dans la baie du Mont Saint-Michel où l'amplitude de la marée est la plus forte, un *hmin*=15m cause un défaut d'eau et donc une erreur probable. L'amélioration du modèle porte ses fruits mais celui-ci plante au jour 3.

Le second changement effectué afin de pouvoir faire tourner le modèle est de diminuer le pas de temps DT, le passant de 2700s à 900s. Le modèle tourne correctement durant la simulation test de 1 mois. Il est donc lancé sur le cluster pour la simulation de 10ans. C'est à nouveau un échec, le modèle plante au cinquième mois de la première année.

De nouveau, des changements sont effectués au fur et à mesure des échecs des simulations. Un effort est porté sur les contours des côtes afin de lisser celles-ci au maximum pour qu'elles ne soient pas une source d'erreur. De plus, seuls les ondes semi-diurnes sont prises en compte : M2 et S2. Cette modification se fait dans *romstools\_param.h* à la section « 5-Parameters for tidal forcing » en modifiant Ntides et tidalrank. Les ondes M2 et S2 ont respectivement une période de 12h25 et 12h00. La différence de fréquence  $df$  de ces deux ondes vaut  $df=0,0028\text{cph}$ . Ainsi, il faut une période d'observation  $T=1/df$  de 15 jours pour pouvoir les observer distinctement sans avoir de problème d'aliasing. La simulation durant dix ans, ceci n'est pas un obstacle. De plus, il est tenu compte de respecter le théorème de Nyquist-Shannon (7) :

$$f_e \geq 2f_{signal}^{max} ; f_e = \frac{1}{dt} \quad (7)$$

Où  $f_e$  est la fréquence d'échantillonnage et  $f_{signal}^{max}$  la fréquence maximale du signal c'est-à-dire la fréquence de l'onde S2. Ainsi, le pas de temps DT doit être inférieur à 6 heures, ce qui est respecté.

De plus, l'aide du forum *ROMS\_forum* et l'utilisation du document *ROMSTOOLS\_v3.0\_User\_Guide* ont permis de mettre un point sur une modification importante à faire dans le fichier *romstools\_param.h*. Il faut définir les paramètres temporels qui sont ensuite pris en compte par le script *make\_tides*. Les paramètres changés dans le fichier *romstools\_param.h* à la section « 6-Temporal parameters » sont reportés dans le Tableau 4 :

Tableau 4 : Paramètres pour les marées de la section « 6-Temporal parameters »

Paramètre	Valeur	Définition
Ymin	2000	Première année du forçage
Ymax	2010	Dernière année du forçage
Xmin	1	Premier mois du forçage
Xmax	12	Dernier mois du forçage

Une nouvelle simulation est lancée en prenant en compte tous les changements énumérés dans le Tableau 5 :

Tableau 5 : Paramètres à changer pour le modèle avec la marée

Paramètre	Valeur	Fichier
DT	900	<i>run_roms.csh</i> , <i>roms.in</i> et <i>roms_inter.in</i>
NTIMES	2880	<i>run_roms.csh</i> , <i>roms.in</i> et <i>roms_inter.in</i>
NWRT	288	<i>run_roms.csh</i> , <i>roms.in</i> et <i>roms_inter.in</i>
NAVG	288	<i>run_roms.csh</i> , <i>roms.in</i> et <i>roms_inter.in</i>
Ntides	2	<i>romstools_param.m</i> et <i>pararam.h</i>
tidalrank	[1 2]	<i>romstools_param.m</i>
hmin	50	<i>romstools_param.m</i>
Clé d'activation	CHANNEL_LR_TIDES	<i>param.h</i> et <i>cppdefs.h</i>

Les autres paramètres sont les mêmes que pour le modèle sans la marée.

### 3. Résultats

#### 3.1. Modèle sans marée

Le diagnostic du modèle (Annexe I) montre une rapide stabilisation de celui-ci. Néanmoins, il est observable de grande variations cyclique annuelles des différentes variables. L'étude des résultats se fait sur la dixième année.

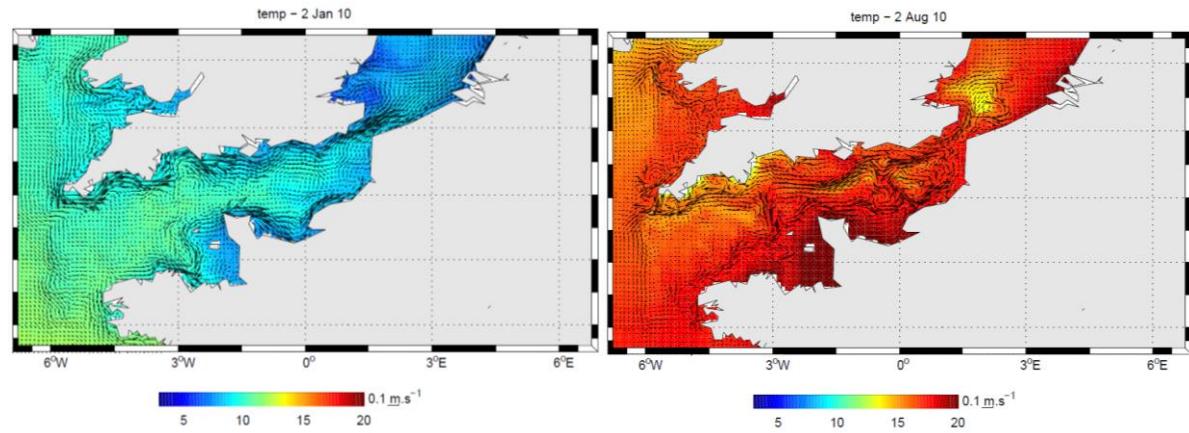


Figure 2:Température de surface et courant - Janvier année 10 à gauche - Aout année 10 à droite

Une très nette variation saisonnière est observable en ce qui concerne la température, la salinité et la courantologie (Figure 2).

En fin d'hiver, la température de surface se situe autour de 8°C alors qu'en fin d'été celle-ci est autour de 18°C. Il y a donc un gradient de température de 10°C entre les températures hivernales et les températures estivales.

L'étude de la salinité montre que les eaux plus salées provenant de l'océan Atlantique entrent plus intensément dans la Manche en hiver qu'en été. Durant la saison estivale, les mouvements d'eau douce se font majoritairement par un apport d'eaux moins salées provenant de la mer du Nord par le Pas-de-Calais.

L'analyse de la courantologie montre des comportements antagonistes entre l'hiver et l'été. En hiver le flux moyen entre par l'ouest et sort par le Pas-de-Calais. Les courants sont plus forts le long des côtes qu'au centre du bassin où il se forme un tourbillon anti-cyclonique dans la partie orientale de la Manche. En été, la situation courantologique est complètement inversée, le flux moyen entre par le Pas-de-Calais et sort à l'ouest le long des côtes Anglaises. Une branche de courant entre par l'ouest, le long des côtes Françaises au large du Finistère. Durant l'été, les courants les plus intensifs sont situés au centre du bassin. Il apparaît un tourbillon cyclonique dans la partie occidentale de la Manche et une situation de très forte intensité courantologique dans le bassin oriental.

A la fin de l'hiver, le flux de courant moyen allant de l'ouest à l'est diminue en intensité et la courantologie durant le printemps passe par un minimum d'intensité pour se réintensifier par la suite et créer le flux est-ouest présent durant l'été. A la fin de l'été, le tourbillon cyclonique présent à l'ouest de la Manche est de plus en plus présent, avec une intensification des courants au large du Finistère. Puis durant l'automne, le phénomène d'inversion de direction du flux moyen se fait en créant de nombreux tourbillons plus petits.

### 3.2. Modèle soumis à la marée

La simulation avec le phénomène de marée a planté au sixième mois de la troisième année. Le diagnostic (Annexe II) s'arrête à deux ans et demi. L'étude des variations d'énergie et de volume ne semble pas présenter de divergence ou de variation fulgurante pouvant expliquer ce blocage de la simulation. Le dernier jour qui sort de la simulation avant que le modèle plante est le 29 Juin de la troisième année (Figure 3). Sur cette dernière sortie du modèle, il apparaît des courants forts à la pointe du Cotentin de  $2\text{m.s}^{-1}$ . Ces forts courants sont connus dans cette zone, c'est une des caractéristiques du Raz Blanchard, ils peuvent atteindre  $6\text{m.s}^{-1}$  pendant les grandes marées d'équinoxe. Cependant ces forts courants peuvent être à l'origine du plantage du modèle.

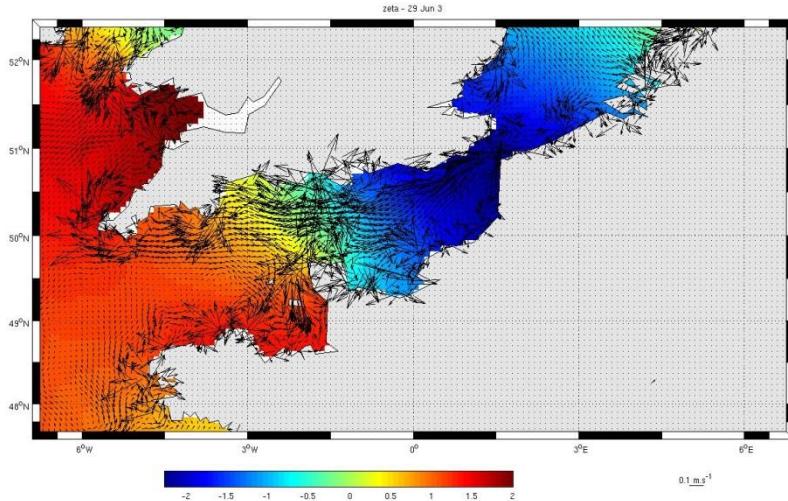


Figure 3: Altimétrie et courantologie du 29 Juin de l'année 3

## 4. Discussion

Les études réalisées dans cette zone de l'océan mondiale traitent majoritairement des courants issus de l'impact de la marée semi-diurne. D'une part avec des études à court terme sur l'impact immédiat du courant jusant et du courant de flot sur la circulation générale en Manche. D'autre part avec des études à plus long terme sur l'impact des courants résiduels de marée sur cette circulation globale. En Manche, le régime des courants est alternatif, le courant de flot porte vers l'Est-Nord-Est tandis que le jusant porte vers l'Ouest à Sud-Ouest. En plusieurs endroits, le courant prend un caractère tourbillonnaire. A long terme le courant de flot est plus intense que le courant de jusant et provoque une circulation moyenne allant du sud-ouest au nord-est (Desmare et Nicolle, 2012). L'implémentation du modèle ROMS appliquée à la Manche en tenant compte de la marée semi-diurne n'ayant pas fonctionnée, il n'est pas possible d'effectuer une comparaison de résultats.

Cependant, les vents en Manche de dominance Sud-Ouest Ouest, allant à Nord-Ouest, peuvent détruire les structures tourbillonnaires en présence. Il y a donc un impact du vent en Manche sur la circulation des masses d'eau.

Les résultats obtenus par ROMS montrent une tension du vent plus forte en Janvier et plus faible au mois d'Aout (Figure 4).

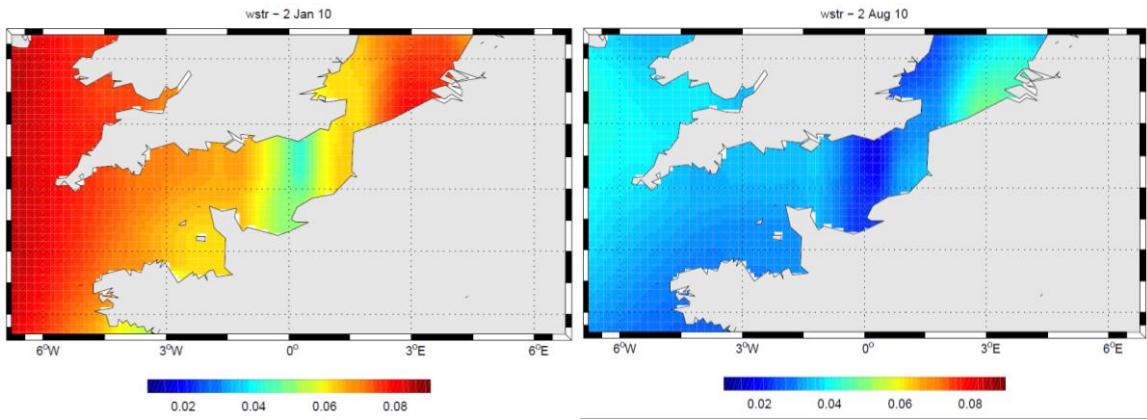


Figure 4: Tension du vent - Janvier année 10 à gauche- Aout année 10 à droite

En partant du postulat qu'en Aout les vents sont faibles par-rapport au reste de l'année, cette periode peut être comparée à la circulation générale sans vent de Salomon et Breton (1993). Les resulats obtenus par Salomon et Breton (1993) montre un courant de Nord-Est au niveau du Pas-de-Calais, alors que les résultats de ROMS montrent un courant de Sud-Ouest. Le courant présent le long de la côte armoricaine issu des résultats de Salomon et Breton est aussi présent dans les résultats obtenus. Néanmoins celui-ci est accompagné d'un courant du même sens le long des côtes Anglaises dans les résultats de Salomon et Breton, alors que les résultats du modèle montre un courant de sens opposé, qui forme un tourbillon cyclonique.

En conciderant maintenant le mois de Janvier durant lequel les tensions du vent sont les plus forte, et en comparant les résultats de Salomon et Breton (Figure 5) avec les résultats du modèles, il ne semble pas que les résultats du modèle coïncident avec un régime de vent bien défini. La partie ouest de la Manche se comporte comme si elle était soumise à un régime de vent d'Ouest alors que la partie Est se comporte comme si elle était soumise à des vents d'Est. Les résultats de Salomon et Breton montrent la présence d'un tourbillon anticyclonique lorsqu'il y a un vent d'Est, ce même tourbillon qui apparaît dans les résultats du modèle. Il est à noter que ce tourbillon présent dans les résultats du modèle est dans une zone où la tension de vent est la plus faible.

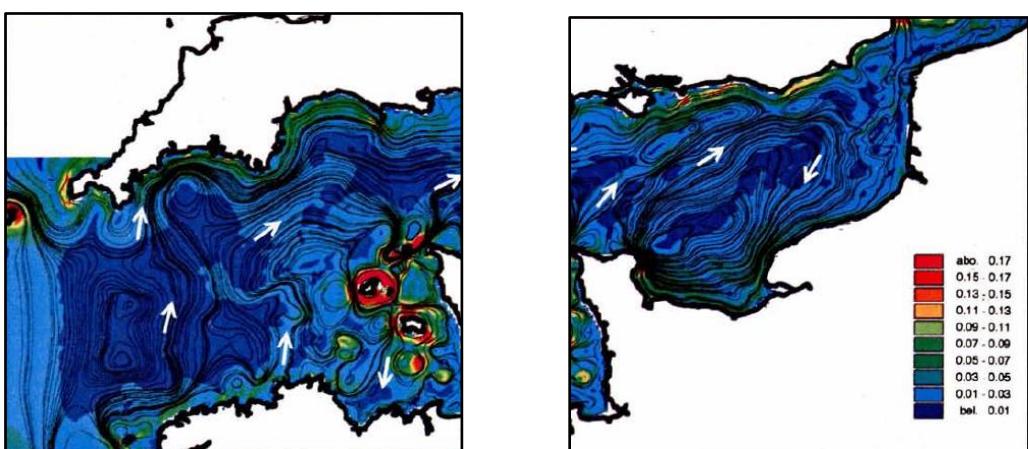


Figure 5: Courantologie par vent d'ouest à gauche et par vent d'est à droite (Salomon et Breton, 1993)

D'une manière générale, les tourbillons plus petits présents dans les résultats de Salomon et Breton (1993) à l'est du Cotentin et au sud des îles Anglo-Normandes sont absents des résultats du modèle ROMS. D'un part, car la circulation du modèle ne semble pas être

représentative de la zone, et d'autre part un modèle à plus haute résolution permettrait probablement de voir des tourbillons de cette échelle de taille.

## 5. Conclusion

L'implémentation du modèle ROMS dans la région de la Manche n'est pas le défi le plus simple à relever. La première implémentation du modèle sans considérer le caractère mégalidal de la Manche n'est certes pas la tâche la plus compliquée qu'il soit, mais les résultats obtenus ne sont convainquant. La variabilité saisonnière de la température de surface est cohérente avec les valeurs attendues dans cette région, mais en ce qui concerne la courantologie elle ne correspond aucunement aux résultats obtenus dans la littérature. Ceci paraît tout à fait normal sachant que la Manche est une zone fortement impactée par la marée semi-diurne. C'est pour cela qu'a été fait le choix de prendre en compte le phénomène de marée dans la modélisation ROMS de cette région. La prise en compte de ce phénomène dans la Manche demande un grand nombre d'adaptation des paramètres du modèle. Malgré les agencements effectués durant ces travaux sur le modèle ROMS pour l'adapter au mieux à la Manche, la simulation n'a pas abouti et n'a pas permise de sortir des résultats exploitables.

Certain que le modèle ROMS puisse être adapté à cette région de l'océan mondial, il reste beaucoup de pistes à exploiter et à améliorer pour pouvoir atteindre la satisfaction du modélisateur ayant réussi à faire tourner son modèle dans la région qui l'intéresse. Certaines de ces améliorations à faire sont les suivantes : Se concentrer uniquement sur l'onde semi-diurne M2 ; Augmenter la résolution du modèle afin de pouvoir lisser au maximum les côtes afin qu'elles ne soient pas source d'erreur, ceci tout en respectant le critère CFL et le théorème de Nyquist-Shannon qui lie pas de temps et résolution spatiale ; Choisir de définir ou non cette région comme un canal dans les paramètres romstools.

## Bibliographie

CABIOCH, L., *Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale*, Cahiers de Biologie Marine, 9, 493-720, 1968.

CAMBON, G., MARCHESIELLO, P., PENVEN, P., DEBREU, L., *ROMS\_AGRIF User Guide*, 04/11/2012, mise à jour : 30/01/2014. Disponible sur Internet :  
<[http://www.romsagrif.org/index.php/documentation/ROMS\\_AGRIF-User-Guide](http://www.romsagrif.org/index.php/documentation/ROMS_AGRIF-User-Guide)>

CAMBON, G., MARCHESIELLO, P., PENVEN, P., DEBREU, L., *ROMSTOOLS User's Guide – ROMSTOOLS*, 23/10/2012, mise à jour : 30/01/2014. Disponible sur Internet :  
<<http://www.romsagrif.org/index.php/documentation/ROMSTOOLS-Documentation>>

DESMARE, S., NICOLLE, A., *Hydrodynamique côtière : modélisation des courants de marée au SHOM*, Paralia, 2012, DOI :10.5150/jngcgc.2012.004-D

DOGLIOLI, A. M., *Notes de Cours et Travaux Dirigés de Modélisation de la Circulation Océanique*, 2014, Université d'Aix-Marseille, France.

JOUANNEAU, N., *Caractérisation de la dispersion de traceurs passifs dans un écoulement côtier soumis à un régime macrotidal. Étude d'impact de la dynamique sur la qualité de l'eau le long du littoral du Nord-Pas-de-Calais et de la Picardie*, 2013, Thèse, Université du littoral côte d'opale, France.

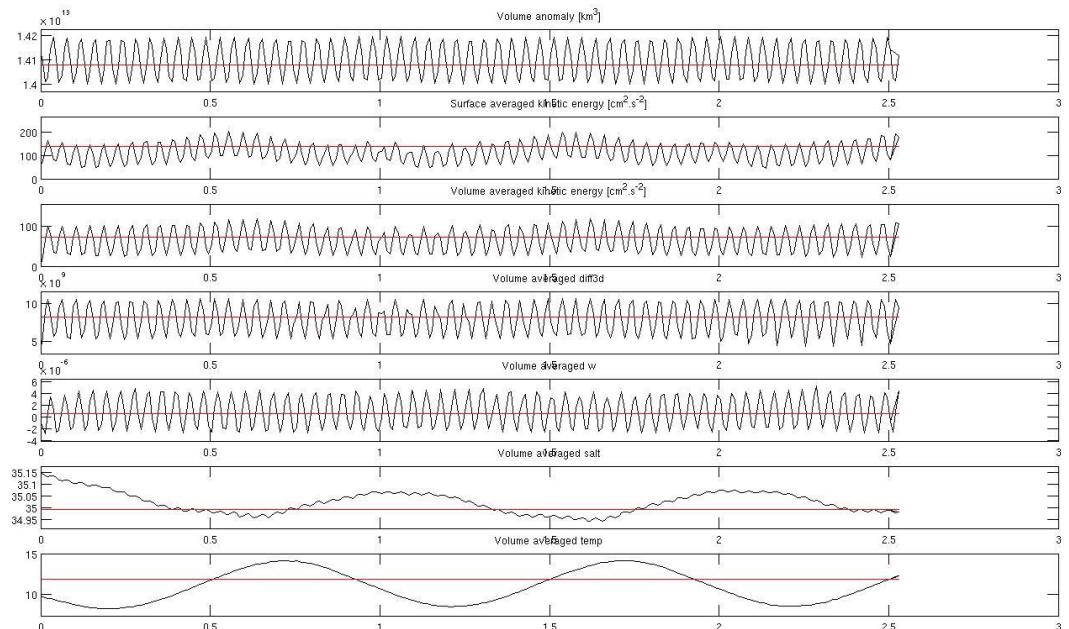
KAUTSKY, H., *Determination of distribution processes, transport routes and transport times in the North Sea and the northern north Atlantic using artificial radionuclides as tracers*, 1988, In: Guary, J.C., Guégueniat, P., R.R. (Eds.), *Radionuclides: A Tool For Oceanography* Cherbourg 1-5 June 1987. Elsevier Applied Science Publishers, London, New York, 271-280.

SALOMON, J.C., BRETON, M., *An atlas of long-term currents in the Channel*. Oceanologica Acta, 1993, 19, 5-6, 439-448.

## Annexes



Annexe I : Diagnostic du modèle sans marée



Annexe II : Diagnostic du modèle avec marée