



CARAC

TERIS

TIQUES ET

MANCHE - MER DU NORD

ÉTAT

ÉCOLO

GIQUE

CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MANCHE - MER DU NORD

JUIN 2012

ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE Caractéristiques physiques Courantologie

Pascal Lazure (Ifremer, Brest),
Stéphanie Desmare (SHOM).



1. PRINCIPAUX PROCESSUS PHYSIQUES - ORIGINE DES COURANTS EN MANCHE

Le principal processus physique en Manche est la marée semi-diurne. C'est en Manche que l'on trouve les marnages les plus importants et les courants de marée les plus forts de toutes les côtes métropolitaines. Ces courants de marée ont un rôle important à la fois sur le transport des masses d'eau à court et long terme et sur le mélange vertical (voir § 3.).

À plus long terme, ces courants ont une composante permanente, appelée courant résiduel de marée, liée à la propagation de la marée et à l'effet du frottement. Ce courant est beaucoup plus faible que le courant instantané, mais son influence sur le transport à long terme des masses d'eau est déterminante car ce courant est permanent, sa force étant modulée par les cycles vives-eaux / mortes-eaux (période de 14 jours).

L'action du vent en surface est le second processus physique d'importance en Manche. Le vent peut inverser la circulation moyenne ou détruire des structures tourbillonnaires induites par la marée.

Le rôle de la circulation à l'échelle de l'Atlantique Nord se manifeste par la présence d'une pente moyenne aux deux extrémités de la Manche. Plusieurs études par modèle numérique ont montré que cette pente permet d'expliquer une partie importante des flux moyens observés dans le pas de Calais.

Enfin, la Manche n'est que peu influencée par les apports fluviaux. Seuls les plus grands fleuves sont susceptibles de créer une circulation spécifique. À l'échelle de la Manche, seule la circulation induite par les apports en eaux douces de la Seine est capable de créer des différences de courants significatives entre la surface et le fond.

2. CIRCULATION GÉNÉRALE ET SA VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

Les courants résiduels moyens sont dirigés de l'Atlantique vers la mer du Nord. Le temps de transit moyen dans la Manche est d'environ 6 mois à 1 an [1] [2]. La figure 1 représente la circulation moyenne des masses d'eau en Manche.

À l'ouest de la Bretagne, et à l'est d'Ouessant, les courants moyens sont dirigés vers le nord [3]. Ils forment quelques structures tourbillonnaires en mer d'Iroise. Les vents de secteur ouest à nord peuvent s'opposer à cette circulation moyenne et l'inverser temporairement.

L'entrée des eaux en Manche s'effectue le long des côtes de Bretagne [1] [2] [4]. Les courants moyens sont de l'ordre de 3 à 5 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ au large du Finistère Nord. Alors qu'une branche du courant résiduel pénètre en Manche le long des côtes bretonnes, une seconde branche se dirige vers l'extrémité sud-ouest de l'Angleterre. Ce courant moyen dirigé vers le nord effectue une incursion en Manche Occidentale avant de longer les côtes de la Cornouailles anglaise.

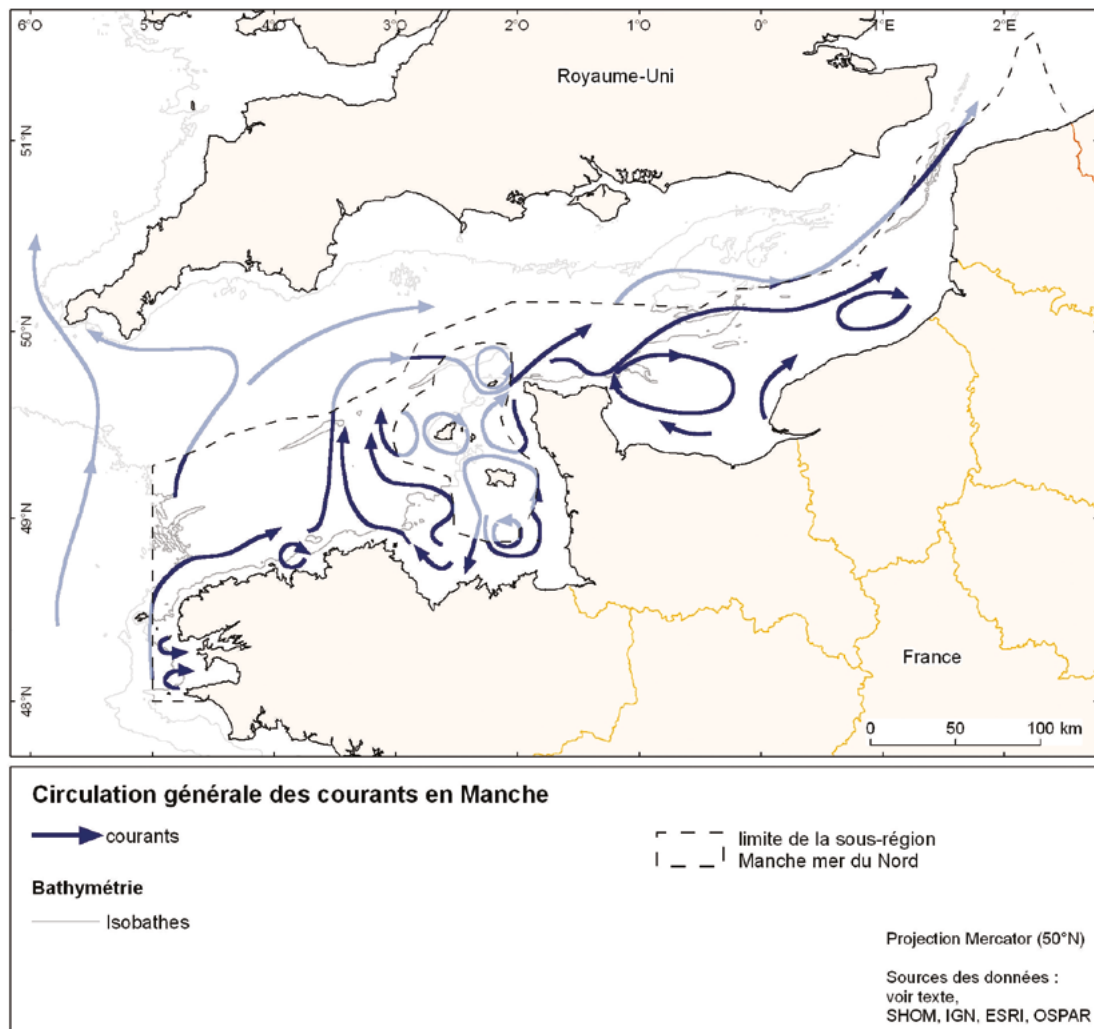


Figure 1 : Circulation moyenne en Manche (Sources : IGN, ESRI, SHOM, OSPAR, 2010).

Les côtes du Trégor sont le lieu de convergence des eaux entrant en Manche et de celles transitant dans le golfe Normand-Breton [4]. Il en résulte un courant résiduel dirigé vers le nord jusqu'à la latitude de l'extrémité nord du Cotentin, où ce courant bifurque et se dirige vers l'est.

Dans le golfe Normand-Breton, la circulation est marquée par des structures tourbillonnaires autour des îles Anglo-Normandes et des archipels de Chausey et des Minquiers [1]. Les courants résiduels dans ces tourbillons peuvent dépasser la dizaine de $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$. À proximité des côtes, dans les baies telles que la baie de Lannion ou celle de Saint-Brieuc, les courants résiduels sont très faibles. Il en résulte donc un confinement dynamique des masses d'eau qui rend ces zones très sensibles aux apports terrestres [4].

La circulation en Manche orientale est marquée par la présence d'un vaste tourbillon anticyclonique – orienté dans le sens des aiguilles d'une montre – généré dans le sillage du Cotentin [1] [5]. Ce tourbillon anticyclonique est appelé tourbillon de Barfleur. Les vitesses sont de l'ordre de $2\text{-}3\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ en l'absence de vent. Plus à l'est, l'estuaire externe de la Seine est sans doute la région où les écarts de courants entre la surface et le fond sont les plus marqués. En surface les courants sont dirigés vers l'ouest puis le nord. Au fond, la circulation est dirigée vers l'estuaire [5].

La circulation au large des côtes picardes et de celles du Pas-de-Calais est dirigée vers le nord et constitue l'aboutissement de la circulation générale de l'Atlantique vers la mer du Nord. L'ordre de grandeur des courants résiduels dans le pas de Calais est compris entre $5\text{ et }10\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le vent peut modifier notablement le schéma de circulation proposé. Les vents de sud-ouest auront tendance à augmenter le transit moyen vers l'est. À l'inverse, les vents de nord-ouest à nord-est vont diminuer cette circulation et sont même susceptibles de l'inverser [6]. Les vents les plus efficaces pour créer des inversions

sont les vents de nord : à titre d'exemple, un vent soufflant du nord durant quelques jours à $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ peut inverser le flux, sur l'ensemble de la colonne d'eau, en condition de marée moyenne.

Flux à travers le détroit du pas de Calais

Le flux moyen est dirigé de l'Atlantique vers la mer du Nord. Les valeurs de ces flux en moyenne annuelle sont assez cohérentes bien qu'elles aient été obtenues par des moyens différents. La mesure donne un flux moyen de $94\,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ [7] et une étude par modélisation validée sur la dispersion des radionucléides [2] propose une valeur un peu plus forte de $130\,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Parmi tous les processus physiques générant des courants et décrits au § 1, la part attribuable aux seuls effets résiduels de la marée est de l'ordre de $40\,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ [8], le reste étant attribuable aux gradients de pression à grande échelle, aux effets du vent et aux gradients de densité de l'eau de mer [9].

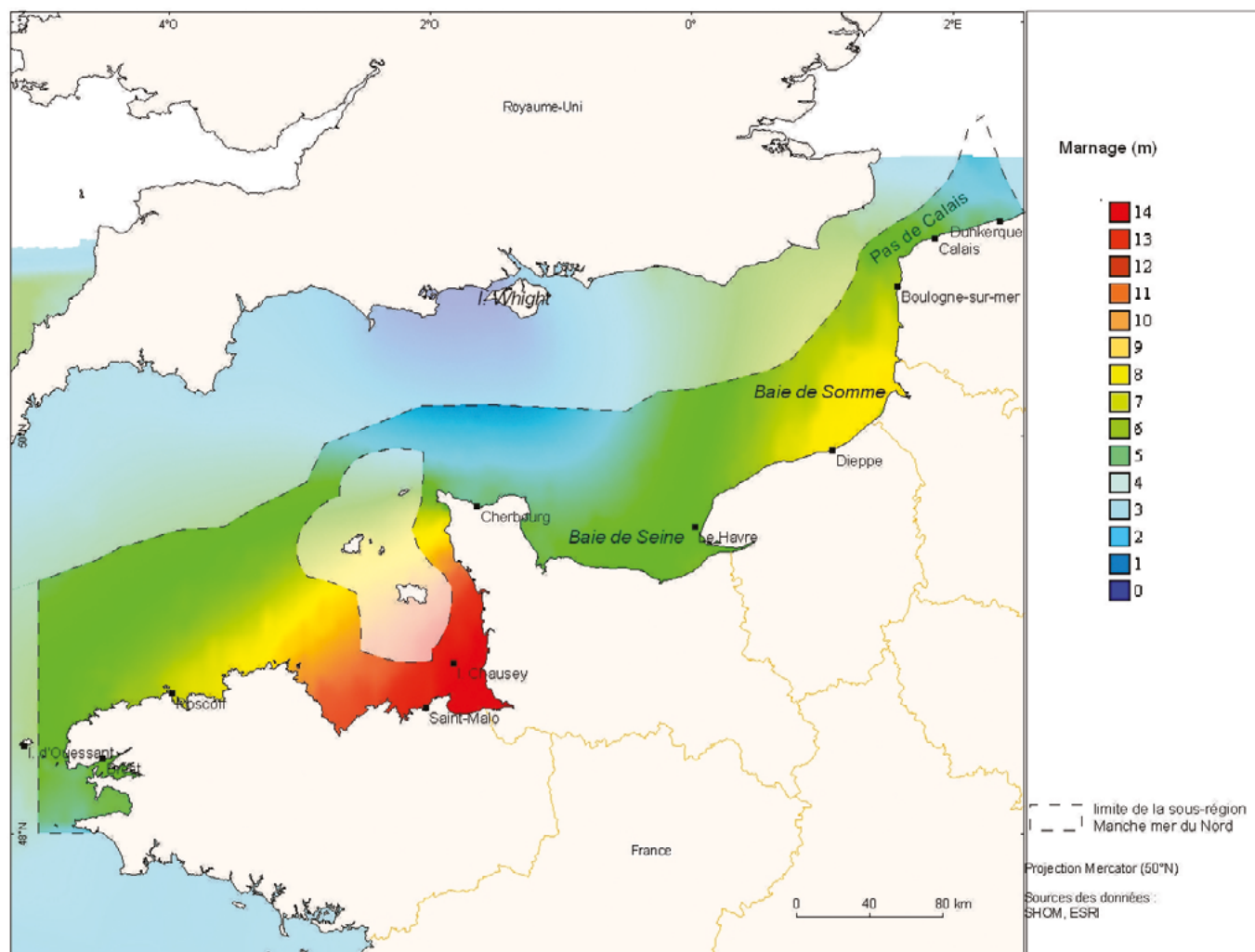
Variabilité des courants

Les courants moyens de marée n'ont pas de variabilité saisonnière, par contre ceux qui sont induits par les effets du vent et/ou de la circulation à grande échelle peuvent varier selon les saisons. Une étude récente par modèle numérique [9] montre que les flux varient entre $130\,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en hiver, $60\,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ au printemps et en été et $40\,000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en automne.

3. COURANTS DE MARÉE

3.1. ONDE DE MARÉE ET MARNAGE

La marée, phénomène dominant de la zone Manche-mer du Nord, est de type essentiellement semi-diurne [10]. Les marnages sont inférieurs à 5 m sur toute la zone, sauf dans le golfe Normand-Breton, où ils atteignent 6 m au large, jusqu'à 14 mètres en vives-eaux moyennes en baie du Mont Saint-Michel et 8 m dans le secteur de la baie de Somme (figure 2).



3.2. AMPLITUDE DES COURANTS DE MARÉE

La variabilité spatiale des courants est fortement influencée par la bathymétrie, et certaines configurations morphologiques de la côte sont à l'origine de phénomènes particuliers : l'augmentation de la vitesse des courants dans les goulets et au niveau des caps, les phénomènes de remplissage et vidage des baies, l'asymétrie du flot et du jusant à l'embouchure des estuaires, l'apparition de mouvements cycloniques (aux abords des îles du golfe Normand-Breton).

En Manche occidentale, les vitesses maximales en vives-eaux moyennes (coefficient 95) sont toujours supérieures à $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pouvant atteindre des vitesses de 3 à $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le Raz de Sein, $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ localement dans le passage du Fromveur, jusqu'à $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le Raz Blanchard (figure 3). Ailleurs, des vitesses maximales sont inférieures à $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. En morte-eau, les courants de marée perdent 20 à 30 % de leur vitesse, mais la morphologie de la côte, les forçages météorologiques, les apports fluviaux sont susceptibles de perturber ponctuellement les courants.

Les courants de marée sont responsables du mélange sur la verticale des masses d'eau et permettent d'expliquer la quasi-homogénéité verticale observée en Manche à l'exception du nord de la Manche occidentale. Les effets de frottement sur le fond peuvent affecter l'intensité et la direction des courants au fond, on note en général une avance d'environ une heure des renverses des courants près du fond par rapport à la surface.

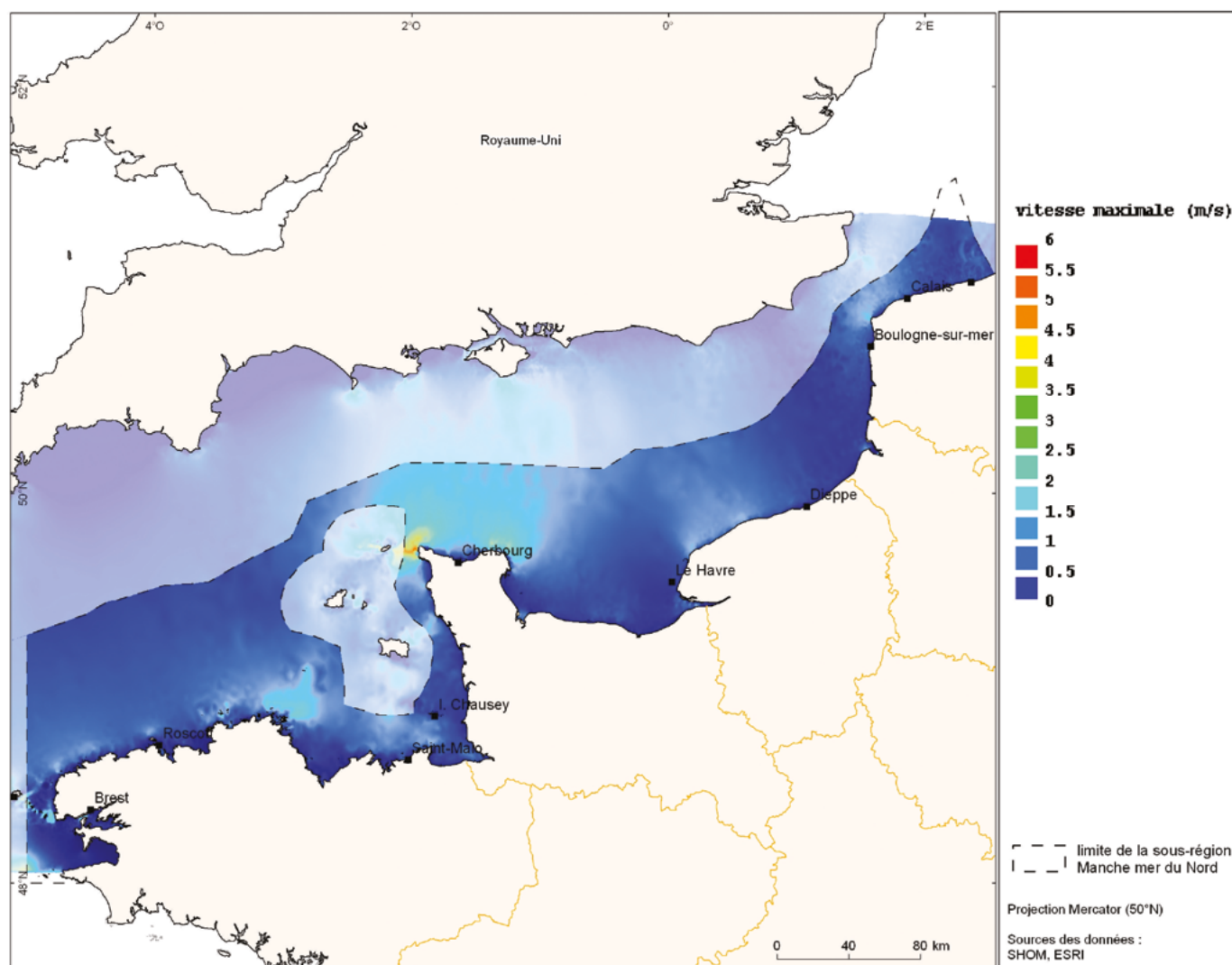


Figure 3 : Carte de vitesses maximales des courants de marée en vive-eau moyenne (Sources : SHOM, ESRI, 2010).

3.3. ÉVOLUTION TEMPORELLE DES COURANTS DE MARÉE

Les courants de marée varient en intensité et en direction au cours du cycle tidal, leur période est d'environ 12 h 25. En Manche centrale, le régime des courants est alternatif, le courant de flot portant vers l'est-nord-est tandis que le jusant porte vers l'ouest à sud-ouest. En plusieurs endroits, notamment dans le golfe Normand-Breton, le courant prend un caractère giratoire. En Manche orientale, les courants de flot portent vers le nord-est. Les cartes horaires de courant de marée publiées par le SHOM sous forme d'atlas [12] présentent les courants de marée (moyennés sur la verticale) dans la sous-région Manche-mer du Nord sur un cycle de marée (pleine mer - basse mer).

4. ÉTAT DES CONNAISSANCES

Les principaux traits de la circulation moyenne sont désormais bien connus. Par contre, la structure tridimensionnelle des courants est encore mal décrite, surtout dans la partie occidentale. De plus, la variabilité interannuelle de la circulation et le rôle de la circulation à grande échelle restent encore à explorer.

Concernant les courants de marée, des publications anciennes [13] regroupent les connaissances accumulées au fil des années, souvent recueillies auprès des navigateurs. Ces informations sont surtout qualitatives, mais restent néanmoins précieuses et ont été reprises pour l'essentiel dans les publications plus récentes [11] [13] [14] [15].

Les moyens de calcul actuels permettent une modélisation fine des courants de marée en 2D et 3D [16] à condition de disposer de suffisamment de connaissance de la bathymétrie, de la marée pour imposer des conditions aux limites et des mesures de courants pour valider les modèles [17].

Les mesures *in situ* de courant restent indispensables pour les études courantologiques de la circulation moyenne ou des courants de marée, elles constituent un moyen de calibration et de validation de modèles numériques. Elles permettent surtout une évaluation des différentes composantes du courant et de leur variabilité temporelle ou spatiale (dans les trois dimensions). Malgré l'utilisation quasi-systématique de profileurs doppler depuis quelques années, le nombre de données de ce type est encore faible et les informations près du fond ou le long de la colonne d'eau font souvent défaut.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Salomon J.C., Breton M., 1993. An atlas of long-term currents in the Channel. *Oceanol. Acta.*, 16, 5-6, 439-448.
- [2] Bailly du bois P, Dumas F., 2005. Fast hydrodynamic model for medium and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers. *Ocean Mod.*, 9, 169-210.
- [3] Muller H., Blanke B., Dumas F. et Mariette V., 2010. Identification of typical scenarios for the surface Lagrangian residual circulation in the Iroise Sea, *Journal of Geophysical Research* 115 (C7), pp. C07008-389.
- [4] Garreau P., 1993. Hydrodynamics of the North Brittany coast. *Oceanol. Acta.* 16,5-6,469-477.
- [5] Thiébaud E., Lagadeuc Y., Olivier F., Dauvin J.C. et Retière C., 1998. Do hydrodynamic factors affect the recruitment of marine invertebrates in a macrotidal area ?, *Hydrobiologia* 375-376, pp. 165-176.
- [6] Ellien C., Thiébaud E., Dumas F., Salomon J.-C. et Nival P., 2004. A modelling study of the respective role of hydrodynamic processes and larval mortality on larval dispersal and recruitment of benthic invertebrates : example of *Pectinaria koreni* (Annelida : Polychaeta) in the Bay of Seine (English Channel), *Journal of Plankton Research* 26 (2), pp. 117-132.
- [7] Prandle D., Ballard G., Flatt D., Harrison A.J., Jones S.E., Knight P.J., Loch S., McManus J., Player R. et Tappin A., 1996. Combining modelling and monitoring to determine fluxes of water, dissolved and particulate metals through the Dover Strait, *Cont. Shelf Res.* 16 (2), pp. 237-257.
- [8] Salomon J.C., Breton M., 1993. Computed residual flow through the Dover Strait. *Oceanol. Acta.*, 16, 5-6, 449-455.
- [9] Holt J.T. et Proctor R., 2008. The seasonal circulation and volume transport on the northwest European continental shelf : a fine-resolution model study, *Journal of Geophysical Research* 113 10.1029/2006JC004034.
- [10] Simon B., 2007. La marée océanique côtière. Éditeur : Institut océanographique, Collection « Synthèses ».
- [11] Les guides du SHOM : LA MARÉE.
- [12] SHOM, 2000. Courants de marée et hauteurs d'eau : La Manche, ISBN 2-11-088251-4.
- [13] Lacombe H., Courants de marée dans la Manche et sur les côtes française de l'Atlantique, ouvrage n°427 A du Service Hydrographique de la Marine (SHM), rédigé par H. Lacombe et réédité sous le nom d'ouvrage n°550.
- [14] Ouvrages n° 551 à 556 : collection d'atlas de courants des côtes de France édités en 1973.
- [15] Ouvrages n° 557 à 565 : collection d'atlas de courants des côtes de France édités entre 1994 et 2005.
- [16] Nicolle A., 2010. Réalisation d'un modèle 3D de courants de marée dans la Manche.
- [17] Nicolle A., Pineau L., 2009. Modélisation numérique en hydrodynamique côtière.

GLOSSAIRE

Courant de flot : On appelle le **courant de flot**, le courant portant entre une basse mer et une pleine mer successive, lors du montant des eaux.

Courant de jusant : On appelle le **courant de jusant**, le courant portant entre une pleine mer et une basse mer successive, lors du perdant des eaux.

Courant alternatif : En régime alternatif, le courant a une direction à peu près invariable pendant une demi-marée et la direction opposée pendant l'autre demi-marée.

Courant giratoire : Un courant giratoire porte, au cours d'une marée, successivement dans toutes les directions.

Marnage : différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer consécutive [2].

Marée semi-diurne : type de marée pour laquelle les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers d'importances sensiblement égales par jour. Ce type de marée est prépondérant en Atlantique.