



Influence du cycle tidal sur les houles côtières et les courants associés
exemples sur la côte ouest du Cotentin

Franck Levoy

Maître de conférence, Laboratoire de Géologie marine, Université de Caen

Olivier Monfort

Ingénieur d'études, Laboratoire de Géologie marine, Université de Caen

Claude Larssonneur

Professeur, Laboratoire de Géologie marine, Université de Caen

Résumé

De nombreuses mesures des courants de marée, des niveaux marégraphiques et des caractéristiques de la houle ont été réalisées sur la côte occidentale du Cotentin dans le cadre de l'étude globale de défense contre la mer du département de La Manche. Dans cet environnement macrotidal, les courants de marée présentent une variabilité spatiale et temporelle au cours du cycle tidal. Les variations de la hauteur d'eau et des courants de marée induisent également des modifications des caractéristiques de la houle et des courants qu'elle génère à proximité des fonds sableux.

1. Introduction

Entre 1991 et 1994, un Réseau d'Observations et de Mesures In Situ (ROMIS) a été installé sur la côte ouest du Cotentin dans le cadre d'un programme de recherche sur l'érosion du littoral du département de la Manche (Levoy, Avoine, 1991).

De nombreuses mesures des agents hydrodynamiques et des transports sédimentaires ont été réalisées entre les fonds de - 15 m. C.M. et le trait de côte. Un effort particulier a porté sur la connaissance des processus hydrosédimentaires affectant les plages macrotidales de la zone d'étude.

Si la dynamique de marée est assez bien connue dans la partie orientale du golfe normand-breton, des investigations approfondies ont été nécessaires pour améliorer la connaissance des courants de marée sur les larges estrans de la côte du Cotentin ainsi que des courants de houles dans différentes conditions d'agitation et de marée. Très rapidement les mesures réalisées ont confirmé la très grande variabilité spatiale et temporelle des processus hydrodynamiques en régime macrotidal.

2. Le cadre hydrodynamique général de la côte ouest du Cotentin

La côte ouest du Cotentin, entre le cap de Carteret et la baie du Mont Saint-Michel (fig. 1), présente un exemple intéressant de côte macrotidale soumise à de forts courants de marée et exposée à des agitations locales ou en provenance du large. Cette dynamique se traduit par une évolution parfois spectaculaire du littoral avec des abaissments importants de plages et des érosions qui peuvent atteindre plus de dix mètres lors de tempêtes conjuguant un niveau d'eau élevé et le passage d'une dépression en provenance de l'Atlantique.

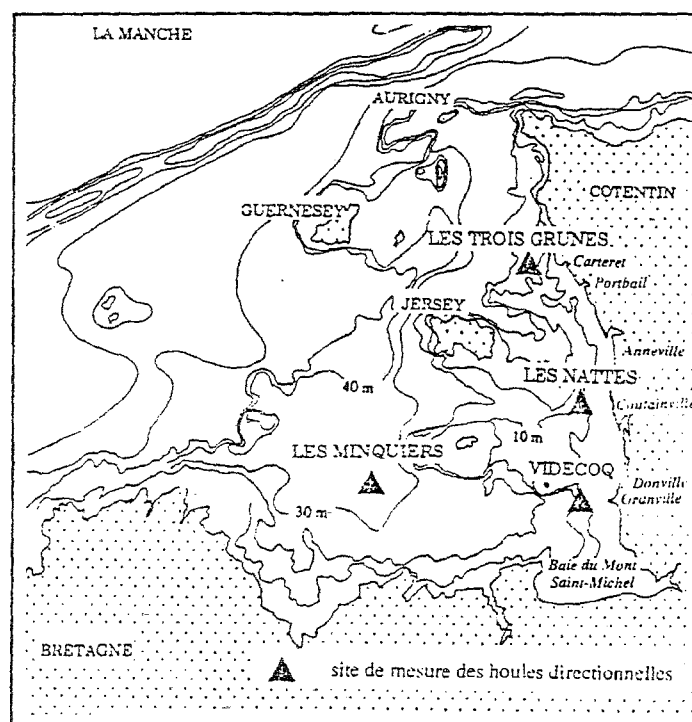


figure 1 : la zone d'étude s'étend entre Carteret et la Baie du Mont Saint-Michel

2.1. Les marées et les courants de marée généraux

Les marées, de cycle semi-diurne de 12 h 25 mn, ont sur cette côte des amplitudes exceptionnelles. Le marnage atteint près de 14.5 m. à Granville et environ 12 m. à Carteret en marée de vive-eau exceptionnelle. Pour une marée de vive-eau moyenne (coefficient 95), la vitesse moyenne de fluctuation verticale du plan d'eau est de 3.4 centimètres par minute au flot. Des pointes à 4.4 cm/mn sont observées à mi-marée. A la marée, peuvent s'ajouter des surcotes importantes. Une valeur de 1.6 m. a pu être mesurée à Granville lors de la tempête d'octobre 1987.

Les courants induits par le phénomène de marée ont été étudiés et modélisés par Orbi (1986). En général, les vitesses moyennes ne dépassent pas 1 m/s, sauf à proximité des caps ou de l'embouchure de petits estuaires appelés havres. Les vitesses maximales peuvent y atteindre 4 à 5 m/s au flot. Le long de la côte du Cotentin, les courants de marée sont le plus souvent parallèles au trait de côte et

majoritairement orientés vers le N à l'exception de la fin du flot et du début de jusant.

2.2. Les houles côtières

Dans le cadre du programme ROMIS., des houlographes directionnels ont été implantés, durant environ une année, en quatre sites de l'avant côte (fig. 1). Compte tenu de la bathymétrie, l'agitation sur la côte ouest du Cotentin est spécifique pour une façade littorale orientée N-S, ouverte sur l'Atlantique nord. Les hauteurs significatives sont modérées : elles ont atteint 4.25 m. au large de Carteret et environ 2.75 m. au large de Granville durant les périodes de mesure. Le spectre directionnel est relativement étroit : entre 90 et 95 % des agitations proviennent des secteurs compris entre 225° et 315°, avec un secteur ouest largement dominant. La distribution des périodes de pic est bimodale. Les agitations de courtes périodes, inférieures à 6 s., représentent 20 à 25% des observations. Elles sont générées par les vents locaux tournant du SW au NW lors du passage d'une perturbation atmosphérique. Les houles longues ont une médiane centrée sur des périodes de 8 à 11 s. selon les sites. Les périodes supérieures à 20 s. sont peu fréquentes.

Un amortissement important des houles a été mis en évidence vers le fond du golfe normand-breton avec une réduction des hauteurs significatives d'environ :

- 70 % selon un axe ouest-est au passage des îles anglo-normandes ;
- 50 % en arrière des îles anglo-normandes, selon un axe N-S.

3. Influence des fluctuations tidales sur les courants de marée côtiers

Sur les plages, les courants de marée généraux se trouvent modifiés, dans le temps, sous l'influence du marnage et dans l'espace, transversalement au tracé de la côte.

3.1. Influence du cycle morte-eau - vive-eau sur les courants de marée intertidaux

Afin d'étudier les caractéristiques des courants en fonction du marnage, des mesures ont été réalisées en poste fixe à l'aide de courantomètres électromagnétiques S4 fixés à environ 0.5 m. du fond.

En marée de morte-eau et de moyenne-eau, sur la basse plage de Coutainville, la fluctuation des vitesses de courant est relativement uniforme. L'intensité du courant augmente rapidement entre PM - 3h et la pleine mer. Les vitesses sont maximales à pleine mer et atteignent alors 0.2 à 0.3 m/s en morte-eau. Ensuite, la décroissance est rapide jusqu'à PM + 3h environ. A ce moment, les vitesses s'annulent et une renverse du courant s'opère. En fin de jusant, pendant une heure environ, les vitesses s'intensifient dans un premier temps pour décroître ensuite très rapidement avant l'émersion (Levoy, 1994).

En début de flot et fin de jusant le courant porte au Sud. Par contre, pendant plus de six heures, entre PM - 3 h et PM + 3 h, lorsque les vitesses sont maximales, il porte au Nord.

En marée de vive-eau, l'évolution des fluctuations de vitesse au cours d'un cycle de marée est identique à celle observée en morte-eau. Les vitesses maximales augmentent cependant avec le marnage. Sur la basse plage de Portbail, par exemple, elles passent de 0.4 m/s en moyenne-eau à 0.6 m/s en vive-eau. Le maximum de vitesse s'observe plutôt à PM + 30 mn. La renverse est enregistrée entre PM + 3 h 30 et PM + 4 h. Pendant plus de 75 % du temps d'immersion, le courant est unidirectionnel, parallèle au trait de côte.

La variation de la hauteur d'eau au cours du cycle de marée a des conséquences sur la direction et la norme des courants. Pour les marées de moyenne-eau et de vive-eau, les courants varient de façon quasi-linéaire avec la profondeur d'eau lorsque celle-ci est supérieure à 3 mètres environ (fig. 2). Pour des hauteurs plus faibles, l'influence de la topographie de la plage sur les vitesses du courant est sensible. La linéarité entre la vitesse des courants et la hauteur d'eau est moins nette pour les marées de morte-eau.

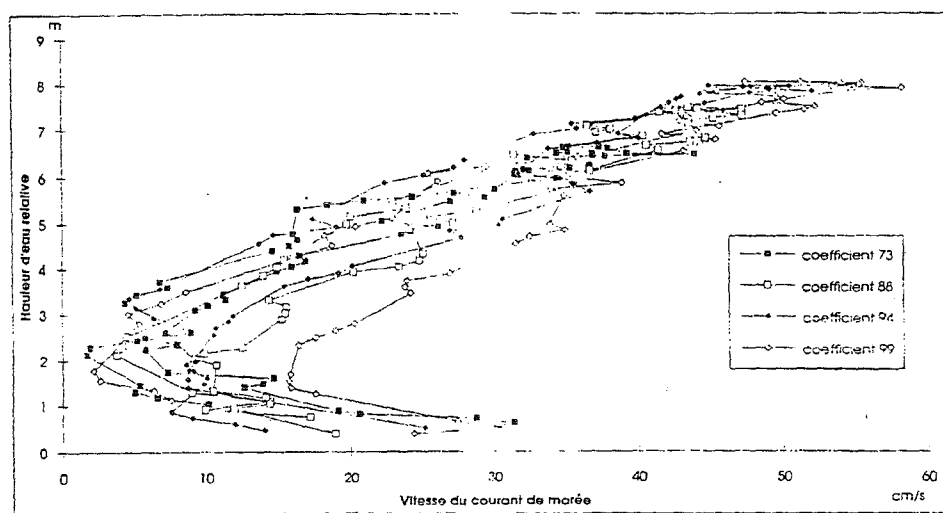


figure 2 : vitesse des courants de marée à Portbail en fonction de la hauteur d'eau

3.2. Conséquences sur les variations transversales des courants de marée intertidaux

Afin de préciser les observations précédentes, une analyse des courants de marée sur un axe transversal au trait de côte a été menée. L'expérimentation a eu lieu à Anneville-sur-Mer sur un profil de plage découvrant de 500 m. environ. Les pentes varient de 7 %, en haute plage, à 0.8 % en basse plage. Des mesures simultanées de courant ont été réalisées à 115 m., 276 m. et 469 m. du trait de côte pendant des marées de vive-eau moyenne (coefficients de 92 à 98).

Plusieurs remarques concernant la variabilité des courants de marée peuvent être faites :

- les mêmes séquences de croissance et de décroissance de l'intensité des vitesses et de changements de direction peuvent être observées en tout point de

l'estran étudié. Elles sont semblables à celles observées au cours d'un cycle morte-eau/vive-eau.

- les vitesses de bas estran sont plus fortes que celles observées sur la haute plage d'un rapport voisin de 2. La différence d'altitude de 4.5 mètres entre les deux points extrêmes, distants de 350 mètres environ, influence, en effet, la profondeur d'eau.

- la pleine mer et la renverse de jusant apparaissent, sur la basse plage, plus tardivement dans le cycle de marée. Le déphasage de la renverse varie entre 1h30 et 2 heures.

- bien que déphasée dans le temps, l'augmentation de la vitesse du courant après la renverse est comparable d'un point à un autre de l'estran. La direction des courants de jusant est également identique sur toute la largeur de la plage.

4. Influence des fluctuations tidales sur les houles côtières

Dans le cadre du programme ROMIS, l'étude de la propagation des houles entre les points de mesure au large et la côte a soulevé le problème de l'influence des importantes fluctuations du niveau d'eau sur les caractéristiques de l'agitation.

4.1. Modification des hauteurs significatives sous l'influence de la marée

Les enregistrements marégraphiques et houlographiques réalisés simultanément sur l'avant côte du Cotentin soulignent de manière relativement nette le rôle des fluctuations de très longues périodes du plan d'eau statique sur l'amplitude des houles.

La courbe des hauteurs significatives de la houle, superposée à la courbe de marée, présente d'importantes variations d'une valeur à une autre. Les maximums relatifs de hauteur de houle apparaissent au moment où les niveaux marégraphiques sont les plus élevés. La marée module l'onde de tempête qui dure plusieurs jours.

Afin de mettre en évidence l'influence du niveau d'eau sur la hauteur significative de houle, une corrélation a été établie entre la cote du plan d'eau $H_s(T)$ et l'écart relatif d'amplitude de houle $V_h(T) = (H_s(T) - H_s^*(T)) / H_s^*(T)$ (fig. 3). Sur le site de Videcoq, cette relation peut être approchée par une expression de la forme : $V_h(T) = A \cdot H_s(T) + B$ avec $A = 0.06 \text{ m}^{-1}$ et $B = -0.01$ lorsque le niveau d'eau est exprimé en mètre par rapport au 0 I.G.N. 69.

Le coefficient de détermination R^2 , bien que médiocre, témoigne d'une relation entre les deux paramètres pris en compte.

Dans la relation précédente, en effet, la valeur de $H_s^*(T)$ dépend de l'amplitude de houle et donc des niveaux d'eau à $T - \Delta T$ et $T + \Delta T$.

Cette influence peut être réduite en éliminant les observations pour lesquelles les niveaux à $T - \Delta T$ et $T + \Delta T$ sont très différents. Le coefficient de corrélation R^2 peut atteindre 0.5 lorsque $|H_s(T - \Delta T) - H_s(T + \Delta T)| \leq 1 \text{ m}$.

Ainsi, pour un marée de vive-eau moyenne, dont le marnage est voisin de 10.5 mètres au large de Granville, l'amplitude des houles de basse mer serait voisine de

la moitié de la valeur observée au moment de la pleine mer pour une tempête d'intensité constante.

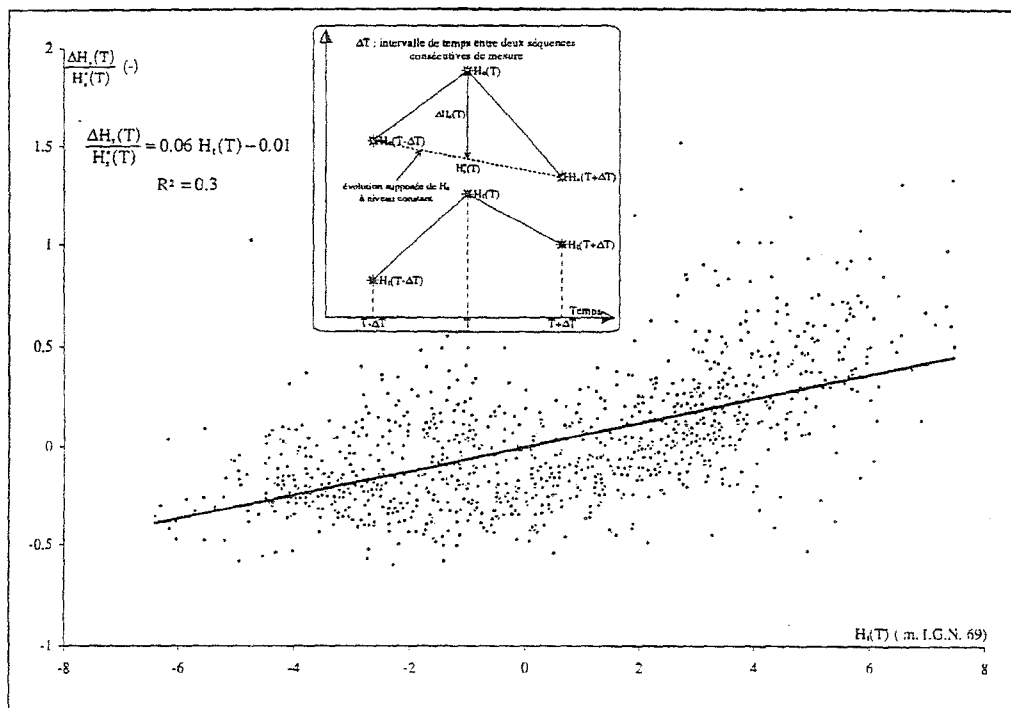


figure 3 : influence de la hauteur d'eau sur la hauteur significative de houle

Sur les estrans, le phénomène d'amortissement de la houle lié au cycle de marée est encore plus évident (fig. 4).

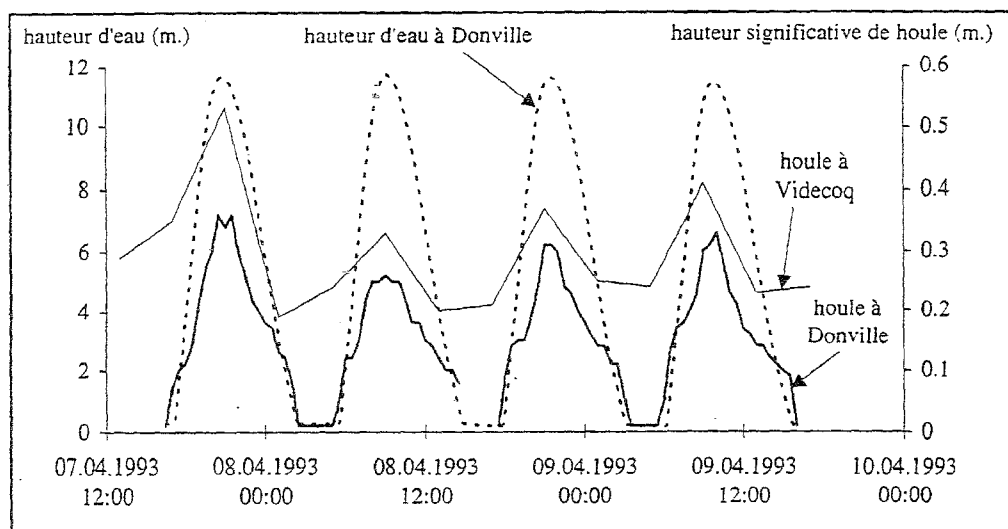


figure 4 : influence de la hauteur d'eau sur les hauteurs significatives à Videcoq et sur la basse plage de Donville-les-Bains

Il apparaît, par exemple, que les mouvements de la masse d'eau peuvent être très différents entre la basse plage de Coutainville et l'avant côte située immédiatement au droit.

Au large, malgré l'agitation, les courants dus à la marée infléchissent la direction des courants oscillatoires, générant une circulation résultante parallèle à la côte.

Au même moment, sur les bas estrans, les courants oscillatoires sont largement dominants sur la dynamique induite par la marée.

Le même cas de figure peut s'observer entre la haute et basse plage sur l'estran de Donville. A pleine mer, les courants oscillatoires importants sont réorientés vers le quadrant nord du fait des forts courants de marée parallèles à la côte. Mais à PM-1h30 et PM+0h30, sur la haute plage, les courants dus aux houles proches du déferlement, sont alternatifs et perpendiculaires au trait de côte. Sur le bas estran, au contraire, la dynamique de marée est encore suffisamment puissante pour induire une mobilité résultante de la masse d'eau vers le quadrant nord.

Les conséquences de cette variabilité spatio-temporelle de la courantologie côtière sur la dynamique sédimentaire seront très importantes. En effet, il apparaît que la mobilité des masses d'eau fluctue en tout point de l'avant-côte et des plages étudiées en fonction, en grande partie, du marnage.

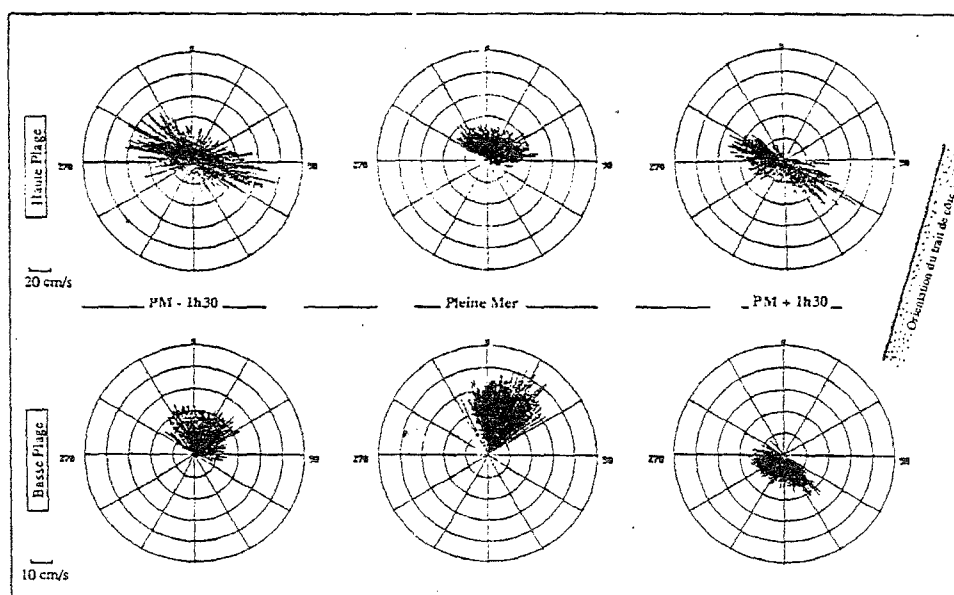


figure 5 : variations spatiales des courants orbitaux sur la basse et la haute plage de Donville-les-Bains

L'ensemble des mesures in situ, réalisées dans le cadre du programme ROMIS, et leur interprétation permet de proposer, dans l'état actuel de nos travaux, des relations entre d'une part la vitesse orbitale, U_{max} , et la vitesse moyenne du courant, U_{moy} , et d'autre part, entre la hauteur significative de la houle et la hauteur d'eau. Elles permettent d'apprécier la direction de mouvement de la masse d'eau près du fond et d'en déduire les conséquences sur la mobilité des sédiments sableux. Lorsque les rapports H_s/H_t et U_{max}/U_{moy} sont inférieurs respectivement à

Plusieurs remarques s'imposent :

- la hauteur significative des houles mesurée sur les bas estrans varie considérablement durant les 8 ou 9 heures d'immersion des sites considérés ;
- les maxima entre deux périodes d'exondation ont une périodicité de 12 heures environ, proche du cycle marégraphique. Le tracé des enregistrements des hauteurs significatives sur les estrans est proche de celui de la courbe marégraphique.
- l'effet des marées sur les houles du large est en phase avec celui que l'on observe sur les houles à la côte.

La marée contrôle donc fortement les amplitudes de houle sur les plages. La variation, avec le niveau de plan d'eau, du coefficient d'amortissement entre les houles du large et celles mesurées sur l'estran ($H_s^{\text{large}} - H_s^{\text{plage}} / H_s^{\text{large}}$) témoigne de cette influence. En fonction des sites et du type d'agitation au large, ce coefficient varie de 0.15 à 0.65 sur la zone d'étude.

4.2. Modification des directions de propagation à la côte liée à la marée

L'influence de la marée est également sensible sur les directions de propagation des houles tant au large qu'en zone côtière. Par exemple, sur la plage de Saint-Martin-de-Bréhal, au Nord de Donville, lors des marées du 17 novembre 1992, la direction de propagation varie entre 190° à basse mer et 235-240° à pleine mer. Cette évolution est presque symétrique par rapport au moment des pleines mers. Au large, sur le site de Videcoq, le phénomène est également sensible.

Cette sensibilité de la direction de la houle au niveau d'eau est particulièrement nette sur les marges des deltas de jasant des petits estuaires de la côte du Cotentin. Cette variabilité des conditions d'agitation dans le temps au cours d'un cycle de marée ne peut que modifier les courants oscillatoires induits.

Se superposent, ensuite, les influences des grands cycles marégraphiques (vive-eau/morte-eau) et des ondes de tempêtes qui peuvent durer quelques jours, et accentuent la variabilité des processus hydrodynamiques.

5. Variabilité des processus hydrodynamiques sous l'interaction houle-courant

En régime macrotidal, la dynamique des sédiments sableux est principalement liée aux courants générés par l'interaction entre les courants de marée et les courants orbitaux sur les fonds.

Les données de courant brutes, recueillies dans le cadre du programme ROMIS, mettent en évidence :

- à un instant donné, la variabilité spatiale des courants entre l'avant-côte et l'estran et au sein même du domaine intertidal, entre la haute et la basse plage (fig. 5) ;
- au cours du cycle tidal, une forte variabilité temporelle des courants induits par l'action des houles et de la marée (fig. 5).

0.1 et 1, l'influence prépondérante des courants de marée est à l'origine d'une circulation Nord-Sud. Dans les autres circonstances, les courants de houle imposent un courant global dont la composante perpendiculaire au trait de côte est dominante.

6. Conclusions

De nombreuses mesures des caractéristiques hydrodynamiques ont été réalisées sur la côte occidentale de la presqu'île du Cotentin dans le cadre du programme ROMIS. Des données de houle directionnelle sur l'avant côte ont été ainsi obtenues. Sur les plages, les caractéristiques directionnelles de la houle, les fluctuations du niveau du plan d'eau statique, et les courants horizontaux ont fait l'objet de mesures dans des conditions d'agitation et de marée variées.

La zone d'étude se caractérise par de très forts marnages et des agitations modérées. Les fluctuations importantes de la hauteur d'eau peuvent ainsi induire des modifications spatiales, sur la largeur de l'estran, et temporelles, au cours du cycle de marée, de la norme et de la direction des courants généraux. Ainsi, la norme de la vitesse croît avec la hauteur d'eau pour les marées de forte amplitude et lorsque la profondeur d'eau est supérieure à 3 mètres environ. Cette relation peut être approchée par une loi linéaire indépendante du coefficient de marée.

Les fluctuations du niveau d'eau entraînent également des modifications des caractéristiques de l'agitation. Cette influence est encore sensible au large pour des fonds situés 5 à 10 mètres au-dessous du niveau des plus basses mers. L'agitation sur l'estran subit donc également des variations spatiales et temporelles qui sont directement en relation avec le phénomène de marée.

Une compétition s'installe, à proximité du fond sableux, entre les courants de marée et les courants orbitaux liés à la houle. En fonction des caractéristiques respectives des deux agents qui varient dans le temps et l'espace, la norme et la direction des courants résultants à proximité du fond seront également changeantes. Les transports sédimentaires qui découlent principalement des ces courants seront, par voie de conséquence, également influencés fortement, mais de manière indirecte, par le phénomène de marée.

Références

Levoy F., 1994. Evolution et fonctionnement hydrosédimentaire des plages macrotidales, l'exemple de la côte ouest du Cotentin. Thèse de doctorat de l'Université de Caen. 424 p.

Levoy F., Avoine J., 1991. Field measurements to estimate sediment transport in a high-energy coastal area. Proc. Coastal Sediment's 91, Seattle, June 1991 (published separate from proceedings). ASCE. 13 p.

Orbi A., 1986. Circulation de marée dans le golfe normand-breton. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale. 230 p.