

Océanographie (Géologie marine)

Contributions respectives des courants et de la houle dans la mobilité sédimentaire d'une plate-forme interne estuarienne. Exemple : le seuil interinsulaire, au large du pertuis d'Antioche, France

Déborah Idier^{a,*}, Rodrigo Pedreros^a, Carlos Oliveros^a, Aldo Sottolichio^b,
Lorraine Choppin^{a,c}, Xavier Bertin^d

^a BRGM, Service ARN, 3, av. Claude-Guillemain, 45060 Orléans cedex 2, France

^b EPOC, UMR 5805, université Bordeaux-I, av. des Facultés, 33405 Talence, France

^c SMTC, 2 bis, rue de l'Hermitage, 63000 Clermont-Ferrand, France

^d Centre littoral de géophysique, université de La Rochelle, av. Michel-Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 1, France

Reçu le 5 août 2005 ; accepté après révision le 3 mai 2006

Disponible sur Internet le 21 juin 2006

Présenté par Xavier Le Pichon

Résumé

L'influence relative des vagues, courants de marée et courants induits par le vent sur la mobilité sédimentaire est étudiée en domaine de plate-forme interne macro-tidale (au large des pertuis Charentais). Cette étude, basée sur une mesure hydrodynamique réalisée pendant trois semaines, montre que, par 23 m de fond, les houles (plutôt que la mer de vent) sont suffisantes pour mettre en mouvement les sables moyens, qui peuvent ensuite être transportés par les courants de marée ou ceux induits par le vent. Les sables de 0,2 mm de diamètre seraient ainsi transportés pendant 92% de la durée de la mesure, tandis que les graviers seraient sporadiquement mis en mouvement, lors de conjonctions vive-eau-tempête. En outre, les flux de sédiments charriés apparaissent beaucoup plus importants lorsque les vagues sont prises en compte (370 fois plus grand pour des sables de 0,2 mm). **Pour citer cet article : D. Idier et al., C. R. Geoscience 338 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Respective contributions of currents and swell to the sediment mobility in an internal estuarine platform. Example of the inner shelf seaward of the 'pertuis Charentais', France. This paper investigates the relative influence of waves, wind-induced current and tidal current on the sediment mobility of a macro-tidal environment belonging to the inner shelf seaward of the 'pertuis Charentais' (France). This study, mainly based on three-week hydrodynamic in-situ measurements, shows that, for a water depth of 23 m, the swell (rather than wind waves) orbital velocity is large enough to initiate the motion of medium sands that are then transported by currents. Estimations show that medium sand of 0.2 mm is transported during 92% of the measurements, whereas coarse sand and gravel move sporadically, during storm, synchronously with spring tides. Further more, bedload fluxes appear strongly larger when waves are taken into account (370 times larger for 0.2-mm sands). **To cite this article: D. Idier et al., C. R. Geoscience 338 (2006).**

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : d.idier@brgm.fr (D. Idier).

Mots-clés : Courants ; Vagues ; Plateau continental ; Mobilité ; Sédiment ; Pertuis Charentais ; France

Keywords: Current; Waves; Continental shelf; Mobility; Sediment; 'Pertuis Charentais'; France

Abridged English version

1. Introduction

The lack of terrestrial aggregate implies the use of marine aggregates. In order to assess the impact of such a marine extraction, there is a need to estimate the surrounding sediment mobility. One of the possible methods is to use hydrodynamic measurements and some semi-empirical sediment mobility results. In [2], such an approach has been used, at the Bay of Biscay scale. In the present paper, refining this approach, we perform an analysis of the relative influence of tidal currents, residual currents, wind-waves and swells on the sediment mobility.

The studied area (seaward of the 'pertuis Charentais'), located along the French Atlantic coast (Fig. 1), has been already studied, using sedimentary approaches [3,4,21,22]. Measurements are performed with an electromagnetic current meter S4 ADW moored on the seabed and acquiring current and pressure 40 cm above the seabed, in 23 m water depth, from 5 to 27 November 2002, with a frequency of 2 Hz. During the measurements, three main stormy periods are observed (Fig. 2a), with wind velocity up to 15–20 m s⁻¹.

2. Method and results

The forcing parameters for sediment dynamics are: the currents (tide, wind and wave-induced, the sum of wind and wave-induced is called residual current in the present paper) and the orbital velocity (wind-wave and swell). The hydrodynamic measurements are analysed to dissociate these components. The measurement analysis is based on the free software T_Tide [13] to estimate the tidal components, after having applied a low-frequency filter at 1/120 Hz. For the waves, our own toolbox is used, based on the toolboxes Diwasp, Wafo and some partitioning and wave/swell discriminators [1,6,7]. Results are plotted in Fig. 2.

Based on the Shields parameter [19], Fig. 3 shows the grain sizes of sediment eroded thanks to wave action and tidal and residual currents: (1) during spring tides, currents are large enough to put in motion sands, up to 0.5 mm, waves can erode sediments of grain size up to 5 mm during stormy periods. Regarding 0.2-mm sands, the transport mechanism would occur during 92% of the

measurement period if waves and current were considered. Gravel erosion can also occur. A diagram (Fig. 4) plotting eroded grain sizes versus total bed shears stress due to waves and currents illustrates the sediment mobility in the area and the predominance of wave in initiation of sediment motion. Estimation of the bedload transport with and without waves for grains of 0.2 mm (Fig. 5) shows the influence of waves: the mean sediment flux is about 370 times larger when waves are taken into account. Thus, sands are transported by currents, after being put in motion by waves.

3. Discussion and conclusion

To go further into the sediment mobility analysis, we intend to identify the nature of the residual currents and waves. Using the empirical relation $U_{\text{induced}} = 0.03U_{\text{wind}}$ [11], the 11/7th (constant wind conditions during two days), the estimated wind-induced current, 40 cm above the seabed, would be 0.23 m s⁻¹. This value is close to the residual current of 0.21 m s⁻¹ obtained from the S4 measurement analysis. Thus, it seems that the wind-induced current is a dominant component in the residual current. Regarding waves, Fig. 2f shows that the dominant orbital velocities are due to swells, rather than wind-waves. Thus, this study, using a complete hydrodynamic measurement analysis, confirms previous works [2,21] and goes further: in this area of the inner continental shelf, sands are transported by tidal and wind-induced currents, after being put in motion mainly by swell.

1. Introduction

En raison de la pénurie de granulats terrestres, le recours à des sédiments marins s'avère opportun, avec la contrainte de minimiser l'impact de ces extractions sur l'environnement, en particulier sur la dynamique sédimentaire environnante. Pour estimer cet impact, il faut donc analyser de manière suffisamment fine la mobilité des sédiments sur les zones d'extraction et environnantes.

Les fonds marins, en particulier dans les zones de plate-forme continentale interne macrotidale, sont soumis à l'action de la houle et des courants de marée [9]. L'analyse des processus de transport sédimentaire passe par l'estimation de l'influence de chacun de ces deux

processus. L'impact relatif théorique de la houle et des courants de marée sur les sédiments de la plate-forme du golfe de Gascogne a déjà fait l'objet d'une étude [2], basée sur des mesures hydrodynamiques, d'une part, et des abaques de mise en mouvement et de transport de sédiments, d'autre part. Cette étude a permis d'apporter des précisions sur la mobilité sédimentaire à l'échelle du golfe. Toutefois, selon les auteurs, elle comporte quelques limites, avec, en particulier, une surestimation de la mobilité des sédiments.

Le but de ce travail est, à partir de mesures hydrodynamiques, en affinant l'approche utilisée dans [2], d'étudier l'influence des composantes de courants de marée, de houle, de mer, de vent et de courants résiduels sur la mise en mouvement et le transport des sédiments. Une méthodologie complète d'analyse des mesures hydrodynamiques en termes de dissociation de processus (houle, mer de vent, courants de marée, résiduel) et en termes de transport sédimentaire est ainsi appliquée à un site de la plate-forme interne du golfe de Gascogne dans le contexte estuarien du pertuis d'Antioche.

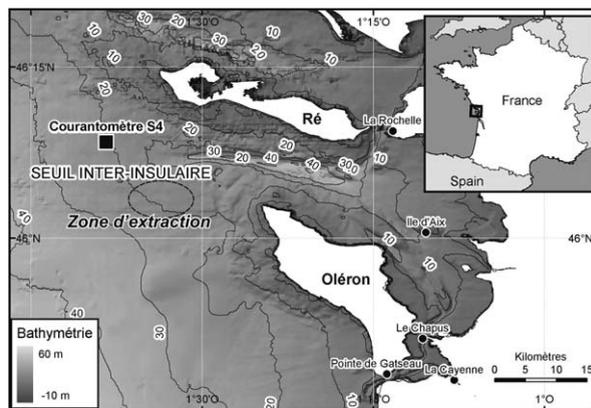
2. Zone d'étude et données

2.1. Zone d'étude

Le site d'étude, à savoir le seuil interinsulaire, au large du pertuis d'Antioche, a été choisi parce qu'il s'agit un secteur d'extraction de granulats (Fig. 1) qui est sujet à des phénomènes d'érosion [22] et qui a déjà fait l'objet d'études sédimentaires [3,4,21,22]. Le pertuis d'Antioche est situé sur la côte atlantique (Fig. 1), et est délimité par les îles de Ré et d'Oléron. D'après un modèle de courants validé [14], les courants de marée intégrés sur la verticale sont de l'ordre de $0,45 \text{ m s}^{-1}$ et le marnage est de 5,1 m en vive-eau moyenne au niveau du seuil interinsulaire. Cette zone est recouverte de sables fins, et localement de sables graveleux. À partir d'observations sédimentaires, Weber et al. [21,22] émettent l'hypothèse suivante, que nous tenterons de vérifier : le seuil interinsulaire serait un domaine en érosion, dominé par l'action des vagues.

2.2. Campagne de mesure *in situ*, données externes et contexte hydrométéorologique

Les mesures hydrodynamiques présentées dans cet article ont été réalisées dans le cadre d'une campagne BRGM-UMR EPOC-université de La Rochelle, à proximité de la zone d'extraction (Fig. 1). Un courantomètre électromagnétique S4 ADW a été mouillé par 23 m cote marine à la position ($46,14^\circ \text{N}$; $1,64^\circ \text{W}$),



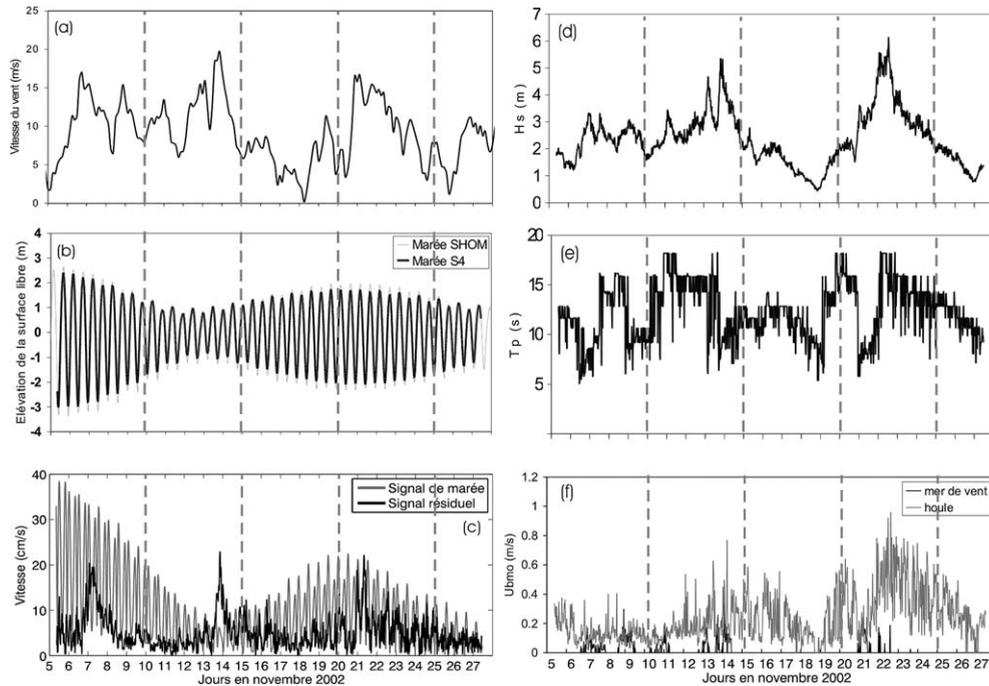


Fig. 2. Données et résultats hydrodynamiques : (a) vitesse du vent au point (46°N ; $2,5^{\circ}\text{W}$), modèle Wavewatch III; (b) marée prédite (SHOM) à La Rochelle–Pallice (gris) et marée après analyse de S4 (noir); (c) module du courant de marée (S4 analysé) et courant résiduel (signal brut filtré passe-bas moins le courant de marée issu de l’analyse de la mesure S4) près du fond; (d) hauteur significative des vagues (S4); (e) période pic des vagues (S4); (f) vitesse orbitale des houles et mer de vent, théorie linéaire (S4).

Fig. 2. Hydrodynamic data and results: (a) wind velocity at (46°N ; $2,5^{\circ}\text{W}$) from Wavewatch III model; (b) predicted tide (SHOM) at La Rochelle–Pallice harbour (grey) and tide after S4 measurements analysis (black); (c) tidal current module (S4 analysis) and residual current (high-pass filtered signal minus tidal signal) near the bottom; (d) significant wave height; (e) wave peak period; (f) orbital velocity of swells and wind-waves, linear theory.

charriés, non cohésifs, par les courants, d’une part, et l’action conjointe des courants et des vagues, d’autre part, et ce, à chaque instant entre le 5 et le 27 novembre 2002.

3.1. Traitement des mesures hydrodynamiques

3.1.1. Extraction des paramètres hydrodynamiques

La mesure du courantmètre S4 est traitée pour dissocier le signal de marée du signal résiduel (i.e. signal brut moins le signal de houle moins le signal de marée), de la houle et de la mer de vent.

Afin d’estimer les composantes de marée et composantes résiduelles, le signal oscillatoire lié aux vagues est filtré en appliquant un filtre passe-bas à 1/120 Hz. L’estimation de la composante de marée est alors effectuée par analyse des composantes harmoniques (logiciel T_Tide [13]). Une fois les composantes de marée extraites pour les hauteurs d’eau et pour les composantes de vitesse U et V , le signal est recomposé en signal temporel. Ensuite, le courant résiduel est estimé par différence entre le courant total (issu du filtrage passe-bas

à 1/120 Hz) et le courant de marée (issu du traitement par composantes harmoniques).

Afin d’estimer les caractéristiques des vagues, le signal brut est traité par analyse spectrale directionnelle sur des échantillons de 30 min, à l’aide d’une boîte à outil développée à partir des boîtes à outil Diwasp et Wafo, en intégrant un algorithme de partition du spectre [6]. La méthode d’analyse spectrale est celle de l’entropie maximale étendue [7]. Une fonction de transfert (K_p), basée sur la théorie linéaire de la houle a été appliquée, pour tenir compte des effets non hydrostatiques : $K_p = \cosh(kz) / \cosh(kh)$, avec k le nombre d’onde, h la hauteur d’eau totale et z la hauteur du capteur par rapport au fond. Il existe une fréquence maximale ou fréquence de coupure (f_c), au-delà de laquelle K_p devient instable à cause des problèmes numériques associés à la résolution d’un système hyperbolique. En utilisant les recommandations de la référence [17,20], la partie du spectre correspondant à une valeur supérieure à 0,22 Hz a été donc supprimée. L’énergie contenue dans cette partie est donc négligée pour l’estimation de la hauteur significative des vagues. L’application de K_p

Tableau 1

Sorties de la chaîne de traitement, utilisées dans la présente étude

Table 1

Measurement analysis outputs, used in the present study

Phénomène/Phenomena	Caractéristiques/Characteristics
Marée/Tide	$Xe(t)$ et amplitudes des composantes/ $Xe(t)$ and component amplitude
Courants de marée/Tidal current	Module et direction/Magnitude and direction
Vagues/Waves	Hauteur, période, direction/Height, period, direction
Houle/Swell	Hauteur, période, vitesse orbitale/Height, period, orbital velocity
Mer de vent/Wind wave	Hauteur, période, vitesse orbitale/Height, period, orbital velocity

(f_c de 0,22 Hz) et l'utilisation de la théorie linéaire de la houle introduisent une sous-estimation de la hauteur des vagues de l'ordre de 15% [20]. Une fois le traitement spectral réalisé, la nature des différents pics de vagues (houle ou mer de vent) ainsi détectés est alors déterminée à partir de critères d'âge et de direction des vagues [1]. Ainsi, un pic sera attribué à un pic de mer vent si :

- $c_{houle}/U_{vent} < c$, avec $c = 1,05$, c_{houle} la vitesse de phase de la houle et U_{vent} la vitesse du vent, 10 m au-dessus du niveau de la mer (critère d'âge) ;
- la différence de direction entre vagues et vent local est inférieure à 30° (critère de direction).

Le **Tableau 1** présente les paramètres obtenus et utilisés dans la suite.

3.1.2. Estimation des contraintes appliquées sur le fond

La mesure effectuée par le S4 donne la vitesse du courant à la cote $z = 0,40$ m au-dessus du fond. Il s'agit d'estimer la contrainte au fond à partir de cette mesure. Des mesures de profils verticaux effectués dans la même zone, pendant la même période, montrent que la vitesse suit un profil logarithmique sur la verticale (colonne d'eau bien mélangée) [5]. Un profil de vitesse logarithmique peut donc être utilisé et, en utilisant la relation entre la contrainte au fond et la vitesse de frottement au fond, on obtient une relation directe entre la contrainte au fond et la mesure effectuée : $\tau_{b,c} = \rho \kappa^2 (u(z, t) / \ln(z/z_0))^2$ avec ρ la masse volumique de l'eau, κ la constante de von Kármán (0,41), et z_0 la longueur de rugosité.

La contrainte au fond due aux vagues et moyennée sur un demi-cycle de vagues, s'exprime, quant à elle, sous la forme [11] : $\tau_{b,w} = 0,25 \rho f_w (u_b)^2$, avec u_b la valeur pic de la vitesse orbitale près du fond, suivant la théorie linéaire, et f_w le coefficient de frottement des vagues [19], fonction de la longueur d'excursion des vagues et de la hauteur de rugosité k_s .

Reste à estimer la rugosité du fond ($z_0 = k_s/30$) : elle est liée à une rugosité de grain et une rugosité de forme et s'exprime sous la forme $k_s = 3D_{50} + 20\eta_{rh}^2/\lambda_{rh} + 20\eta_{rc(max)}^2/\lambda_{rc(max)}$, avec D_{50} la taille de sédiment médiane, η_{rh} (resp. $\eta_{rc(max)}$) et λ_{rh} (resp. $\lambda_{rc(max)}$) les hauteurs et longueurs d'onde de rides dues aux vagues (resp. dues au courant), estimées par le prédicteur de rides de Nielsen [10] (resp. de Soulsby [16]).

3.2. Formulation théorique de la mobilité sédimentaire

3.2.1. Mise en mouvement des sédiments

Pour que le sédiment soit mis en mouvement, la contrainte au fond, liée à la rugosité de peau, doit être supérieure à une contrainte critique ($\tau_b > \tau_{bc}$). La plupart des calculs de contrainte critique de mise en mouvement sont basés sur le paramètre de Shields [19], défini par : $\theta_c = \tau_{bc}/g(\rho_s - \rho)D_{50}$, avec g l'accélération de la pesanteur, ρ_s la masse volumique du sédiment. Ce paramètre de Shields critique de mise en mouvement du sédiment est fonction du paramètre de mobilité $D_* = (g(s - 1)/\nu)D_{50}$, avec ν la viscosité cinématique de l'eau et s la densité relative du sédiment [19]. Afin d'estimer les tailles maximales de grains mis en mouvement par l'action conjointe des courants et des vagues, nous utilisons la somme des paramètres de Shields liés au courant d'une part et aux vagues d'autre part $\theta_{1,2} = \theta_1 + \theta_2$, et, par méthode inverse, déduisons la taille maximale de grain mise en mouvement sous cette contrainte.

En termes de domaine granulométrique étudié, à la position S4, les observations [4,15,21] indiquent la présence dominante de sables très fins à moyens (taille comprise entre 0,063 et 0,5 mm). Nous ne considérons donc que les sédiments non cohésifs (taille supérieure à 0,063 mm). Nous supposons que le fond est principalement constitué de sables de taille fixe et que, ponctuellement, d'autres tailles de grain peuvent être présentes dans la zone étudiée : c'est la dynamique de ces grains que nous étudions. La rugosité de peau (grain) est donc supposée constante, avec une taille de grain

représentative du milieu de 0,2 mm. Dans cette étude, l'approximation $D_{50} = D_{90}$ a été faite. Si la répartition granulométrique réelle était du type $D_{50} = 0.5D_{90}$, l'approximation $D_{50} = D_{90}$ conduirait à sous-estimer de 14% la contrainte critique de mise en mouvement des grains médians.

3.2.2. Transport : flux de sédiments charriés

Les flux de sédiments charriés sont calculés en utilisant la relation de van Rijn [19], qui est une des relations les plus utilisées et reconnues en domaine peu profond, domaine où est effectuée la mesure S4 :

$$q_b(t) = 0,25\rho_s\alpha D_{50}D_*^{-0,3} \left[\frac{\tau'_{cw}}{\rho} \right]^{0,5} \left[\frac{(\tau'_{cw} - \tau_{bc})}{\tau_{bc}} \right]^{1,5}$$

avec $\alpha = 1 - (H_s/h)^{0,5}$ et τ'_{cw} la somme des contraintes de peau de vagues et de courant.

3.3. Synthèse des hypothèses effectuées

Cette étude est donc poursuivie sur les hypothèses, justifiées, suivantes :

- la colonne d'eau est bien mélangée ;
- les vagues de longueur d'onde supérieure à 25 m dominant dans le signal de houle ;
- le sédiment dominant est unimodal parfaitement classé (Dirac) tel que $D_{50} = D_{90}$;
- les sédiments non cohésifs sont exclus.

4. Hydrodynamique : résultats

4.1. Marée

En appliquant la méthode d'analyse exposée ci-dessus à la mesure du courantomètre S4, nous obtenons les composantes M2, S2... et le signal temporel de marée (Fig. 2b). Pour valider ces résultats, nous utilisons les données de marée du SHOM au port de La Rochelle-Pallice (Fig. 2b) et les résultats d'un modèle de marée du SHOM [12], interpolés au point S4. La marée, issue du courantomètre S4 est proche de celle observée à La Rochelle (Fig. 2b), avec une amplitude du signal de marée, de 10% plus faible que celle observée à La Rochelle. Cette différence s'explique par une augmentation de l'amplitude de la marée à La Rochelle, par les effets combinés de la levée (*shoaling*) de l'onde de marée et la morphologie de fond de baie étroite. Par rapport aux résultats du modèle de marée, au point de mesure, les premières composantes montrent un bon accord entre modèle SHOM et mesures S4, avec une différence rela-

tive de 0,23% pour la composante M2 et de 3% pour la composante S2.

4.2. Courants de marée

Les courants de marée obtenus sont présentés sur la Fig. 2c. Le courant de marée à 40 cm au-dessus du fond est de l'ordre de $0,38 \text{ m s}^{-1}$ (jusant) en vive-eau et de $0,08 \text{ m s}^{-1}$ en morte-eau (jusant), avec une asymétrie entre le flot et le jusant (courant de flot plus faible et durée plus longue, par rapport au jusant), qui est d'autant plus forte que le coefficient de marée est faible. Ces résultats permettent aussi d'estimer le courant de marée intégré sur la verticale, donnée utile pour la validation de modèles hydro-sédimentaires dans la zone. Ainsi, pour le cycle de marée le plus proche d'une vive-eau moyenne pendant la campagne (le 8 novembre 2001, coefficient de marée de 92), les courants de flot et jusant, intégrés sur la verticale, sont respectivement de $0,41$ et $0,48 \text{ m s}^{-1}$, ce qui est en accord avec les valeurs de courant intégré sur la verticale, fournies dans l'atlas de courants du SHOM au niveau du seuil interinsulaire ($\sim 0,45 \text{ m s}^{-1}$ pour un coefficient de 95).

4.3. Courants résiduels

En pratique, les courants résiduels incluent les courants induits par le vent, les courants stationnaires induits par la houle et les courants géostrophiques (négligeables dans la zone d'étude). Les mesures réalisées montrent que les courants résiduels sont plus faibles que les courants de marée, mais peuvent atteindre ponctuellement le même ordre de grandeur (Fig. 2c). Trois périodes de vitesse résiduelle forte, associées aux périodes de tempête, peuvent être identifiées : le 7 novembre, avec une vitesse de $0,20 \text{ m s}^{-1}$ orientée vers le sud-est, et les 13 et 20 novembre avec des vitesses de $0,23$ et $0,22 \text{ m s}^{-1}$ respectivement, orientées vers le nord-ouest. L'ordre de grandeur des courants de surface induits par le vent peut être estimé en utilisant la relation empirique $U_{\text{induit}} = 0,03U_{\text{vent}}$ [11]. Cette approximation est valable pour une mer de vent pleinement développée, quand le vent cède pratiquement toute sa quantité de mouvement au courant (et non plus aux vagues), ce qui est le cas pour la tempête du 7 novembre (vent bien établi pendant deux jours). Les courants à 0,4 m au-dessus du fond sont déduits en utilisant cette relation, un profil de Prandtl et la hauteur de rugosité totale k_s , variable dans le temps. Ainsi, pour un vent d'ouest de $12,5 \text{ m s}^{-1}$, le courant induit par le vent (au fond) est alors estimé à $0,23 \text{ m s}^{-1}$ [8], tandis que le courant résiduel observé est de $0,21 \text{ m s}^{-1}$. Ceci tendrait à montrer

que la majeure partie des courants résiduels mesurés est induite par le vent.

4.4. Vagues

Les mesures (pression/vitesse) montrent que, pendant la campagne, la période moyenne des vagues est de l'ordre de 12 s, la direction est d'environ 270° (en provenance de l'ouest) et la hauteur significative atteint plus de 6 m le 22 novembre (Fig. 2c et d). L'analyse par la méthode de partition du spectre [6] montre que, sur la durée de la campagne de mesure, le nombre de pics varie de 1 à 10 (4 à 10 pendant les périodes de tempête). Les houles les plus énergétiques ont une période pic variant de 8 à 18 s pour une direction (provenance) variant de 210° (SW) à 300° (NW), tandis que les mers de vent les plus énergétiques ont une période pic variant de 5 à 8 s (atteignant ponctuellement 9 s le 9 novembre) et que leur direction, liée au vent local, varie de 180° (S) à 300° (NW). En utilisant la théorie linéaire des vagues, les vitesses orbitales ont aussi été estimées. La Fig. 2f montre que les vitesses orbitales dominantes sont liées à la houle plutôt qu'à la mer de vent. Les vitesses orbitales de mer de vent atteignent des ordres de grandeur comparables à celles de la houle uniquement pendant les périodes de tempête, et ce pendant des périodes assez courtes.

5. Mobilité sédimentaire : résultats

Les résultats de l'estimation des tailles de grain mis en mouvement par les vagues et les courants (marée et résiduels) (Fig. 3, Tableau 2) montrent que : (1) les courants de marée seuls sont suffisants pour mettre en mouvement des sables (taille maximale de 0,5 mm), et ce, en période de vive-eau ; (2) le courant résultant de la superposition des composantes de marée et résiduelles engendre une mise en mouvement de sédiments légèrement plus grossiers (jusqu'à 0,57 mm) et sur une durée plus longue ; (3) les vagues seules peuvent mettre

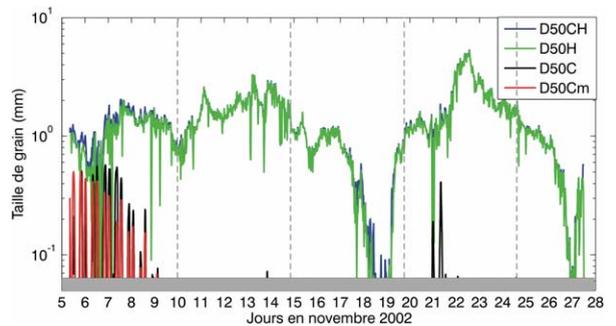


Fig. 3. Mobilité sédimentaire. Taille des grains mis en mouvement par les courants et par les vagues (D50C : courants totaux ; D50Cm : courants de marée ; D50CH : courants totaux et vagues, D50H : vagues). La zone grise correspond à la gamme granulométrique des sédiments cohésifs (exclus dans cette étude).

Fig. 3. Sediment mobility. Grain size of eroded sediment, by tidal currents (D50Cm), tidal and residual currents (D50C), waves, tidal and residual currents (D50CH) and waves alone (D50H). The grey area indicates the granulometric range of cohesive sediments (excluded from this study).

en mouvement les sédiments (dont des sables grossiers, voire des graviers) pendant quasiment toute la période de mesure, sauf le 18 novembre, période d'accalmie (Fig. 2a) ; (4) l'action conjuguée des courants (totaux) et des vagues modifie peu les caractéristiques de mise en mouvement pendant la période de mesure.

L'estimation des durées pendant lesquelles il y a mise en mouvement des grains de 0,2 mm pour chacun de ces forçages (Tableau 2), ainsi que les tailles maximales et moyennes de grains mobilisés, montrent l'action déterminante des vagues dans la mise en mouvement du sédiment, avec une durée de mobilisation égale à 92% de la durée de la mesure.

Les tailles de grain mis en mouvement peuvent aussi être tracées dans un diagramme en fonction des contraintes totales (Fig. 4). Cette visualisation montre, entre autres : (1) que les contraintes maximales dues aux vagues et moyennées sur un demi-cycle de vague sont plus de quatre fois supérieures aux contraintes maximales dues aux courants, pendant la période de mesure ;

Tableau 2

Tailles de grain obtenues en fonction des processus hydrodynamiques. Mobilité : rapport entre durée de mise en mouvement et durée de la campagne

Table 2

Obtained grain sizes results versus processes. Mobility: ratio between erosion duration and measurement duration

Courbes/Curves (Fig. 3)	D50Cm	D50C	D50CH	D50H
Courants de marée/Tidal current	×	×	×	–
Courants résiduels/Residual current	–	×	×	–
Vagues/Waves	–	–	×	×
Mobilité* des grains de 0,2 mm/ Mobility* of 0.2-mm grains	3%	4%	90%	92%
Taille de grain maximale/Maximal grain size	0,5 mm	0,57 mm	5,3 mm	5,3 mm
Taille de grain moyenne/Mean grain size	0,07 mm	0,08 mm	1,3 mm	1,3 mm

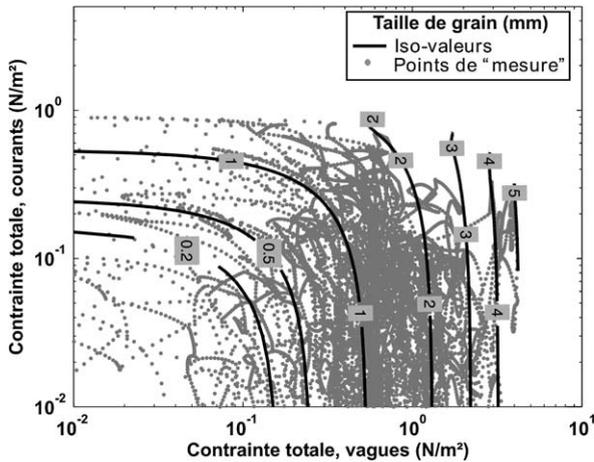


Fig. 4. Tailles de grain maximales mises en mouvement en fonction des contraintes totales au fond (rugosité de forme et de peau) dues aux vagues et aux courants (totaux). Les points noirs indiquent les résultats des calculs de mise en mouvement (Fig. 3a et b), tandis que les lignes iso-contours indiquent l'interpolation de ces résultats.

Fig. 4. Maximal grain size eroded, versus the wave and current bed shear stress. The bed shear stress includes skin and form friction. The black dots indicates the computation results (Fig. 3a, b), whereas the iso-value lines result from the interpolation of the computation results.

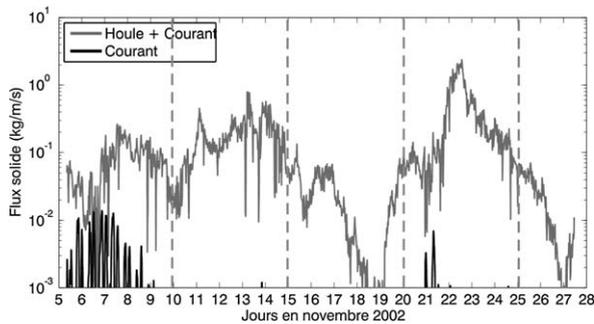


Fig. 5. Flux de sédiment. Noir : courants et vagues ; gris : courants seuls.

Fig. 5. Solid discharge. Black: current and waves; grey: current alone.

(2) que la répartition des points de mesure dans l'espace des contraintes montre une forte densité pour des contraintes de vagues inférieures à $1,5 \text{ N m}^{-2}$ et des contraintes de courant inférieures à $0,2 \text{ N m}^{-2}$, la taille de grain maximale dans cette zone étant de l'ordre de 2,2 mm.

En termes de transport, les flux de sédiments, tracés pour une taille de grain de 0,2 mm (Fig. 5), montrent que, en ne prenant en compte que les courants (totaux), le flux moyen de sédiments sur la période de la campagne de mesure est de $0,0004 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$. La prise en compte conjointe des vagues et des courants donne un flux solide moyen de $0,1483 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, soit une valeur

370 fois plus grande. L'action des vagues apparaît donc largement prépondérante dans la dynamique sédimentaire de la zone étudiée, en particulier en termes de mise en mouvement du sédiment, aussi bien lors d'épisodes de forte agitation que d'accalmie.

6. Conclusion

La présente étude met en évidence l'importance de la houle dans la dynamique sédimentaire d'une plateforme continentale interne, comme le seuil interinsulaire au large du pertuis d'Antioche. À partir de mesures de pression et courant réalisées à l'ouest du pertuis d'Antioche et d'une chaîne de traitement mise en place pour dissocier les différents agents hydrodynamiques pour une meilleure prise en compte de leur influence en termes de dynamique sédimentaire, on montre que, par 23 m de fond, la dynamique sédimentaire est principalement contrôlée par la houle (plutôt que la mer de vent). La houle met en mouvement les sédiments, et les courants de marée et ceux induits par le vent les transportent. Ceci confirme les résultats et hypothèses des références [2,21,22], en y apportant une quantification et une analyse des courants de marée, courants résiduels, vitesses orbitales, et des tailles de grain potentiellement transportées. Les périodes de vive-eau, en conjonction avec des périodes de tempête et forte houle, apparaissent suffisamment énergétiques pour permettre le transport de sables moyens, voire de graviers, avec une taille maximale mobilisée de 5 mm. Les résultats montrent en outre que, pendant la campagne de mesure, les sables de 0,2 mm auraient ainsi été transportés pendant 92% du temps. En termes de flux de sédiment transporté, pour une taille de grain de 0,2 mm, le flux moyen apparaît 370 fois plus important lorsque les vagues sont prises en compte.

L'enregistrement du transport sédimentaire en simultané avec des mesures hydrodynamiques permettrait de mieux distinguer l'action des courants induits par le vent, de celle des courants induits par la houle. En outre, la mise en place de modèles de courants, de houle et de transport de sédiment devrait permettre d'affiner ces résultats en un point et d'obtenir une représentation spatialisée des influences relatives de la houle, du vent et de la marée sur le transport de sédiment au large des pertuis Charentais.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement l'équipe de développement de T_Tide [13], Diwasp, Wafo et le SHOM pour la mise à disposition de données. Ils remercient

également E. Chaumillon (CLDG), A. de Resseguier et G. Oggian (EPOC), qui ont participé aux campagnes de mesure, réalisées grâce au navire de l'université de La Rochelle (*L'Estran*).

Références

- [1] J.E. Aarnes, H.E. Krogstad, Partitioning sequences for the dissection of directional ocean wave spectra: A review. Part of work package 4 (Wp4) of the EnviWave (EVG-2001-00017) research programme under the EU Energy, Environment and Sustainable Development programme, 2001.
- [2] X. Barthe, P. Castaing, Étude théorique de l'action des courants de marée et des houles sur les sédiments du plateau continental du golfe de Gascogne, *Oceanol. Acta* 12 (4) (1989) 325–334.
- [3] X. Bertin, E. Chaumillon, A. Sottolichio, R. Pedreros, Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: the Marennes-Oléron Bay and the Maumusson Inlet, France, *Cont. Shelf Res.* 25 (2005) 1115–1131.
- [4] E. Chaumillon, H. Gillet, N. Weber, M. Tesson, Évolution temporelle et architecture interne d'un banc sableux estuarien : la Longe de Boyard (littoral Atlantique, France), *C. R. Geoscience* 334 (2002) 119–126.
- [5] L. Choppin, R. Pedreros, A. Sottolichio, Mesures hydrodynamiques au pertuis d'Antioche et à la longe de Boyard (campagnes de novembre 2002), rapport BRGM/RP-52531-FR, 2003.
- [6] T.W. Gerling, Partitioning sequences and arrays of directional wave spectra into component wave systems, *J. Atmos. Oceanic Technol.* 9 (1992) 444–458.
- [7] N. Hashimoto, T. Nagai, T. Asai, Modification of the extended maximum entropy principle for estimating directional spectrum in incident and reflected wave field, *Rep. P.H.R.I.* 32 (4) (1993) 25–47.
- [8] G.L. Howell, Shallow water directional wave gages using short baseline pressure arrays, *Coast. Eng.* 35 (1998) 85–102.
- [9] A.W. Niedoroda, D.J.P. Swift, T.S. Hopkins, The shoreface, in: R.A. Davis Jr. (Ed.), *Coastal Sedimentary Environments*, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 1985, pp. 533–623.
- [10] P. Nielsen, Dynamics and geometry of wave-generated ripples, *J. Geophys. Res.* 86 (C7) (1981) 6467–6472.
- [11] J.-P. Le Petit, B. Manoha, M. Darras, Un modèle de prévision de déplacement de nappes d'hydrocarbures utilisé lors de l'échouement de l'Amoco Cadiz, EDF, Bulletin de la direction des études et recherches – Série A : Nucléaire, Hydraulique, Thermique 2 (1981) 39–59.
- [12] R. Le Roy, B. Simon, Réalisation et validation d'un modèle de marée en Manche et dans le golfe de Gascogne. Application à la réalisation d'un nouveau programme de réduction des sondages bathymétriques, rapport d'étude SHOM 002/03, 2003.
- [13] R. Pawlowicz, B. Beardsley, S. Lentz, Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE, *Comput. Geosci.* 28 (2002) 929–937.
- [14] SHOM, Courants de marée de la côte ouest de France, ISSN 1278-3684.
- [15] SHOM, Carte spéciale G n° 6333G.
- [16] R.L. Soulsby, R.J.S. Whitehouse, Prediction of Ripple Properties in Shelf Seas, H.R. Wallingford report TR 154, December 2005.
- [17] S4 current meter, User manual, InterOcean systems, Inc., 1994.
- [18] H.L. Tolman, User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note, 2002, 222, 133 p.
- [19] L.C. Van Rijn, Handbook of sediment transport by currents and waves, report H461, WL|Delft Hydraulics, The Netherlands, 1989.
- [20] L.C. Van Rijn, Grasmeyer B.T., Ruessink B.G., COAST3D – Measurement errors of instruments for velocity, wave height, sand concentrations and bed levels in field conditions, Dept. of Physical Geography; University of Utrecht WL, Delft Hydraulics, The Netherlands, 2000 (47 p.).
- [21] N. Weber, Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais, thèse, université de la Rochelle, 2004 (372 p.).
- [22] N. Weber, E. Chaumillon, M. Tesson, T. Garlan, Architecture and morphology of the outer segment of a mixed tide and wave-dominated-incised valley, revealed by HR seismic reflection profiling: the paleo-Charente River, *Mar. Geol.* 207 (1–4) (2004) 17–38.