

Houle
Courants de marée
Érosion
Plateau continental
Golfe de Gascogne

Swell
Tidal currents
Erosion
Continental shelf
Bay of Biscay

Étude théorique de l'action des courants de marée et des houles sur les sédiments du plateau continental du Golfe de Gascogne

Xavier BARTHE, Patrice CASTAING

Laboratoire de Géologie et Océanographie, UA n° 197 du CNRS,
Université de Bordeaux-I, avenue des Facultés,
33405 Talence Cedex, France.

Reçu le 31/5/88, révisé le 20/2/89, accepté le 24/4/89.

RÉSUMÉ

L'étude des conditions hydrodynamiques (houles et courants) dans le Golfe de Gascogne permet d'apporter des précisions quant aux processus et à la durée de la mise en mouvement des sédiments déposés sur le plateau continental. Ces données théoriques sont obtenues en utilisant les mesures *in situ* et les abaques de début et de durée d'entraînement des matériaux.

Les résultats montrent que la construction des formes sédimentaires observées sur le plateau continental, résulte de l'action combinée des houles et des courants de marée. Ces derniers, en effet, n'atteignent jamais dans les conditions normales, c'est-à-dire en dehors des périodes de fortes tempêtes, des vitesses suffisantes pour provoquer le début d'entraînement des sédiments déposés.

Cette étude indique que les mouvements sédimentaires sur le plateau continental du Golfe de Gascogne n'ont qu'une très faible durée annuelle, sauf près des côtes.

Oceanologica Acta, 1989. 12, 4, 325-334.

ABSTRACT

Theoretical study of the action of tidal currents and swell on the sediments of the continental shelf of the Bay of Biscay

From the study of hydrodynamic conditions (swell and currents) in the Bay of Biscay, details can be determined relating to the process and duration of the movement of sediments deposited on the continental shelf. Such theoretical data are obtained using *in situ* measurements, and tables for the threshold of grain motion and the duration of sediment movement.

The results demonstrate that the construction of the sedimentary forms observed on the continental shelf is a product of the combined action of swell and tidal currents. Under normal conditions, *i. e.* outside periods of strong gales, the tidal currents never in fact reach velocities sufficient to initiate the grain motion of the deposited sediments.

This study shows that the sedimentary movements on the continental shelf of the Bay of Biscay have only a very limited annual duration, except close to the coastline.

Oceanologica Acta, 1989. 12, 4, 325-334.

INTRODUCTION

En sédimentologie dynamique, les processus physiques affectant les plate-formes peuvent se traduire en termes de courants directionnels (courants de marée principalement) et de courants oscillatoires (courants de houle).

La prépondérance de l'un de ces agents dynamiques sur l'autre a conduit à la proposition de diverses classifications (Reading, 1978) qui rangent les plateaux continentaux en deux groupes principaux : ceux dominés par la houle, comme par exemple la côte est-américaine, et ceux dominés par la marée, dont les exemples-types sont la Manche et la Mer du Nord.

De nombreux auteurs (Barousseau et Longuemard, 1973; Aloisi *et al.*, 1975; Auffret *et al.*, 1976; Aloisi *et al.*, 1977; Barousseau et Jago, 1980) ont montré l'importance de la houle et des courants sur la remobilisation et le transport des sédiments du plateau continental du Golfe de Gascogne. D'autres chercheurs se sont attachés à décrire les mouvements des sédiments sur les plateaux continentaux, en étudiant les formes sédimentaires mises en évidence à l'aide d'un sonar latéral (Kenyon et Stride, 1970; Braud et Weber, 1985). Le but de ce travail est d'établir l'impact relatif théorique de la houle et des courants de marée sur les sédiments de la plate-forme du Golfe de Gascogne. On précisera d'abord les conditions hydrodynamiques du domaine étudié. On examinera ensuite l'impact de ces agents dynamiques sur les sédiments.

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU SECTEUR D'ÉTUDE

La zone géographique concernée, couvre la majeure partie du plateau continental du Golfe de Gascogne. Elle s'étend entre 44°30' et 47°30' de latitude Nord, et est limitée à l'Est par le littoral atlantique français et à l'Ouest par l'isobathe 200 m (fig. 1).

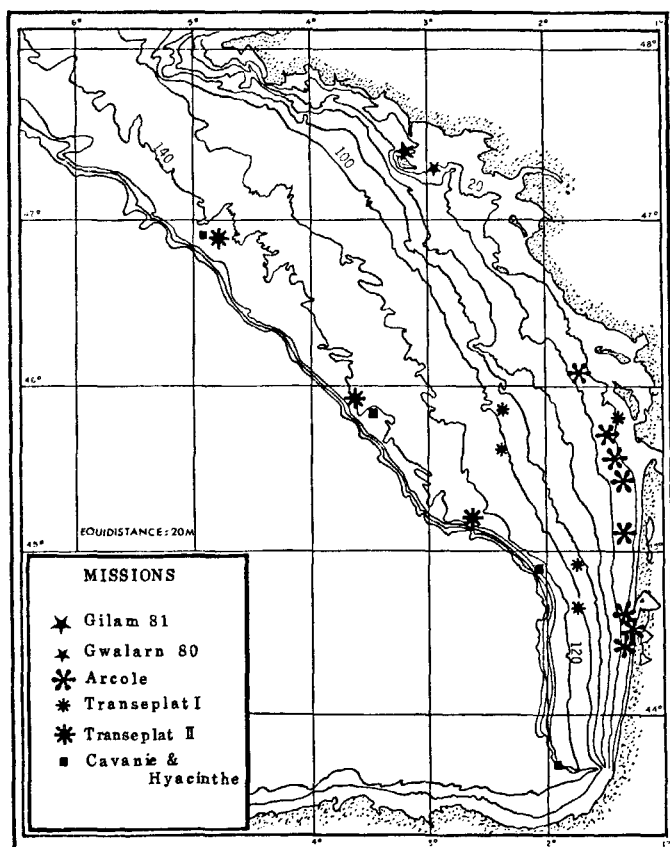


Figure 1
Carte générale du Golfe de Gascogne montrant la bathymétrie (équidistance entre les isobathes : 20 m) et la position des points de mesure des courants.

General map of the Bay of Biscay indicating the bathymetry (equidistance between isobaths: 20 m) and the position of current measuring points.

La climatologie générale des côtes atlantiques est directement liée aux perturbations du front polaire. Ainsi la position de la France en latitude est telle que des masses d'air très différentes s'y côtoient, entraînant une structure climatique particulièrement variable sur le golfe, où les vents peuvent devenir subitement violents et donner naissance à de fortes houles (Vassal, 1980).

Le Golfe de Gascogne présente une très large ouverture sur l'Océan Atlantique, qui intervient dans la dynamique particulière du golfe par l'intermédiaire de la branche sud de la dérive Nord Atlantique et des grandes houles formées au large.

La marée de type semi diurne pénètre dans le Golfe de Gascogne par le Sud-Ouest.

MÉTHODOLOGIE

Les courants

Les mesures de courants qui ont été utilisées proviennent de différentes missions océanographiques, afin d'établir une couverture géographique la plus large possible (fig. 1). Les critères de sélection des campagnes sont la position des points de mesures et la période de l'année durant laquelle les relevés courantométriques ont été effectués. Les enregistrements retenus correspondent aux périodes hivernales et printanières. Toutes les mesures courantométriques concernant ces différentes missions sont de type eulérien, et sont effectuées à l'aide de courantomètres Aanderaa.

Afin d'établir les possibilités de mise en mouvement des sédiments sous l'action des courants, nous avons déterminé, pour chaque classe granulométrique principale reconnue sur le plateau continental du Golfe de Gascogne (fig. 2), la vitesse de frottement (u^* crit.) en utilisant l'abaque de Miller (Miller *et al.*, 1977; fig. 3 a). Cet abaque donne la valeur de u^* crit. en fonction du diamètre moyen du grain. A partir de cette vitesse de frottement critique, on peut déterminer la vitesse U critique (U crit.) de début d'entraînement des grains à la distance y au-dessus du fond, grâce à la formule empirique du Laboratoire Central d'Hydraulique de France (Migniot, 1977) pour les fonds rugueux.

$$U_{y, \text{crit}} = u^* \text{crit} 5,75 \log y$$

$$(0,108 \nu (u^* \text{crit})^{-1} + 0,033 K_s)^{-1} \quad (1)$$

y : hauteur au-dessus du fond en centimètres;

ν : viscosité de l'eau ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$);

K_s : coefficient de rugosité de Nikuradse.

Ces vitesses théoriques ont été calculées à 2 et 5 m au-dessus du fond, afin de pouvoir les comparer aux vitesses mesurées *in situ* à ces deux niveaux, et de déterminer si les sédiments peuvent être mis en mouvement ou non.

Lorsque le transport est initié, pour connaître les vitesses théoriques minimales nécessaires à la poursuite du déplacement des différentes classes granulométriques reconnues sur le plateau (Allen et Castaing, 1977), nous

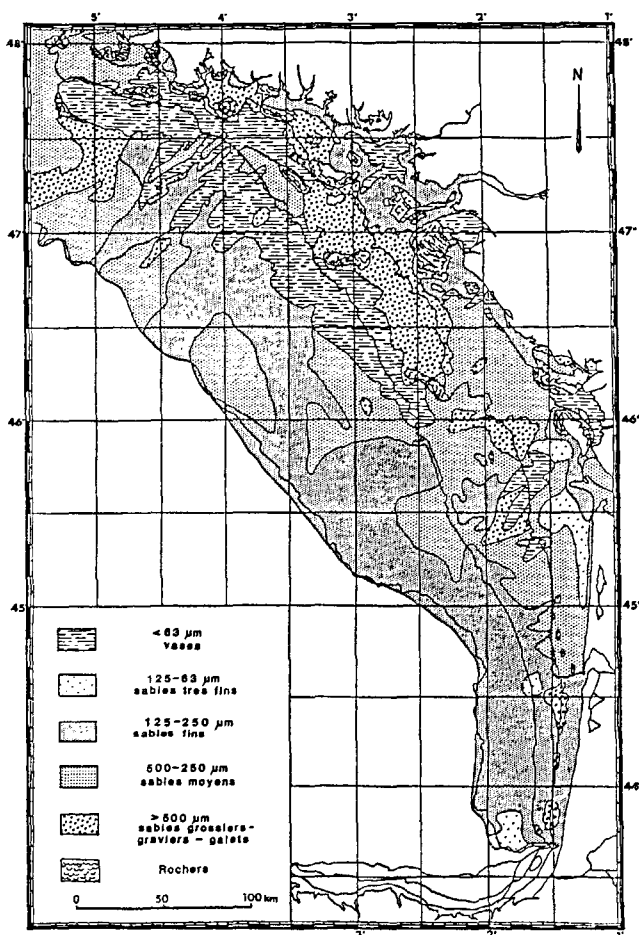


Figure 2

Carte de répartition des sédiments superficiels (caractérisés par leur mode dominant) sur le plateau continental du Golfe de Gascogne (Allen et Castaing, 1977).

Distribution map of the superficial sediment (characterized by their dominant mode) on the continental shelf of the Bay of Biscay (Allen and Castaing, 1977).

avons utilisé l'abaque de Sundborg (1967). Cet abaque indique la vitesse théorique minimale à une hauteur $y=1$ m du fond, nécessaire au maintien en mouvement d'une particule d'un diamètre donné (fig. 3 b).

Bien qu'établi pour un milieu fluviatile, cet abaque est utilisable en milieu marin car les granulométries considérées sont ici identiques et le paramètre viscosité peut être négligé au vu de l'éventail granulométrique intéressé.

Les houles

Au cours de sa propagation à l'approche des côtes, la houle subit des modifications liées à la diminution de la profondeur et à la morphologie du littoral. Dans le Golfe de Gascogne, les houles au large sont mal définies par suite du peu de mesures existantes, effectuées soit à bord de navires soit à partir de stations fixes aux divers points météo (point K : 45°N, 16°W, par exemple). Par contre, les houles à la côte sont mieux connues grâce aux enregistrements effectués pratiquement en continu en particulier par le houlographe de Biscarrosse sur la côte landaise.

Les lois qui régissent le début d'entraînement des particules sous l'action de la houle dans le milieu naturel ont été établies de façon théorique et expérimentale (Leclerc *et al.*, 1976; Larsen *et al.*, 1981). Le début d'entraînement des particules de différents diamètres a été rattaché à la vitesse orbitale U_0 et à la vitesse de frottement u^* . Ainsi, pour préciser les possibilités de mise en oscillation des sédiments par la houle, nous avons calculé les vitesses orbitales U_0 au fond, pour toutes les profondeurs du plateau et pour diverses amplitudes de houle. Ces vitesses ont été calculées à partir de la formule de Lamb (1945) selon la théorie d'Airy.

$$U_0 = \pi H (T \operatorname{sh}(2\pi h L^{-1}))^{-1} \tag{2}$$

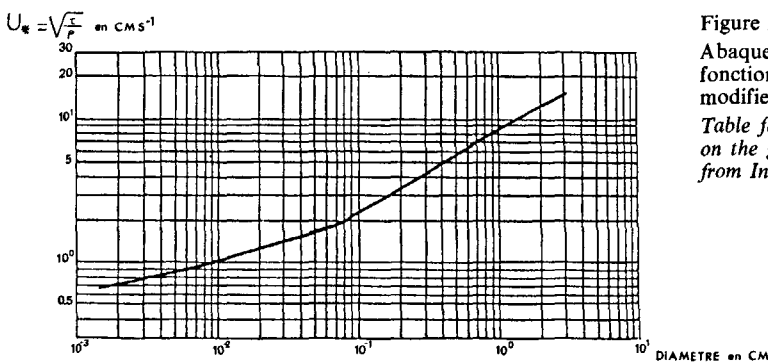


Figure 3 a

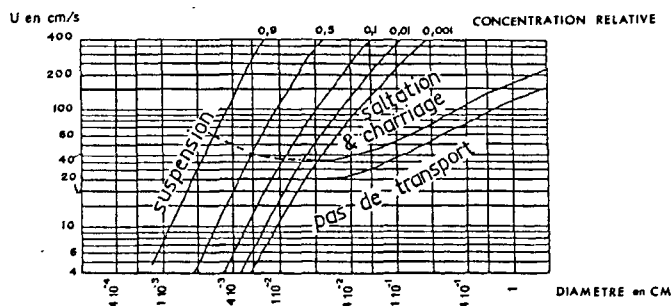
Abaque de détermination de la vitesse de frottement critique en fonction de la granulométrie du sédiment (d'après Miller *et al.*, 1977; modified from Inman, 1949).

Table for the determination of the critical friction velocity depending on the grain size of the sediment (from Miller *et al.*, 1977; modified from Inman, 1949).

Figure 3 b

Diagramme mettant en relation vitesse du courant à 1 m au-dessus du fond, diamètre du grain, et état dynamique du sédiment pour une densité de 2,65 (d'après Sundborg, 1967).

Diagram of the relationships between current velocity 1 m above the bottom, grain diameter, and the dynamic condition of the sediment for a density of 2.65 (from Sundborg, 1967).



H : amplitude de la houle en mètres.
 L : longueur d'onde de la houle en mètres.
 T : période de la houle en secondes.
 h : profondeur en mètres.

La comparaison entre les vitesses orbitales calculées et la carte de répartition des sédiments superficiels sur le plateau continental (Allen et Castaing, 1977) a permis de dresser des cartes des amplitudes de houles nécessaires au début d'entraînement des sédiments, pour des conditions moyennes (période 12 s) et pour des conditions de tempêtes (période 15 s).

Pour déterminer la durée des mouvements sédimentaires induits par les houles sur le plateau continental du Golfe de Gascogne, nous avons utilisé la méthode de Draper (1967). Cette méthode nécessite la connaissance de la fréquence des diverses amplitudes de houle au cours de l'année, et des vitesses orbitales liées à ces amplitudes à toutes les profondeurs.

La fréquence des amplitudes est donnée par l'histogramme de fréquence établi par Cavaníe (1975) à partir du modèle DSA5 de la Météorologie Nationale. Les vitesses orbitales ont été calculées à partir de la formule de Lamb (1945). Nous avons pu tracer, pour des conditions moyennes et de tempête, des cartes de durée de mise en mouvement des sédiments.

CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

Les courants mesurés résultent de la combinaison des courants généraux, des courants de marée, et des courants dus aux vents locaux. Toutefois, les vitesses des courants aperiodiques étant largement inférieures aux vitesses des courants de marée (Cavaníe et Hyacinthe, 1976), nous les négligerons dans cette étude.

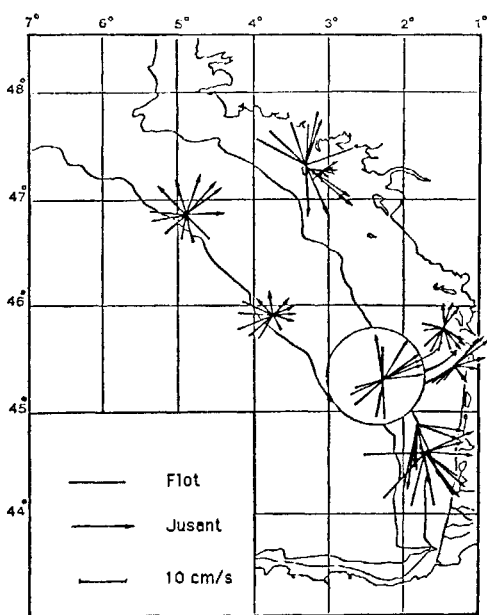


Figure 4 a
 Carte des roses de courants près du fond (mortes eaux).
 Compass card of currents near the sea-floor (neap tides).

La marée et les courants de marée

La marée est de type semi-diurne. L'onde de marée s'étale en éventail dans le golfe, atteignant presque simultanément les divers points de la côte entre l'île de Sein et le Pays Basque (fig. 1). Les lignes cotidales ont une courbure calquée sur celle du littoral (Cavaníe et Hyacinthe, 1976).

L'onde de marée diverge au niveau du 45° parallèle pour se propager, d'une part vers le Nord, d'autre part vers le Sud-Est. Elle se caractérise, dans le Golfe de Gascogne, par des marnages importants. Ainsi, sur la plate-forme externe, Cavaníe et Hyacinthe (1976) ont mesuré en bordure du plateau (isobathe -200 m) des variations de hauteurs d'eau de 1,5 à 2 m en mortes-eaux (coefficients de marée de 40 à 50). Pour des marées moyennes (coefficients 77 à 86) et des marées de vives eaux (coefficients supérieurs à 90), les valeurs de marnage sont respectivement de 2,3 et 3,5 m. Sur l'isobathe -100 m, le marnage est de 2,5 m pour les périodes de marées moyennes et de 3,8 m en vives eaux (Bonnefille et Allen, 1971). L'importance de ces marnages peut s'expliquer par l'effet de seuil : l'onde de marée qui se propage en milieu infini dans les abysses rencontre le talus continental et passe brutalement en milieu fini (Castaing, 1981).

Les courants près du fond

L'analyse des mesures courantologiques (fig. 4 a) nous permet de conclure que :

- en bordure du plateau, l'intensité des courants de marée diminue du Nord au Sud de la zone d'étude; ce phénomène avait déjà été observé notamment par Cavaníe et Hyacinthe (1976);
- au sud de 45° de latitude Nord, la résultante des courants de marée est orientée vers le Sud, à l'opposé

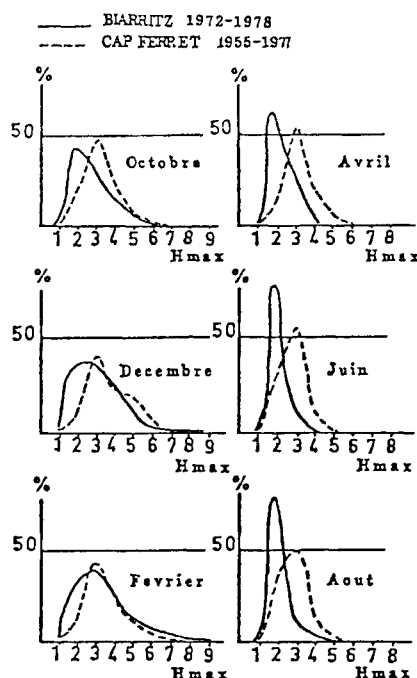


Figure 4 b
 Répartition mensuelle des amplitudes des houles (d'après Penin, 1980).
 Monthly distribution of swell amplitudes (from Penin, 1980).

de son orientation au nord de la zone; Castaing (1981) avait noté cette particularité;

- les courants de marée perdent leur caractère giratoire au fur et à mesure que l'on se rapproche du littoral; ceci est dû à la chenalisation du courant par la morphologie du fond ou l'embouchure d'un fleuve;
- le pivotement du secteur balayé par le flot peut être relié à la forme des lignes cotidales (Le Cann, 1985);
- sur le plateau, les vitesses les plus fortes ont été mesurées au-dessus de l'isobathe des -100 m; mais, près de la côte, la morphologie du fond peut entraîner localement une augmentation significative des vitesses des courants de marée.

Les courants en surface

Les courants de marée en surface, au large, sont mal connus par suite du peu de mesures systématiques réalisées. Par contre, près de la côte, les travaux menés par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, ont permis la réalisation de cartes de courants de marée (S.H.O.M., 1973).

Les courants de marée giratoires assez faibles, entre 45 et 46° de latitude Nord, s'intensifient dans cette zone sur les hauts fonds et près des côtes (Le Cann, 1981). Plus au Nord, entre la Vendée et Belle-Ile, cet auteur constate la présence de deux zones, une zone littorale présentant des courants relativement intenses et une zone plus au large caractérisée par des courants faibles. Ensuite, il signale de faibles vitesses de courant au droit de la Bretagne Sud, puis, au large du Finistère, une augmentation de l'intensité des vitesses des courants de marée.

La houle

Le plateau continental du Golfe de Gascogne est un milieu de forte énergie caractérisé par une amplitude moyenne (hauteur moyenne des vagues) de 2 m dans sa partie septentrionale, et de l'ordre de 1 m dans sa partie méridionale. Penin (1980) signale que :

- 1) 30 jours par an, l'amplitude maximale (hauteur

maximale des vagues) est supérieure à $4,80$ m;

- 2) pour une fréquence d'apparition égale à 5 jours par an, les valeurs sont groupées entre 7 et $7,60$ m;

3) l'amplitude de $9,5$ m paraît être celle qui, en moyenne, est atteinte ou dépassée 1 jour par an.

Les amplitudes maximales pour les vagues annuelles, décennales, centenaires sont respectivement de 15 , 18 et 22 m pour Duvet (1964) et de 12 , 18 et 25 m pour Vassal (1980).

Les périodes mesurées s'échelonnent de 4 à 22 s. Mais les plus fréquentes semblent être comprises entre 8 et 12 s selon Castaing (1981) et entre 9 et 13 s selon le L.C.H.F. (1979).

Les études réalisées dans le Golfe de Gascogne montrent (fig. 4b) l'existence de deux états caractéristiques au cours de l'année (Duvet, 1964; L.C.H.F., 1979; Penin, 1980) :

- un état estival (avril à septembre) durant lequel les houles sont de faible amplitude (75% des hauteurs des plus hautes vagues (H_{\max}) sont inférieures à 2 m) et présentent des périodes courtes (80% des périodes des $1/10$ plus hautes vagues ($T_{1/10}$) sont inférieures à 10 s);
- un état hivernal (octobre à mars) avec une majorité de houles de grande amplitude (75% des $H_{\max} > 2$ m) et des périodes longues (80% de $T_{1/10} > 10$ s).

Une étude statistique des directions de houle (Penin, 1980) met en évidence la prédominance des houles de secteur Ouest à Nord-Ouest.

IMPACT DES AGENTS HYDRODYNAMIQUES SUR LES SÉDIMENTS

Action des courants

Pour chaque station de mesures (fig. 1), la granulométrie des sédiments du fond est connue. On a donc comparé les vitesses maximales enregistrées à la hauteur y à la vitesse théorique de début d'entraînement, calculée à partir de la granulométrie du sédiment déposé (tab. 1).

Tableau 1

Comparaison entre les vitesses de courants théoriques de début d'entraînement ($U, \text{crit.}$) et les vitesses de courants maximales (U_{\max}) mesurées à la même hauteur y au-dessus du fond.

Comparison between theoretical current velocities at the onset of movement ($U, \text{crit.}$), and maximum current velocities (U_{\max}) measured at the same height y above the bottom.

Campagnes	Granulométrie (μm)	U théorique ($U, \text{crit.}$) nécessaire (cm/s)		U maximale (U_{\max}) mesurée (cm/s)	
		$y = 5$ m	$y = 2$ m	Vives eaux	Mortes eaux
Transeplat II 3B	300	48	–	35	18
Transeplat II 2B	160	38	–	27	17
Transeplat II 1B	160	38	–	20	–
Gilam 81 102	600	–	54	30	32
Gwalarn 80 800	160	–	38	–	25
Transeplat I 400	160	38	–	32	–
Transeplat I 300	300	48	–	27	–
Transeplat I 500	160	38	–	–	30
Transeplat I 600	80	32	–	–	29
Arcole 500	80	–	29	–	15
Arcole 400	80	–	29	–	15
Arcole 600	80	–	29	–	17
Arcole 200	300	–	42	22	–
Arcole 100	160	–	35	18	–
Arcole 700	160	–	35	18	–
Arcole 900	160	–	35	–	30

On constate sur ce tableau que les vitesses mesurées sont toujours inférieures aux vitesses théoriques nécessaires à la mise en mouvement des sédiments du fond. Il n'y a donc pas, pour les sédiments non cohésifs, de début d'entraînement, sous l'action des courants seuls, dans les conditions normales.

L'action des courants sur les sédiments non cohésifs étant précisée, nous allons maintenant déterminer leur impact sur les sédiments cohésifs des vasières. Pour les sédiments cohésifs de type vase, limon ou silt, la vitesse de frottement nécessaire pour mettre en mouvement un dépôt varie considérablement suivant son degré de tassement et donc sa teneur en eau. Ainsi, il faut prendre en compte la rigidité initiale du dépôt et, de ce fait, les sédiments cohésifs seront d'autant plus difficiles à éroder qu'ils seront consolidés (Migniot, 1977; Mehta *et al.*, 1982).

La vitesse critique de frottement u^* a été déterminée à partir des valeurs données par l'abaque du L.C.H.F. (Migniot, 1977), tandis que la vitesse théorique de début d'érosion d'un sédiment de 10 cm^{-4} a été calculée par la formule suivante (Migniot, 1977) :

$$U_{y, \text{crit}} = u^*_{\text{crit}} 5,75 \log 800 y u^*_{\text{crit}} \quad (3)$$

$U_{y, \text{crit}}$: vitesse théorique de début d'érosion ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$);

u^*_{crit} : vitesse critique de frottement ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$);

y : hauteur au-dessus du fond en centimètres.

Nous avons choisi cette classe granulométrique, car une étude récente des sédiments superficiels de la vasière Ouest-Gironde a montré que leur médiane était située aux alentours de 10 cm^{-4} (Jouanneau *et al.*, 1987). Des mesures de tassement réalisées sur des échantillons prélevés dans la vasière Ouest Gironde, montrent des valeurs de rigidité initiale comprises entre $0,09 \text{ N/m}^2$ et 2 N/m^2 (Guillaume, 1986). Pour ces valeurs, les vitesses de début d'érosion sont importantes puisqu'elles sont comprises entre $29 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ et $67 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ à 5 m au-dessus du fond. Le Cann (1981) signale une relative faiblesse des courants de marée au-dessus de la Grande Vasière. Nos propres mesures (campagne Arcole), effectuées à proximité de la vasière Ouest Gironde, montrent des vitesses inférieures à celles nécessaires à un début de remise en suspension. Ainsi l'action des seuls courants de marée ne peut provoquer l'érosion des sédiments cohésifs des vasières reconnues sur le plateau continental du Golfe de Gascogne.

Action des houles

Les houles de faibles périodes ($T < 10 \text{ s}$) ont peu d'action sur les sédiments. On s'est donc intéressé aux possibilités de mise en mouvement par les houles les plus fréquentes ($T=12 \text{ s}$) et les houles de tempêtes ($T=15 \text{ s}$).

Les cartes indiquant les possibilités théoriques de mise

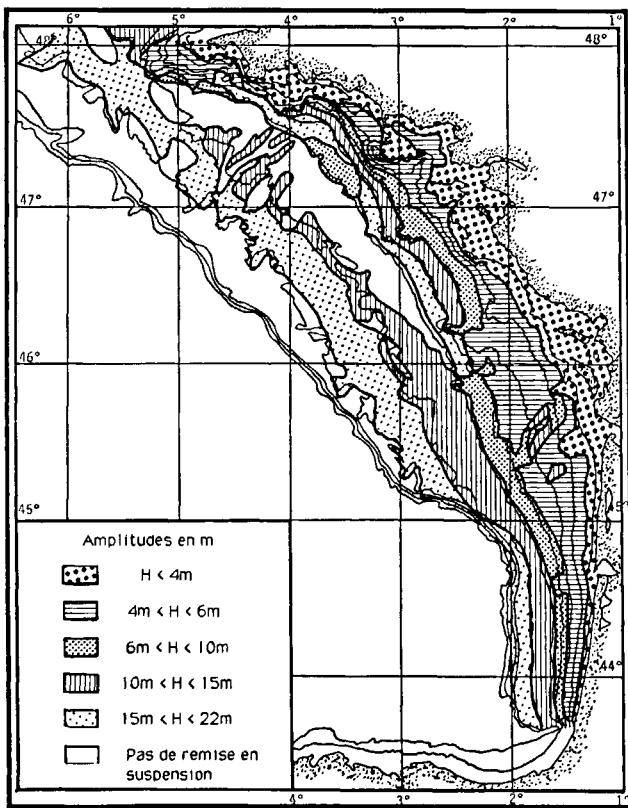


Figure 5a
Amplitudes des houles de 12 s nécessaires au début d'entraînement des sédiments superficiels du plateau continental du Golfe de Gascogne (d'après Castaing, 1981).

12s swell amplitudes required to reach the threshold of grain motion of superficial sediments on the continental shelf of the Bay of Biscay (from Castaing, 1981).

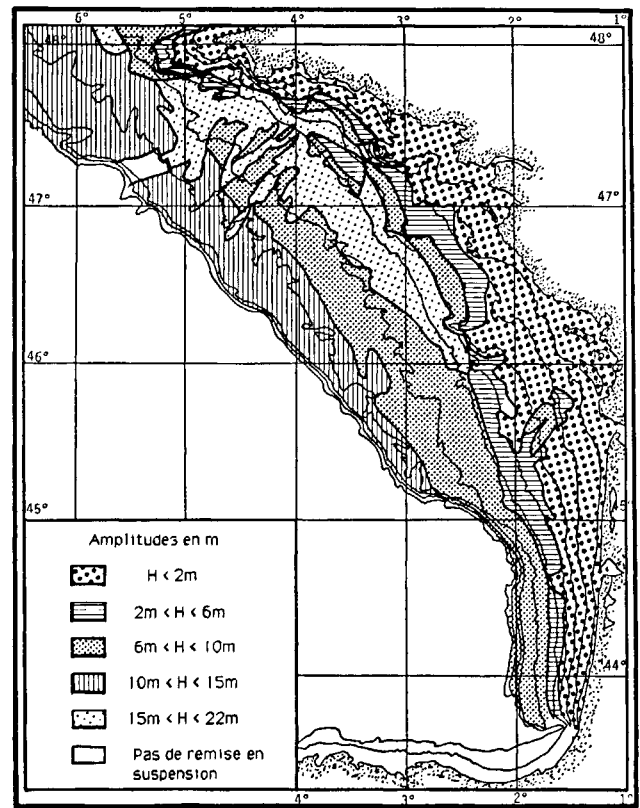


Figure 5b
Amplitudes des houles de 15 s nécessaires au début d'entraînement des sédiments superficiels du plateau continental du Golfe de Gascogne (d'après Castaing, 1981).

15s swell amplitudes required to reach the threshold of grain motion of superficial sediments on the continental shelf of the Bay of Biscay (from Castaing, 1981).

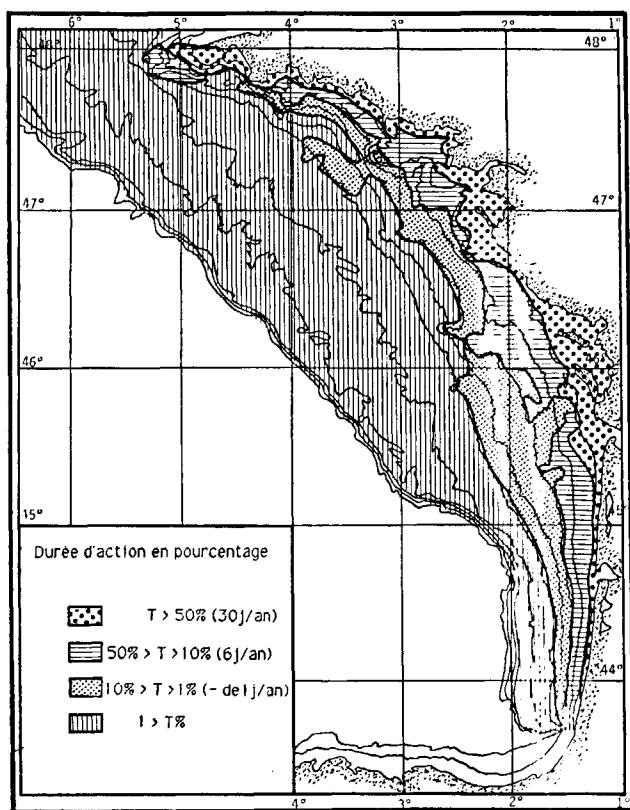


Figure 6a

Durée de remaniement des sédiments du plateau sous l'action des houles de période 12 s.

Duration of sediment motion on the shelf under the action of swell with a period of 12 s.

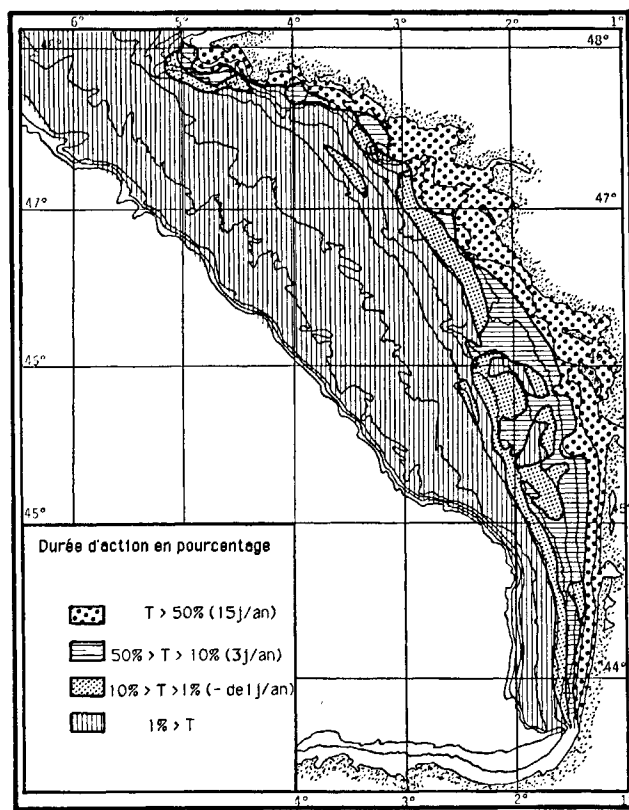


Figure 6b

Durée de remaniement des sédiments du plateau sous l'action des houles de période 15 s.

Duration of sediment motion on the shelf under the action of swell with a period of 15 s.

en mouvement des sédiments en fonction des amplitudes de houles montrent que :

— Pour des périodes moyennes ($T=12$ s, fig. 5 a), il n'y a pas de mouvement possible au-dessous de -140 m; par contre, entre -30 m et la côte, une amplitude de 2 m suffit à mobiliser les sédiments meubles. Les sédiments cohésifs de la vase Ouest-Gironde sont mis en mouvement pour des amplitudes de 6 à 10 m, jusqu'à -50 m de profondeur, et pour des amplitudes de 10 à 15 m au-delà; par contre les sédiments fins de la Grande Vasière ne sont pas ou sont peu mobilisés.

— Les houles de tempêtes ($T=15$ s, fig. 5 b) sont capables de remobiliser les sédiments sur tout le plateau. En effet dans de telles conditions, l'impact des houles se fait sentir à des profondeurs plus importantes que lors des conditions moyennes. Ainsi les houles de 2 m d'amplitude sont efficaces jusqu'à -70 m, tandis que des amplitudes de 4 à 6 m suffisent à remobiliser les sédiments de la vase Ouest-Gironde jusqu'à -45 m. Les temps de remaniement sont déterminés par la méthode de Draper (1967). Pour un sédiment de granulométrie donnée, ils dépendent de la profondeur, de la période et de l'amplitude des houles.

Les houles de 12 et 15 s de période agissent sur le plateau pendant l'équivalent de 90 jours par an, soit 80% du temps d'action annuel des houles efficaces. Les temps de remaniement ont été seulement calculés pour

ces deux types de houles, la fréquence des autres périodes étant négligeable et ne modifiant pas les résultats de façon significative.

Période de 12 s (fig. 6 a)

Lorsque la profondeur est inférieure à -20 m, les houles, en fonction de leur amplitude, provoquent la mise en mouvement des sédiments pendant plus de 50% de leur temps d'action, soit l'équivalent de 30 jours par an. Cette durée est comprise entre 50 et 10% (30-6 jours) jusqu'à une profondeur de -60 ou -40 m suivant la latitude. De -60 à -100 m au sud de 46° N, et de -40 à -60 m au nord de ce parallèle, les sédiments sont mis en mouvement pendant une durée comprise entre 10 et 1% (6 jours—moins de 1 jour). Au-delà de ces profondeurs et jusqu'en bordure du plateau, le temps d'action est inférieur à 1%.

Période de 15 s (fig. 6 b)

Les possibilités de mise en mouvement sont plus importantes, car les houles de longues périodes agissent à des profondeurs plus grandes.

Pendant plus de 50% de leur temps d'action, soit l'équivalent de plus de 15 jours par an, les houles de 15 s peuvent mettre en mouvement les sédiments jusqu'à -50 m. Elles peuvent les remanier en fonction de la latitude jusqu'à un maximum de -80 et de -60 m pendant 10 à 50% de ce temps d'action (équivalent 3-15 jours). Au-dessous de -80 m et jusqu'à -110 m

au sud de 46°N, et au-dessous de -60 m et jusqu'à -80 m au Nord, la durée d'action de ces houles décroît jusqu'à 1% (7 h/an). Au-delà de ces profondeurs et jusqu'à la bordure du plateau, la durée d'action est inférieure à 1%.

TEMPS DE TRANSPORT

Durée maximale théorique de transport par les courants de marée

Les vitesses minimales théoriques de transport d'un sédiment déjà en mouvement ont été déterminées grâce à l'abaque de Sundborg (1967). Nous avons ensuite, à partir des enregistrements courantologiques, calculé la fréquence des coefficients de marée qui induisent des vitesses de courants supérieures ou égales à ces vitesses minimales théoriques.

En l'absence de houle, les mesures permettent simplement de conclure que dans la zone littorale, au-dessus de l'isobathe -30 m, les grains de 80 cm^{-4} ne sont entraînés que lors des marées de coefficients supérieurs à 80. Autrement dit, dans la zone littorale, il y a un transport possible durant l'équivalent de 128 jours par an. Mais la durée effective de transport par les seuls courants de marée est certainement inférieure, car les vitesses minimales de transport ne sont pas atteintes en permanence au cours de chaque marée.

Le tableau 2 donne, pour tout le plateau continental au-delà de 30 m de profondeur, le coefficient de marée minimal et le nombre de jours par an durant lesquels les vitesses de courants, suffisantes pour permettre le transport des sédiments déjà en mouvement, sont atteintes au cours de la marée.

Tableau 2

Fréquence des coefficients de marée induisant des vitesses produisant le transport des sédiments.

Frequency of tidal coefficients leading to velocities producing sediment transport.

Granulométrie (cm^{-4})	Coefficients	Nombre de jours
600	-	0
300	> 105	9
160	> 87	63
80	> 42	324

On notera que, d'après nos mesures, les vitesses des courants de marée près du fond sont plus faibles à proximité de la côte qu'au large. Ainsi, près du littoral, hors des limites d'action des estuaires, les temps théoriques possibles de transport par les courants de marée seuls sont inférieurs à ceux déterminés au large.

A partir de ces résultats, nous avons, en fonction de la granulométrie du fond, tracé une carte (fig. 7) qui donne la répartition géographique des durées théoriques de transport des sédiments du plateau au cours d'une année.

Ces durées théoriques sont surévaluées, puisqu'on a supposé : d'une part que les vitesses minimales de transport sont systématiquement atteintes au cours des

marées; d'autre part que l'initialisation du mouvement des particules par la houle et/ou les courants est continue au cours de l'année, ce qui n'est pas le cas.

Durée théorique maximale du transport effectif

Pour déterminer la durée théorique maximale du transport effectif des sédiments sur le plateau, nous avons comparé la carte des durées théoriques de transport par les courants de marée aux cartes de durée annuelle de mise en mouvement des sables sous l'action des houles. Cette comparaison est basée sur l'hypothèse qu'il y a coïncidence dans le temps entre houles et courants de marée efficaces, ce qui n'est pas exactement le cas *in situ*. Les durées déterminées correspondent donc à des durées maximales, toujours supérieures à ce qui pourrait être observé *in situ*.

La comparaison par superposition des deux types de cartes montre que (fig. 8) :

- au-delà de -100 m, les possibilités de transport par charriage sont inférieures à quelques heures par an;
- entre -100 et -50 m, les temps de transport varient en fonction de la bathymétrie, mais n'excèdent pas une dizaine de jours par an;
- entre -50 et -30 m, les sédiments sont déplacés pendant 10 à 45 jours par an;
- entre -30 m et le littoral, l'action de la houle devient prépondérante; en effet, les possibilités de mise

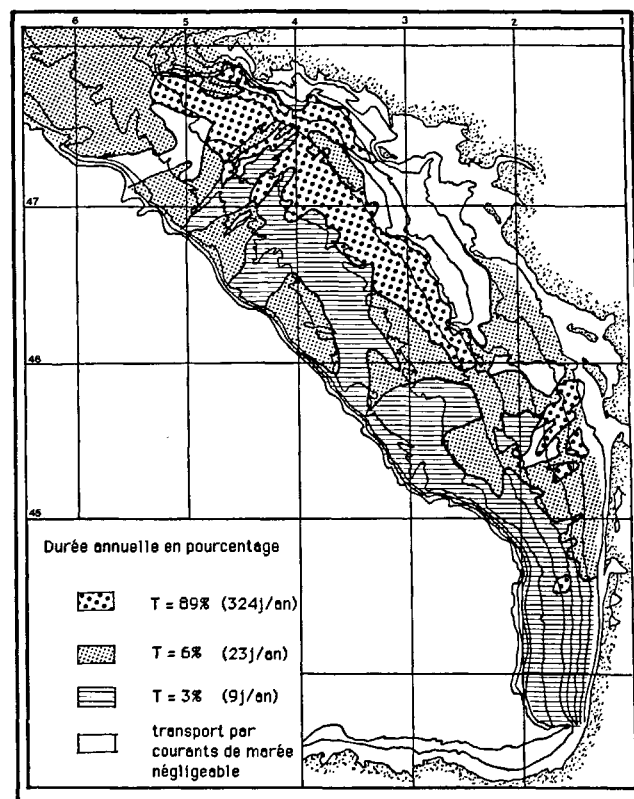


Figure 7

Durée théorique de transport des sédiments par les courants de marée lorsque le mouvement est déjà initialisé.

Theoretical duration of sediment transport by tidal currents, once movement has been initiated.

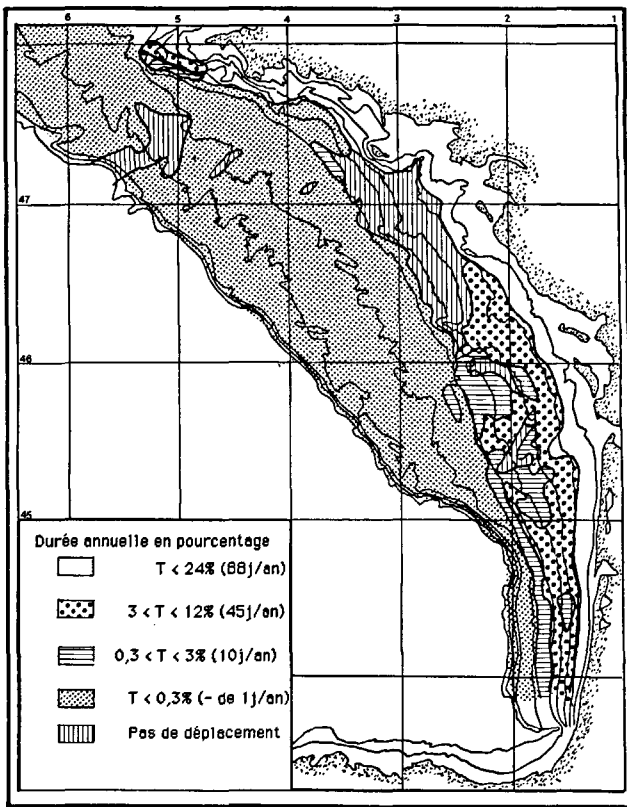


Figure 8
Durée théorique effective de transport des sédiments sous l'action conjuguée de la houle et des courants de marée.
Theoretical effective duration of sediment transport by the combined action of swell and tidal currents.

en mouvement sont d'autant plus importantes que la profondeur est faible; toutefois, si entre -10 m et la côte l'action des courants de houle est très forte sur les sédiments, elle est nettement plus négligeable par plus grande profondeur. Des études théoriques (L.C.H.F., 1976) montrent qu'à -20 m de profondeur, les grains de diamètre supérieur à 10^{-1} cm ne sont jamais mis en mouvement, et qu'il faut des amplitudes de 3 m à $3,5$ m pour mettre en mouvement des sables de $0,2$ cm $^{-1}$ à $0,3$ cm $^{-1}$. D'après l'histogramme de fréquence des amplitudes de Cavanié (1976), les amplitudes supérieures ou égales à 3 m sont observées sur le plateau continental du Golfe de Gascogne pendant 24% du temps. Ainsi, entre -30 m et le littoral, au-dessous de la zone de déferlement, les durées théoriques de transport ne sont jamais supérieures à 88 jours par an.

CONCLUSION

Le suivi au sonar latéral de corps sédimentaires (Braud et Weber, 1985; Collotte, 1985), les études morphologiques, sédimentologiques, géophysiques répétées dans une même zone (Delanoé et Pinot, 1980) témoignent de la réalité des déplacements sédimentaires actuels sur le plateau continental du Golfe de Gascogne. Ces déplacements de matériaux, généralement sableux, s'effectuent surtout par charriage. L'étude des condi-

tions dynamiques régnautes, et l'utilisation de divers abaques de mise en mouvement et de transport, permettent d'apporter d'un point de vue théorique, des précisions sur les possibilités et la durée de mise en mouvement et de transport des sédiments déposés sous l'action des houles et des courants.

Les principaux résultats obtenus sont résumés dans ce qui suit :

1) Les vitesses des courants mesurées près du fond sur l'ensemble du plateau continental sont toujours inférieures aux vitesses théoriques de mise en mouvement des sédiments déposés; il n'y a donc pas de mise en mouvement sous l'action des seuls courants dans les conditions normales, c'est-à-dire en dehors des périodes de tempêtes.

Les houles de tempête (amplitudes de 10 à 15 m; période moyenne 15 s) sont capables de mettre en mouvement les sédiments sur l'ensemble du plateau continental;

La durée de cette mise en mouvement varie beaucoup en fonction de la profondeur, mais reste faible, entre 47 et 88 jours par an sur les fonds de 10 à 30 m, à moins de 1 jour par an sur le plateau externe.

2) Les déplacements sédimentaires sur le plateau continental résultent de l'action conjuguée de la houle et des courants. L'association de ces deux processus montre que, théoriquement, sur le plateau du Golfe de Gascogne :

- au-dessous de -100 m de profondeur, les possibilités de transport par charriage sont inférieures à quelques heures par an.

- entre -100 et -50 m, cette durée n'excède pas une dizaine de jours par an;

- entre -50 et -30 m de profondeur, les sédiments peuvent être entraînés pendant l'équivalent de 10 à 47 jours par an;

- entre -30 m et la côte, les agents dynamiques permettent le déplacement des sédiments pendant l'équivalent de plus de 47 jours par an;

3) Les durées théoriques du transport effectif des sédiments sont donc très faibles, et correspondent cependant à des valeurs maximales vraisemblablement non atteintes *in situ*. En effet, les résultats obtenus grâce aux traçages radio-actifs réalisés le long de la côte atlantique (Courtois et Migniot, 1968; Allen, 1972; Castaing, 1981) montrent la faiblesse du transport des sables. Ainsi, le charriage n'est significatif, à l'échelle humaine, que dans la zone tout à fait littorale (profondeur inférieure à 10 m). L'intensité de ce charriage diminue rapidement avec l'augmentation de la profondeur. Autrement dit, seule la répétition de ces phénomènes dynamiques au cours du temps autorise des remaniements sédimentaires importants. Ils se traduisent par des transports de sédiments fins sur le plateau continental (Auffret *et al.*, 1976) et par l'édification de grandes formes sédimentaires reconnues comme actuelles pour certaines d'entre elles.

Cette étude a été effectuée dans le cadre du programme national « Écomarge » du CNRS.

RÉFÉRENCES

- Allen G. P. (1972). Étude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. *Thèse Sciences Naturelles, Doctorat d'État, Université de Bordeaux-I*, n° 353, 314 pp.
- Allen G. P. et P. Castaing (1977). Carte de répartition des sédiments superficiels sur le plateau continental du Golfe de Gascogne. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 21, 255-260.
- Aloisi J.-C., J.-P. Barusseau et A. Monaco (1975). Rôle des facteurs hydrodynamiques dans la sédimentation des plateaux continentaux. *C.R. Acad. Sci., Paris, sér. D*, 280, 579-582.
- Aloisi J.-C., G. Auffret, J.-P. Auffret, J.-P. Barusseau, P. Hommeril, C. Larssonneur et A. Monaco (1977). Essai de modélisation de la sédimentation actuelle sur les plateaux continentaux français. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7, 19, 2, 183-195.
- Auffret G. A., L. Berthois, G. P. Allen et J.-L. Douville (1976). Intérêt de la connaissance des processus sédimentaires actuels sur la façade atlantique du plateau continental français pour le contrôle des rejets industriels. *Soc. Hydrotech. de France, XIV^e journée de l'Hydraulique, Paris, Quest. II, rapp. 9*, 10 pp.
- Barusseau J.-P. et C. F. Jago (1980). Les houles et la sédimentation détritique de plate-forme. Exemple du Golfe de Gascogne et du Golfe du Lion. *Annls Inst. océanogr., Paris, Fasc. suppl.*, 56, 37-46.
- Barusseau J.-P. et J.-P. Longuemard (1973). Mise en évidence de déplacements sédimentaires sous l'influence des houles par fonds de 30 m (Golfe de Gascogne). Résumés de la réunion annuelle des Sciences de la Terre, Paris, p. 67.
- Bonnefille R. et H. Allen (1971). Aménagement de la passe d'entrée de la Gironde. Rapport n° 1 : les données naturelles. Rapport E.D.F. Direction des études et recherches. HCQ42/14, 2 tomes, 58 pp.
- Braud F. et O. Weber (1985). Répartition des formes et des faciès sédimentaires du plateau continental interne Vendéen (sud de l'île d'Yeu). *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 38, 19-29.
- Castaing P. (1981). Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. *Thèse d'état, Université de Bordeaux-I*, n° 701, 530 pp.
- Cavanié A. (1975). Application à la zone au large du Finistère d'une méthode d'estimation statistique des courants de houle au voisinage du fond. *La Houille Blanche*, 7/8, 497-500.
- Cavanié A. et J.-L. Hyacinthe (1976). Étude des courants et de la marée à la limite du plateau continental d'après les mesures effectuées pendant la campagne « Golfe de Gascogne 1970 ». *Rapp. Scientifique et Technique C.N.E.X.O.*, n° 23, 41 pp.
- Collotte P. (1985). Le plateau central nord-aquitain, caractérisation morpho-sédimentaire et interprétation dynamique des dépôts Holocène. *Thèse 3^e cycle, Université de Bordeaux-I*, n° 2069, 277 pp.
- Courtois G. et C. Migniot (1968). Étude du déplacement des sables au large du Cap-Ferret à l'aide d'indicateurs radio-actifs. Rapport Laboratoire Central Hydraulique de France, Paris, C.E.A., Saclay, 21 pp.
- Delanoé Y. et J.-P. Pinot (1980). Migration des sables et instabilité des vases au large de la Bretagne. 26^e Congrès Géologique International, Paris, vol. II, sections 6 à 12.
- Draper L. (1967). Wave activity at the sea bed around northwestern Europe. *Mar. Geol.*, 5, 133-140.
- Duvet C. (1964). Note sur l'état climatologique de la mer dans le permis des Landes atlantiques. Rapport interne ESSO-REP-SNPA-CEP, opérations marines, Archives n° A33d.
- Guillaume P. (1986). Étude mécanique d'un sédiment fin de plate-forme. *Rapport Diplôme Universitaire Études Supérieures en Océanographie, Université de Bordeaux-I*.
- Inman D. L. (1949). Sorting of sediment in the light of fluid mechanics. *J. sedim. Petrology*, 19, 2, 51-70.
- Jouanneau J.-M., P. Lesueur, J.-P. Tastet, O. Weber, J. Dominik, A. Klingebiel et J.-P. Vernet (1987). La vasière Ouest-Gironde : sédimentation holocène et processus actuels. *Colloque international d'océanologie, Écosystèmes de marges continentales, Perpignan*, p. 19.
- Kenyon N. H. et A. H. Stride (1970). The tide swept continental shelf sediments between the Shetland isles and France. *Sedimentology*, 14, 159-173.
- L.C.H.F. (1979). Étude en nature de la côte aquitaine. Laboratoire Central d'Hydraulique de France, Maisons Alfort, rapport général pour D.A.T.A.R., M.I.A.C.A., 4 t.
- Lamb H. (1945). *Hydrodynamics*. Dover publications, New York, 738 pp.
- Larsen L. H., R. W. Sternberg, N. C. Shi, M. A. H. Marsden et L. Thomas (1981). Field investigations of the threshold of grain motion by ocean waves and currents. *Mar. Geol.*, 42, 105-132.
- Le Cann B. (1981). Évolution annuelle de la structure hydrologique du plateau continental au Sud de la Bretagne. Modélisation numérique. *Thèse Docteur ingénieur, Université de Bretagne Occidentale*, 119 pp.
- Le Cann B. (1985). Établissement des sédiments océaniques par transfert des suspensions depuis le plateau continental. A.T.P. : Géologie et Géophysique des océans. Rapport scientifique.
- Leclerc J.-F., B. Bellessort et C. Migniot (1976). Action de la houle sur les sédiments. Publ. CNEXO. Étude réalisée par le L.C.H.F., avril 1976, 126 pp.
- Mehta et al. (1982). Resuspension potential of deposited cohesive sediments beds. In: *Estuarine comparisons*, Kenedy, éditeur, Academic Press, New York, 591-609.
- Migniot C. (1977). Action des courants, de la houle et du vent sur les sédiments. *La Houille Blanche*, 1, 9-47.
- Miller M. C., I.N. McCave et P. D. Komar (1977). Threshold of sediment motion under unidirectional currents. *Sedimentology*, 24, 505-527.
- Penin F. (1980). Le prisme littoral aquitain : histoire holocène et évolution récente des environnements morphosédimentaires. *Thèse 3^e cycle, Université Bordeaux I*, n° 1577, 129 pp.
- Reading H. G. (1978). *Sedimentary environments and facies*. Blackwell scientific publications. Oxford, 557 pp.
- S.H.O.M. (1973). Courants de marée de la côte ouest de France, de Brest à Saint-Jean-de-Luz. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Paris, n° 552.
- Sundborg Å. (1967). Some aspects of fluvial sediments and fluvial morphology. I: General views and graphic methods. *Geogr. Annls*, 49, 333-343.
- Vassal J.-P. (1980). Les houles exceptionnelles et leurs conséquences. Estimation des conditions maximales d'état de la mer sur le Golfe de Gascogne. Analyse d'une forte tempête récente 30 novembre-5 décembre 1976. *Thèse d'Université, Université Bordeaux-I*, n° 111, 119 pp.