

Transports sédimentaires sous l'interaction houle-courant

Validation des formules de transport pour les estrans macrotidaux en mer ouverte

F. Levoy, O. Monfort, H. Rousset et C. Larssonneur

Laboratoire de géologie marine de l'Université de Caen
54 rue Charcot, 14530 Luc-sur-Mer, Tél. : 31 97 31 54

Sur les plages de la côte ouest du Cotentin, l'influence des fluctuations marégraphiques, des courants de marée, des houles non déferlantes et des courants dans le déferlement est à l'origine d'une dynamique sédimentaire complexe.

Dans l'optique d'une modélisation de la circulation sédimentaire résiduelle, une étude préalable de validation des formules de transport existantes est nécessaire afin d'adapter, au mieux, la formulation des mouvements sableux à l'environnement local.

Près de cinquante expérimentations *in situ* ont été réalisées sur les bas estrans de la côte ouest du Cotentin, afin de quantifier les débits solides à l'échelle du cycle marégraphique.

L'utilisation des traceurs fluorescents et des pièges à sédiments permet de connaître la norme et la direction des mouvements sédimentaires pour des conditions hydrodynamiques variées.

L'enregistrement simultané de la hauteur d'eau, des conditions d'agitation, des courants et la connaissance des caractéristiques granulométriques des sédiments permettent d'exploiter les principales formules de transport disponibles. Elles fournissent les débits solides sous

l'interaction houle-courant, permettant d'aboutir à une comparaison avec les mesures de terrain.

1. Le cadre physique de la côte ouest du Cotentin

1.1. Les conditions hydrodynamiques

Localisée dans la partie orientale du golfe Normand-breton, la côte ouest du Cotentin est soumise à un régime hydrodynamique complexe et original (*fig. 1*).

Le marnage, très important, induit des courants particulièrement intenses. Dans le raz Blanchard, des courants d'environ 5 m/s peuvent être observés pour des marées de vives-eaux exceptionnelles. Plus au sud, les courants de marée dépassent parfois 1 m/s en surface pour un coefficient de marée de 95. Les vitesses maximales s'observent à pleine mer. Généralement, ces courants portent au Nord, parallèlement à l'orientation de la côte. Ils sont capables d'induire des mouvements sédimentaires sur les plages.

Du fait de la bathymétrie complexe de l'avant-côte, avec notamment la présence d'îles, d'archipels et de

Validation of classical wave and current sediment transport formulas with *in situ* measurements on macrotidal beaches

Coastal engineering on beaches requires to take into account the natural environment, its evolution and its hydrosedimental behaviour in order to reduce the inevitably induced negative impacts.

In this goal, many in situ measurements of hydrodynamic parameters and sediment transports have been made on the beaches of the western coast of the department of La Manche.

The comparison between the measured transport rates and the calculated rates coming from several wave-current interaction transport formulas allows to choose the best formulation according to the hydrodynamic context.



1. Localisation de la zone d'étude.

hauts-fonds, les houles provenant de l'Atlantique nord sont fortement atténuées (LEVOY et LARSONNEUR, 1993). Le long de la côte du Cotentin, il existe un gradient Nord-Sud d'atténuation de la houle. La partie orientale du golfe Normand-breton constitue donc une immense zone de dissipation des énergies de la houle en provenance de l'Atlantique Nord.

Ces houles proviennent principalement de l'Ouest et de l'ONO. La distribution des périodes de pics est bimodale, avec un mode centré autour de 4 s, correspondant aux mers de vents, fréquentes dans la région. Un second mode est centré autour de 9 s correspondant aux houles longues, provenant de l'Atlantique. Ces deux modes sont fréquemment observés simultanément.

Sur les plages de la côte du Cotentin, les transports sédimentaires sont induits par :

- les courants de marée lors des plus forts coefficients et par temps calme,
- les courants induits par les houles non déferlantes et dans le déferlement en période d'agitation et pour des coefficients de marée de mortes-eaux et de moyennes eaux.

Cependant, la conjonction d'une grande marée et d'une tempête, donne lieu à des transports sédimentaires très importants sous l'influence de processus hydrodynamiques induits par l'interaction des houles non déferlantes et des courants de marée. De plus, se superposent les phénomènes générés par le balayage de l'estran par la zone de déferlement au cours d'un cycle tidal. L'approche résiduelle des mouvements sédimentaires est donc globalement complexe. Le tracé et le modelé de la côte les influencent grandement.

1.2. La morphologie des plages de l'Ouest Cotentin

La côte ouest du Cotentin peut être considérée comme rectiligne, orientée suivant un axe Nord-Sud. A une échelle plus grande, la présence de petits estuaires et de lagunes littorales barrés par des flèches sableuses montre que très localement, de très importants changements d'orientation du trait de côte peuvent être observés. Ils influenceront fortement la circulation sédimentaire surtout

sur la partie supérieure de l'estran. Sur la partie médiane et inférieure, la connaissance du modelé transversal des plages est essentielle pour comprendre les mouvements sédimentaires potentiels.

La forme du profil de plage, généralement concave, va induire entre la haute et la basse plage :

- un fort amortissement des houles, en fonction du niveau marégraphique,
- un net ralentissement des courants de marée parallèles à la côte.

Les transports sédimentaires sur les plages sont donc à un instant donné du cycle tidal liés à des processus hydrodynamiques différents et présentent des intensités et des directions particulièrement variées.

Seule l'utilisation de codes numériques peut permettre d'envisager la diversité et la complexité des situations hydrodynamiques et de comprendre l'évolution des fonds sableux.

2. Synthèse des principales formules de transports sédimentaires sous l'interaction d'une houle non déferlante et d'un courant de marée

De nombreuses recherches ont été réalisées sur la définition d'une loi de transport solide sous l'action combinée des houles et des courants. Quelques-unes sont retenues et comparées avec les mesures sur le terrain.

2.1. La formule de Van Rijn

Le débit sédimentaire total Q_t en $m^3/m/s$ est calculé comme la somme des transports par charriage et en suspension (VAN RIJN, 1989) :

$$Q_t = Q_c + Q_s.$$

Le transport par charriage Q_c est donné par :

$$Q_c = 0,25 U_* D_{50} \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}}.$$

T est un paramètre de cisaillement sur le fond.

D_* : Diamètre adimensionnel.

$D_* = D_{50} \left(\frac{g(s-1)}{v^2} \right)$ où D_{50} est le diamètre moyen

du sédiment qui compose le lit. v est la viscosité cinématique du fluide, g est l'accélération de la pesanteur,

$s - 1 = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ est la densité relative apparente du sédiment : ρ_s et ρ sont respectivement les masses volumiques du sédiment et du fluide.

U_* : vitesse de frottement sur le fond.

Le transport en suspension Q_s est calculé par :

$$Q_s = \int_{Z=a}^{Z=h} V_R(Z) \cdot C(Z) dZ.$$

Le profil de concentration $C(Z)$ est déduit de l'intégration sur la profondeur de l'équation de convection-diffusion moyennée dans le temps.

Cette formule suppose une interaction linéaire entre le transport sous l'influence du courant et sous l'influence de la houle : le transport total est évalué comme la somme vectorielle des transports liés à ces deux phénomènes.

Les résultats de la formule de Van Rijn ont été comparés avec des mesures effectuées en canal pour des diamètres de grains de 10 µm et 200 µm (VAN RIJN, 1989). Pour le charriage, le rapport entre les taux de transport calculé et mesuré varie entre 1 et 2 pour les forts débits et 5 à 10 pour les faibles débits. Pour les suspensions, ce rapport est principalement compris entre 1 et 2.

Nous avons mené des tests de sensibilité de la formule de Van Rijn aux différents paramètres qui entrent dans le calcul :

- * paramètres hydrodynamiques : vitesse du courant, profondeur d'eau, caractéristiques de la houle, angle houle-courant.
- * caractéristiques du fond,
- * caractéristiques granulométriques des sédiments.

Cette étude a montré une dépendance importante du débit calculé à la vitesse du courant moyen : une variation de 10 % de la vitesse induit une division ou une multiplication de transport par un facteur 2. Une modification de la profondeur d'eau entraîne une variation dans les mêmes proportions du transport calculé.

Les autres paramètres s'avèrent être moins importants sur l'ordre de grandeur du débit évalué par cette formule.

2.2. La formule de Frijlink modifiée par Bijker

Le débit solide en m³/m/s s'exprime par (Delft Hydraulics Laboratory, 1976, MIGNIOT, 1987) :

$$Q_s = 5 D_{50} U \frac{\sqrt{g}}{C_h} \exp\left(-\frac{0,27 \rho D_{50} (s-1)}{\mu \tau_{hc}}\right)$$

- U : Vitesse moyenne du courant
- C_h : Coefficient de Chézy
- $s = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$: densité relative apparente du matériau de fond

$$\mu = \left(\frac{C}{\sqrt{32 g} \log\left(\frac{1}{2 h D_{50}}\right)} \right)^{3/2} : \text{coefficient de rides}$$

- τ_{hc} : tension de cisaillement sous l'interaction de la houle et des courants définie par l'approximation de Bijker :

$$\frac{\tau_{hc}}{\tau_c} = 1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{U_0}{U} \right)^2$$

τ_c est la tension de cisaillement sur le fond due à un courant uniforme.

- ξ : paramètre qui dépend de la rugosité du fond et de la profondeur d'eau.

La formule de Frijlink-Bijker est une version améliorée de la formule originelle. Elle en conserve le concept de

base d'un cisaillement sur le fond causé par les champs combinés de la vitesse de courant et de la vitesse orbitale de houle. Le choix d'une expression du cisaillement τ_{hc} sous l'action combinée de la houle et des courants donne une expression du charriage. Le transport en suspension est ensuite déduit de l'intégration du profil de concentration sédimentaire donné par la relation de Einstein-Rouse. Ce calcul s'appuie sur une hypothèse concernant l'épaisseur de la couche limite de charriage. Elle peut s'avérer lourde de conséquences en particulier dans les cas où le transport en suspension est prépondérant. Les transports calculés par cette formule ont été comparés à des mesures effectuées en laboratoire (Delft Hydraulics Laboratory, 1976). Cette comparaison montre que cette formule a une nette tendance au calcul de transports potentiels très supérieurs aux valeurs mesurées. Le rapport entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées est d'autant plus important que les transports sont faibles.

On trouve des résultats identiques pour toutes les formules qui ne comportent pas de critères de début d'entraînement ce qui est le cas de la formule de Frijlink-Bijker.

2.3. La formule de Engelund-Hansen modifiée par Swart

La contrainte de cisaillement sur le fond sous l'action des courants seuls de l'équation initiale de Engelund-Hansen est remplacée par une expression adaptée à l'action combinée de la houle et des courants (Delft Hydraulics Laboratory, 1976, MIGNIOT, 1987). Le débit sédimentaire s'exprime sous la forme :

$$Q_s = \frac{0,1}{2 \sqrt{g}} \sqrt{s-1} \cdot C_h^2 A^{5/2} \cdot D^{3/2}$$

$$A = \frac{\tau_{hc}}{gD(\rho_s - \rho_w)} : \text{tension adimensionnelle.}$$

τ_{hc} est la tension de cisaillement sur le fond sous l'action simultanée de la houle et du courant. Elle est calculée selon la méthode de Bijker conformément à l'équation présentée ci-dessus.

- D : diamètre caractéristique du sédiment.

Cette formule, valable lorsque le transport en suspension n'est pas négligeable, surestime le transport pour les faibles valeurs de la tension de cisaillement.

2.4. La formule de Ackers-White

Cette formule donnant initialement le transport sédimentaire sous l'action des courants a été modifiée par SWART (ACKERS WHITE, 1973, Delft Hydraulics Laboratory, 1976, MIGNIOT, 1987).

Elle est basée sur une analyse dimensionnelle et des considérations physiques. Le mode prépondérant de transport des sédiments grossiers est supposé être le charriage sur le fond. Les sédiments fins sont principalement transportés dans le corps de l'écoulement où la turbulence les maintient en suspension. La détermination des nombreux coefficients numériques qui interviennent dans la formule est basée sur des données expérimentales.

Le débit solide total sous l'action combinée de la houle et des courants s'exprime en $m^3/m/s$ par :

$$Q_s = \frac{1}{1-p} UD_{35} \left(\frac{C_h}{\sqrt{g}} \right)^n \left(\frac{\tau_{hc}}{\tau_c} \right)^{-1/2} \frac{C}{A^m} (F_{hc} - A)^m$$

F_{hc} : mobilité sédimentaire.

$F_{hc} = \frac{U^{1-n} \times U_*^n}{C_D^{1-n} g^{n/2} \sqrt{(s-1) D_{35}}}$ avec D_{35} diamètre de la particule de masse supérieure à celle de 35 % des grains de l'échantillon total. C_D est le coefficient de Chézy de la particule : $C_D = 18 \times \log \left(\frac{10d}{D_{35}} \right)$ où d est la profondeur d'eau.

Les paramètres A , C , n , m sont des coefficients qui dépendent du diamètre sédimentologique D_s .

2.5. La formule de Grant et Madsen

Pour cet auteur, les mouvements, sous l'effet de la houle et des courants à proximité du lit, ne peuvent être traités séparément (VAN RIJN, 1989). Cette formule suppose une interaction linéaire entre la vitesse du courant et la vitesse orbitale de la houle. Le transport sédimentaire, en $m^3/m/s$, s'exprime sous forme vectorielle par :

$$\vec{Q}_s = 40 \cdot W_s \cdot D_{50} \cdot \Theta^3 \frac{\vec{U}}{U}$$

W_s : Vitesse de chute des particules

Θ : Paramètre de mobilité de la particule

$\Theta = \frac{f_h U^2}{(s-1) g D_{50}}$ où f_h est le coefficient de frottement de Jonsson dû à la houle.

$\vec{U} = \vec{U}_c + \vec{U}_w$ est la résultante vectorielle instantanée de la vitesse du courant et de la vitesse orbitale de la houle. Le transport se fait dans la direction de la résultante vectorielle de la vitesse de courant à proximité du lit et de la vitesse orbitale de la houle au même point.

3. Les techniques de quantification des débits solides sur le terrain

Les techniques mises en œuvre pour apprécier les transports sédimentaires sur les plages macrotidales de la côte ouest du Cotentin ont pour objectif de définir, quantitativement, à la fois la direction et l'intensité des mouvements observés. Deux types d'approches ont été utilisées sur le terrain :

— des mesures de type lagrangien : l'utilisation de traceurs fluorescents.

Cette technique consiste à immerger des sédiments marqués, représentatifs du stock sédimentaire présent sur la zone d'étude afin de suivre leur dispersion par rapport au point d'immersion.

Différentes méthodes d'échantillonnage des sables fluorescents sont possibles, permettant le calcul des débits sédimentaires dans les directions principales de transport (MADSEN, 1989). Dans le cadre des expériences

réalisées sur la côte ouest du Cotentin, la méthode d'échantillonnage spatial (Spatial Integration Method) est utilisée, car elle est mieux adaptée aux régions de plages découvrantes.

La technique des traceurs fluorescents permet donc d'analyser la mobilité sédimentaire à l'échelle de cycles marégraphiques, sur une période relativement courte.

Généralement, mise en œuvre dans des conditions stables, elle permet comme l'a montré KRAUS *et al.* (1982), la définition de lois de transport sédimentaire.

— des mesures de type eulérien : les pièges à sédiments multidirectionnels.

Ces pièges ont été spécialement conçus pour l'environnement macrotidal de la côte ouest du Cotentin où interagissent de forts courants de marée sur les basses plages et l'action des houles en tempête.

Afin de minimiser la perturbation des écoulements, seulement trois niveaux de collecteurs sont installés sur le piège. Le premier, à proximité du fond, mesure les débits de charriage. Deux autres, placés à 70 et 140 centimètres du fond, permettent d'apprécier les transports en suspension.

La durée des expérimentations correspond à un cycle marégraphique afin d'analyser les corrélations avec les conditions hydrodynamiques enregistrées à proximité. Cependant, dans les cas où les courants de marée agissent seuls, la faiblesse des débits permet des durées d'immersion de plusieurs cycles de marée.

Lors du calcul de débit intégré sur la hauteur d'eau, le niveau du plan d'eau est pris constant au cours de l'expérience et égal à la valeur moyenne observée durant la période d'immersion du piège.

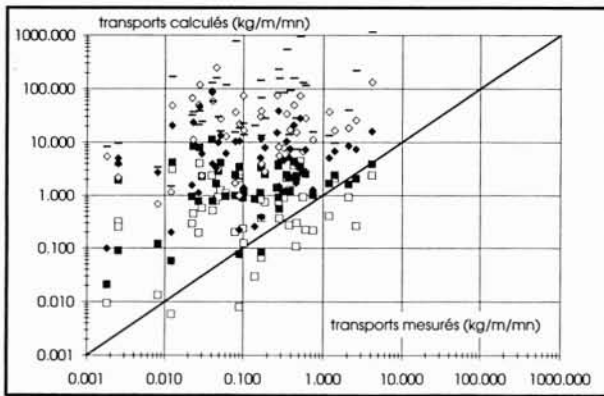
Le flux résiduel est pris égal à la somme vectorielle des différents flux dans les huit directions de transports, si nécessaire.

4. Comparaison des débits solides mesurés et calculés

Une série d'essais numériques préliminaires a mis en évidence une grande disparité des débits solides en fonction de la formule de calcul utilisée. Ces résultats confirment les travaux de PATTIARATCHI et COLLINS (1985), présentant des rapports entre les débits solides calculés et mesurés pouvant atteindre 500 pour des conditions de tempête. Les transports calculés à partir des paramètres hydrodynamiques mesurés, ont été comparés aux transports sédimentaires déduits des pièges multidirectionnels ou des expériences de traceurs fluorescents.

Dans ce but, une intégration dans le temps du transport instantané calculé s'est avérée nécessaire. Elle s'appuie sur une hypothèse de variation linéaire du transport sédimentaire entre les différentes périodes d'enregistrement des caractéristiques hydrodynamiques. Ce pas de calcul est de 30 min. La valeur du courant et les caractéristiques de la houle sont supposées constantes sur cette durée et une seule valeur du transport est alors calculée.

La figure 2 présente les transports calculés par les différentes formules en fonction des normes mesurées pour les 48 expériences menées sur la côte ouest du



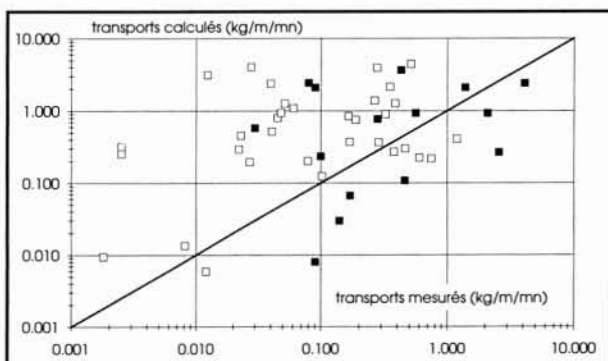
2. Comparaison des transports mesurés et calculés en kg/m.min.

- Formule de Van Rijn.
- Formule de Frijlink et Bijker.
- ◇ Formule de Engelund, Hansen et Swart.
- ◆ Formule de Ackers et White.
- Formule de Grant et Madsen.

Cotentin entre janvier 1991 et mai 1993. Les débits mesurés s'étendent de 0.0025 kg/m/mn à 4.11 kg/m/mn.

Les formules de Engelund-Hansen-Swart, Ackers-White et Grant-Madsen surestiment systématiquement les transports sédimentaires dans des rapports qui les rendent difficilement utilisables pour les plages de la côte ouest du Cotentin. Le facteur entre les résultats de la formule de Frijlink-Bijker et les débits mesurés varie de 1,1 à 800 avec une valeur moyenne d'environ 55.

La formule de Van Rijn donne les résultats les plus satisfaisants (fig. 3). Cependant, une surestimation des transports sédimentaires est obtenue dans 70 % des situations. Le rapport entre le transport calculé et le transport mesuré s'étend de 0,1 environ à 250, avec une valeur moyenne proche de 20. Dans le détail, le tableau 1 précise la répartition de ce rapport sur les 48 expérimentations *in situ* réalisées.



3. Comparaison entre les transports calculés par la formule de Van Rijn et les transports mesurés *in situ*.

- Pièges multidirectionnels.
- Traceurs fluorescents.

Tableau 1. — Distribution du rapport entre les débits solides calculés avec la formule de Van Rijn et les débits solides mesurés pour les 48 expériences menées sur la côte ouest Cotentin.

Facteur entre Q_c et Q_m	Pourcentage
1 à 2	17
2 à 5	31
5 à 10	17
10 à 20	19
20 à 30	6
30 à 50	0
50 et +	10

La figure 3 montre que pour la grande majorité des expériences de pièges multidirectionnels, le transport calculé est supérieur aux valeurs mesurées : l'efficacité des pièges est probablement inférieure à 1. Les pièges provoquent une modification des écoulements fluides et, sans doute, un transport sédimentaire réduit par rapport aux débits qui seraient enregistrés en l'absence du piège pour les mêmes conditions hydrodynamiques. Par ailleurs, les pièges ne captent pas la totalité des sédiments mobiles.

Les mesures de transport à partir des traceurs fluorescents donnent des résultats plus en accord avec les débits calculés par la formule de Van-Rijn.

Une analyse détaillée des conditions hydrodynamiques de chaque expérimentation *in situ* a été réalisée pour définir un domaine de validité de la formule de Van Rijn. Il ressort que pour une conjonction :

- entre des houles de hauteurs significatives comprises entre 0 et 1,5 m et des courants de marée maximum à 0,3 m du fond inférieurs à environ 0,3 m/s, le facteur entre le débit solide calculé et mesuré varie entre 1 et 4,
- entre des houles modérées à fortes (0,5 à 1,5 m environ) et des courants de marée supérieurs à environ 0,3 m/s, le facteur entre le débit solide calculé et mesuré varie plutôt entre 10 et 20, voire 30,
- entre des houles de faibles hauteurs, inférieures à 0,25 m et des forts courants de marée, supérieurs à 0,5 m/s, le facteur entre le débit solide calculé et mesuré varie de 10 à 20.

Dans les situations où le rapport est supérieur à 50, il s'avère que les expérimentations *in situ* ont été réalisées à l'aide de pièges à sédiments sur des platiers de bas estran. Dans ces cas, le débit solide calculé est potentiel. Le rapport entre le débit calculé et mesuré est d'autant plus grand que l'agitation est importante. L'absence de disponibilité sédimentaire, du fait de la nature du substrat, se traduit par de faibles débits mesurés et un rapport Q_c/Q_m élevé.

La formule de Van Rijn donne des résultats plus satisfaisants pour des conjonctions associant des houles fortes avec des courants faibles que pour toutes les situations de houles associées à des courants de marée élevés.

Afin d'aborder le problème de la direction du transport, il a été choisi de considérer que les mouvements sédimen-

taires instantanés s'effectuent dans la direction de la résultante vectorielle (VAN RIJN, 1990) :

$$\vec{V} = \vec{U}_s + \vec{V}_{r,s}$$

\vec{V}_s : Vitesse du courant près du fond.

\vec{U}_s : Vitesse orbitale instantanée de la houle près du fond.

L'hypothèse consiste à supposer que cette somme instantanée est également vérifiée en valeurs moyennes sous la forme :

$$\vec{V} = \vec{V}_{r,s} + \alpha \cdot \vec{U}_0$$

\vec{U}_0 : Vitesse orbitale maximale de la houle sur le fond.

Le facteur α , qui peut varier de -1 à 1 , permet de passer d'une équation instantanée à une équation moyenne.

La comparaison entre les directions de transports sédimentaires mesurées et calculées avec la formule de Van Rijn montre, une nouvelle fois, une grande variabilité de résultats en fonction de α . Il apparaît cependant très nettement, dans le contexte hydrosédimentaire des bas estrans de la côte du Cotentin, que dans 56.25 % des cas la différence entre la direction calculée et mesurée est la plus réduite pour α égal à 1. Dans ce cas, le transport sédimentaire s'effectue dans la direction de la somme vectorielle entre la vitesse du courant de marée près du fond et la vitesse orbitale maximale au même point. Cette hypothèse est retenue pour les travaux de modélisation numérique en cours.

5. Conclusions

La réalisation de nombreuses mesures *in situ* sur les plages macrotidales de la côte ouest du Cotentin a permis de réaliser une validation des formules de transport sédimentaire sous l'action conjuguée des courants de marée et des houles non déferlantes.

Cinq formulations ont été utilisées et comparées afin de définir l'expression la mieux appropriée à l'environnement local. Globalement, il apparaît que les débits solides calculés sont souvent surestimés par rapport aux mesures.

La formule de Van Rijn donne les résultats les plus satisfaisants, avec un rapport inférieur à 5, dans 48 % des situations. Le domaine de validité de cette formule est apparu nettement. Les meilleures simulations ont été obtenues dans des conditions d'agitations qui peuvent être importantes (hauteur significative de la houle jusqu'à 1,5 m sur la plage) associées à des courants de marée assez faibles, inférieurs à 30 cm/s à 30 cm du fond.

La qualité des estimations des débits se dégrade fortement pour les houles faibles et les courants assez forts.

Du point de vue de la direction des transports sédimentaires, dans le contexte hydrosédimentaire des basses

plages de la côte ouest Cotentin, le mouvement s'effectue préférentiellement dans la direction de la somme vectorielle de la vitesse du courant de marée et de la vitesse orbitale maximale de la houle près du fond.

Remerciements

Les mesures réalisées sur le terrain s'inscrivent dans le cadre du programme d'étude concernant la définition d'une politique globale de défense contre la mer du département de la Manche. Nous remercions tout particulièrement le Conseil Général de la Manche, qui est à l'origine de ce projet et qui a assuré l'essentiel de son financement. Nous remercions également le Conseil Régional de Basse-Normandie et le Secrétariat d'Etat à la mer pour leur participation respective.

Bibliographie

- ACKERS P., WHITE W.R. (1973). — *Sediment Transport : New Approach and Analysis*, Journal of the Hydraulics Division, pp. 2041-2060.
- DELFT HYDRAULICS LABORATORY (1976). — *Coastal Sediment Transport — Computation of Longshore Transport*, Report of Investigation, Toegepast Onderzoek Waterstaat, 61 p.
- KRAUS N.C., ISOBE M., IGARASHI H., SASAKI T. and HORIKAWA K. (1982). — *Field experiments on longshore sand transport rate in the surf zone*, Proc. 18th Coastal Eng. Conf. ASCE, pp. 969-988.
- LEVOY F. et LARSONNEUR C. (1993). — *Etude globale de défense contre la mer de la côte du département de la Manche, synthèse des mesures in situ*. Conseil Général de la Manche, Université de Caen, rapport 9, 163 p.
- MADSEN O.S. (1989). — *Transport determination by tracers, tracer theory*. Nearshore Sediment Transport edited by R.J. Seymour, pp. 103-114.
- MIGNIOT C. — *Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral, Première partie : hydrodynamique sédimentaire*. Cours enseigné à l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat et à la Faculté des Sciences d'Orsay, Paris-Sud, 159 p.
- MIGNIOT C. (1987). — *Abaques de Transports solides des sédiments non Cohésifs-Transport des Sédiments sous l'action des courants et des houles*. Laboratoire Central d'Hydraulique de France, 7 p.
- PATTIARATCHI C.B. and COLLINS M.B. (1985). — *Sand transport under the combined influence of waves and tidal currents : an assessment of available formulae*. Mar. Geol., 67, p. 83-100.
- VAN RIJN L.C. (1989). — *Handbook Sediment Transport by Currents and Waves*, Delft Hydraulics, 307 p.
- VAN RIJN L.C. (1990). — *Principles of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas and oceans*, Delft Hydraulics. Aqua Publications, Amsterdam, 335 p.