

## CHAPTER 22

### SUR L'EVALUATION DE CERTAINES CARACTERISTIQUES DU TRANSPORT LITTORAL A LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES

**Paweł Słomianko**

Professeur Agrégé à l'Institut  
Maritime. Gdańsk - Pologne.

Les transports littoraux de sables ou de graviers qui s'effectuent le long des côtes marines donnent lieu à un certain nombre de processus intéressants et importants, tant du point de vue scientifique que du point de vue des solutions pratiques. Ne citerais-je ici que les phénomènes de la formation de dépôts de sables, de l'ensablement des ports et des estuaires fluviaux, ainsi que de l'abrasion des côtes marines.

L'intensité et la direction du transport littoral en sont les traits caractéristiques essentiels. Les deux caractéristiques en quantité majeure et en premier lieu dépendent des courants de la houle agissant sur la zone côtière, ainsi que de la force et de la fréquence des vagues. Afin de pouvoir déterminer d'une manière exacte les caractéristiques précitées du transport littoral, on est tenu de poursuivre des études dont les méthodes, cependant, ne sont pas encore élaborées d'une manière définitive, quant aux études mêmes - elles sont en général coûteuses et présentent des difficultés en cours d'essais.

Parmi lesdites études on peut citer la détermination du volume de l'apport de sable du côté au vent de l'obstacle transversal, ainsi que la méthode, assez récente d'ailleurs, d'usage de sable marqué à l'aide d'isotopes [4,7], ou bien encore à l'aide de colorants luminophores [1,8]. Lesdites méthodes, cependant, comme il l'a été signalé plus haut, sont assez onéreuses dans leur application. Les nécessités pratiques imposent souvent des solutions, concernant la caractéristique générale des transports littoraux il se peut moins précises, mais plus promptes.

Les réponses satisfaisant lesdites exigences pratiques peuvent être obtenues le plus facilement au moyen du calcul de l'énergie totale des vagues attaquant la zone donnée de la côte de directions diverses. Il y a, toutefois, peu de pays qui puissent se louer de posséder un service hydrologique maritime tel qui soit à même de poursuivre des observations permanentes des éléments de la houle à l'exemple du Service météorologique qui poursuit des observations constantes de la force et de la direction des vents.

Donc, les tentatives faites jusqu'à ce temps dans le but d'établir une formule simple, caractérisant les forces charriant le transport solide, forment deux groupes essentiels et notamment\*:

Le premier groupe comprend les formules basées sur les éléments mesurés de la houle; parmi ces formules, entre autre peut être classée la formule des ingénieurs américains [3];

$$Q = 0.5 \cdot k_1 \cdot w \cdot e \cdot \sin 2\alpha \quad (1)$$

et la formule de Jdanov [14]

$$E_k = \frac{h \cdot L}{8 T} \quad (2)$$

Le deuxième groupe de formules, tout en partant du même principe, tente d'exprimer l'énergie de la houle par des fonctions météorologiques, enregistrées depuis des années, sur presque toutes les côtes du monde civilisé.

A ce groupe appartient la formule de Munch-Petersen [9]

$$T_M = k \cdot v^2 \cdot p \cdot \sqrt{D} \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

modifiée par Knaps [6], comme suit:

$$T_k = k \cdot v^3 \cdot p \cdot \sqrt{D} \cdot \beta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

Sur le Littoral Polonais nous nous servons précisément des formules du deuxième groupe, étant donné que les observations systématiques de la houle sont poursuivies en Pologne depuis peu et en certains endroits de la côte seulement, quant à l'application des sables à grains marqués on en est à peine aux tentatives d'application de ladite méthode, et cela à une petite échelle. Cependant, le transport littoral longitudinal qualifié en Pologne de "flux du transport solide" s'effectue

\*

Regardez le Tableau 1

SUR L'EVALUATION DE CERTAINES CARACTERISTIQUES  
DU TRANSPORT LITTORAL A LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES

sans doute sur toute la longueur des côtes polonaises. On comprend par cette définition de „flux du transport solide" un tel aspect de transport littoral, qui, étudié durant une période de 2 - 3 ans pour le moins, produise la résultante des charriages s'effectuant toujours dans la même direction. En raison des problèmes surgissant dans ce domaine l'auteur du présent rapport a soumis les deux formules précitées à une analyse plus minutieuse qui a donné lieu à de nouvelles modifications des expressions susmentionnées.

Sans porter préjudice au principe même, sur lequel sont basées les formules de Munch-Petersen et de Knaps, à voir de la formule initiale pour l'énergie de la houle sous la forme de:

$$E = \frac{1}{8} \cdot h^2 \cdot L \quad (5)$$

où  $E$  - est l'énergie de la houle par unité de longueur de la crête de la vague,

$h$  - la hauteur d'onde,

$L$  - la longueur d'onde,

il est indiqué de tenir compte des circonstances suivantes:

1. Il existe un certain nombre de formules théoriques déterminant les éléments essentiels de la houle à l'aide de valeurs caractéristiques du plus important facteur météorologique - du vent. Dans les divers réservoirs d'eau on est tenu d'appliquer les formules qui accusent la plus grande conformité aux phénomènes observés en nature. Cependant les deux relations examinées, déterminant la force de transport (3) et (4) allèguent seulement les formules de Stevenson, élaborées d'ailleurs pour les côtes d'Angleterre [9] ; bien qu'elles introduisent en outre la célérité du vent, dont la formule de Stevenson ne tient pas compte.

Il existe donc de ce fait deux méthodes d'évaluation des éléments de la houle: les constructeurs-hydrotechniciens, pour calculer les forces agissant sur les ouvrages hydrotechniques, se servent, dans le cas où ils ne disposent pas de mesures en nature, de formules théoriques estimées comme les plus

propres pour la région donnée. En Pologne on admet la formule de Boergen pour déterminer la hauteur de la houle au large; quant à la détermination de la force d'entraînement du transport littoral on adoptait jusqu'à ce temps la formule de Munch-Petersen ou de Knaps qui renferme également les éléments de la houle, bien que sous une forme dissimulée et différemment interprétée. Il apparaît donc qu'il serait plutôt logique d'introduire dans l'expression représentant la force de transport - la hauteur d'onde à titre d'élément de base et de calculer sa valeur à l'aide de la formule la plus conforme pour la région en question.

2. La capacité du transport solide est d'autant plus considérable que la largeur de la zone des profondeurs critiques - la zone dans laquelle se produit le déferlement des vagues - est plus grande. A des chutes plus ou moins régulières du fond, ladite largeur sera certainement et en premier lieu dépendante de la hauteur de la vague, donc elle lui sera proportionnelle, à voir la thèse de Munch-Petersen.

3. De plus, l'énergie de la houle, comme il s'ensuit de la formule (5), se trouve être directement proportionnelle à la longueur de l'onde, ce dont la formule (3), ainsi que la formule (4) ne tiennent pas compte. De toute façon, ces deux éléments - la hauteur et la longueur de l'onde - sont étroitement liés. Par rapport aux conditions qu'offre la mer Baltique l'analyse des données allemandes ainsi que des observations polonaises en partie déjà publiées, démontre que ladite relation est analogue à la relation linéaire, ou pratiquement, elle peut être partagée en deux relations linéaires.

Ainsi par exemple, en raison des données rapportées par Roll [2], on peut constater le fait que pour la Baltique occidentale il existe deux relations linéaires:

$$\text{pour de petites ondes: } L = 14.9 \cdot h + 12.5 \quad (6)$$

$$\text{pour des ondes plus considérables: } L = 48.6 \cdot h - 35.2 \quad (7)$$

# SUR L'EVALUATION DE CERTAINES CARACTERISTIQUES DU TRANSPORT LITTORAL A LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES

Tableau I  
La signification des symboles appliqués

- $Q$ . — La quantité totale de material du transport littoral, qui passe un profile par an, sous l'influence de l'action des vagues d'une période et direction connue.
- $k, k_1$ . — les coefficients dependant de la pente de la plage, du diametre des grains et d'autres facteurs.
- $W$  — le travail total effectué par an par toutes les vagues d'une période et direction connue.
- $e$  — le coefficient défini par le rapport des distances entre les orthogonales de vagues en eau profonde et dans la zone littorale.
- $\alpha$  — l'angle entre les crêtes de vagues et la ligne de en formule (1) <sub>(1)</sub> nivage dans la zone de déferlement de la houle
- $T$ . — la période d'onde
- $T_M; T_K, T_S$ , la capacité de transport des matériaux solides le long de la côte.
- $V$ . — l'intensité des vents
- $p$ . — la fréquence des vents en %
- $D$ . — l'extension de l'action des vents
- $\beta$ . — le coefficient, qui prend en considération le période d'existence de couverture du glace.
- $\alpha$ . — l'angle formé par la ligne côtière et la direction en formule (3) <sub>(3)</sub> du vent.
- $\alpha$ . — l'angle formé par la normale a la ligne côtière et la direction du vents ou du vagues. en formules (4), (12), (13)

Le graphique de Schumacher, élaboré de même pour la zone occidentale de la Baltique [2], donne lieu à juger que lesdits rapports se posent respectivement comme il suit:

$$L = 26.7 \cdot h - 6.09 \quad (8)$$

et 
$$L = 11.1 \cdot h + 22.5 \quad (9)$$

L'analyse des données polonaises pour l'estuaire de la Baie Poméranienne Swinoujście [3] donne lieu à la relation linéaire suivante:

$$L = 22.75 \cdot h + 3.64 \quad (10)$$

Les observations recueillies par l'auteur au cours des recherches poursuivies sur la flèche de Hel amènent également pour les houles de tempêtes à l'équation linéaire:

$$L = 50 \cdot h - 31.5 \quad (11)$$

A part les divergences obtenues, on peut affirmer cependant que, pratiquement, la longueur de l'onde peut être traitée comme grandeur proportionnelle à sa hauteur, au moins pour une vague influence perceptible sur le transport littoral.

4. L'application des formules du type (3) et (4) recèle un danger, et notamment, on admet que la vague se produit seulement dans le cas où il fait du vent; de ce fait on ne tient pas compte de la houle. On peut obvier à cet inconvénient en adoptant la proposition de Knaps [5] de tenir compte également de la houle apparaissant lors des vents de terre dans le cas, où la direction de ces vents n'accuse pas de déviation-supérieure à  $30^\circ$  par rapport à la ligne côtière. Afin déterminer un coefficient convenable dérivant de l'admission précitée Knaps, comme on le sait, joint la courbe en fonction de  $\sin \alpha \cdot \cos \alpha$  où  $\alpha$  est l'angle formé par la normale à la ligne côtière et la direction du vent et la tangente à ladite courbe Fig. 1.

Pour rendre les opérations uniformes il y a lieu également d'introduire une fonction trigonométrique qui remplirait les conditions suivantes: ayant  $\alpha = 0^\circ$  et  $\alpha = 120^\circ$ , sa valeur s'exprimerait par zéro et le maximum aurait lieu à  $\alpha$  rapproché de  $45^\circ$ .

SUR L'EVALUATION DE CERTAINES CARACTERISTIQUES  
DU TRANSPORT LITTORAL A LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES

L'expression:      formerait par exemple une fonction pareille..  $1,5\alpha \cdot \sin^2(\alpha + 60^\circ)$

Les recherches effectuées durant les dernières années font preuve que le maximum de la force de transport apparaît pour les directions de houles dont l'angle est supérieur à  $45^\circ$  et rapproché de  $60^\circ$  [11].

Dans ce cas ce serait l'expression:      qui formerait la fonction propre.  $\sin\alpha \cdot \sin(\alpha + 60^\circ) \cos(\alpha - 60^\circ)$

Les trois fonction trigonométriques sont rapportées par la Fig.1.

Tenant compte des considérations précitées la fonction de la force de transport des matériaux solides le long de la côte s'exprimera par l'expression suivante:

$$T_s = k \cdot h^4 \cdot p \sin 1,5\alpha \cdot \sin^2(\alpha + 60^\circ) \quad (12)$$

ou bien

$$T_s = k \cdot h^4 \cdot p [\sin\alpha \cdot \sin(\alpha + 60^\circ) \cos(\alpha - 60^\circ)] \quad (13)$$

Dans ce cas le coefficient  $k$  dépendrait non seulement de la granulométrie du matériel et de la pente du fond, mais aussi du coefficient de la proportionnalité de la longueur de l'onde à sa hauteur.

En ce qui concerne le problème des houles il serait utile de noter que l'analyse précise des vents et de la houle, réalisée pour la Baie Poméranienne, accuse une conformité très nette des roses de houle et de vents bien que pour les périodes mensuelles les roses de ce type dénotent de grandes différences.

[13] . Il en résulterait qu'en analysant des cycles au moins annuels, les erreurs dues à la nonobservance des houles n'ont pas d'importance dans la pratique, au moins dans les conditions du littoral polonais. Le trait dominant des modifications apportées est certainement l'introduction d'une quatrième puissance de l'élément qui exerce une influence décisive sur le transport solide. Cette innovation met en relief, par rapport aux formules (3) et (4), le rôle des vents de tempête, donc le rôle de la houle également, éléments décisifs pour le transport littoral.

Afin de confirmer le bien-fondé de l'introduction d'une quatrième puissance, l'auteur présente les résultats de l'analyse des conditions existant sur les côtes polonaises.

Bien que les vents de directions occidentales soient prédominants sur le littoral polonais, on peut observer toutefois, le long des côtes de la pleine mer, au moins deux „flux de transport solide” - l'un dans la direction de l'est, donnant lieu, entre autres, à un constant allongement de la flèche de Hel, l'autre dans la direction de l'ouest, formant des dépôts de sables dans la Baie Poméranienne. L'endroit précis, où s'effectue le processus de bifurcation des deux „flux de transport solide” n'est pas connu. Sur la base des indices morphologiques on peut néanmoins supposer qu'il se trouve aux environs du port de Kołobrzeg. On observe que la zone se trouvant à l'est dudit port affectée par le transport littoral, est caractérisée du point de vue de sa morphologie par des apports de sables formant des dépôts du côté ouest des jetées portuaires et d'autres obstacles au travers. Il a été également constaté qu'il y avait tendance d'avancement des estuaires fluviaux, non-aménagés, dans la direction Est. Le processus d'érosion considérable des bords du côté Est des jetées et des groupes d'épis constitue également un indice caractéristique. L'accumulation des apports de sables des deux côtes des jetées portuaires de Kołobrzeg s'effectue d'une manière plus ou moins analogue; quant aux estuaires fluviaux situés à l'ouest du dit port, ils accusent, ou accusaient jusqu'au moment de leur aménagement en ouvrages réglant les conditions desdits estuaires, une tendance d'avancement dans la direction ouest. La comparaison toutefois des valeurs de la puissance de transport, calculées à l'appui de la formule Munoh-Petersen et de celle de Knaps, pour différents endroits du littoral, indique que la bifurcation dont il a été question plus haut, n'a lieu, en dépit de toute attente, qu'aux environs de Dziwnów, c'est à dire, éloignée de 50 km environ, à l'ouest de Kołobrzeg. Quand à la capacité d'entraînement des sables, calculée selon la formule proposée par l'auteur, elle démontre que c'est précisément aux environs de Kołobrzeg que

SUR L'EVALUATION DE CERTAINES CARACTERISTIQUES  
DU TRANSPORT LITTORAL A LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES

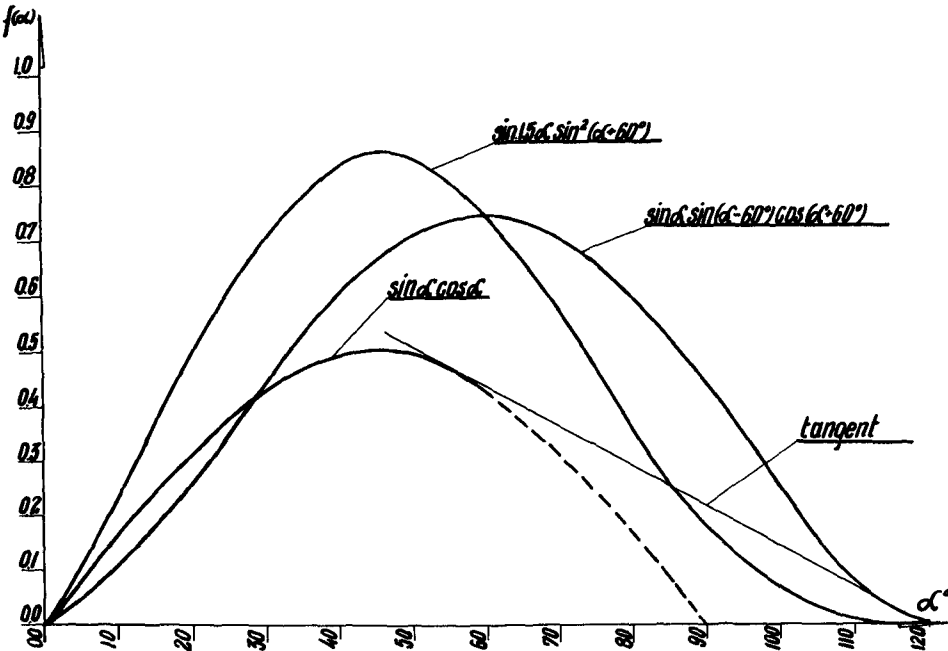


Fig. 1

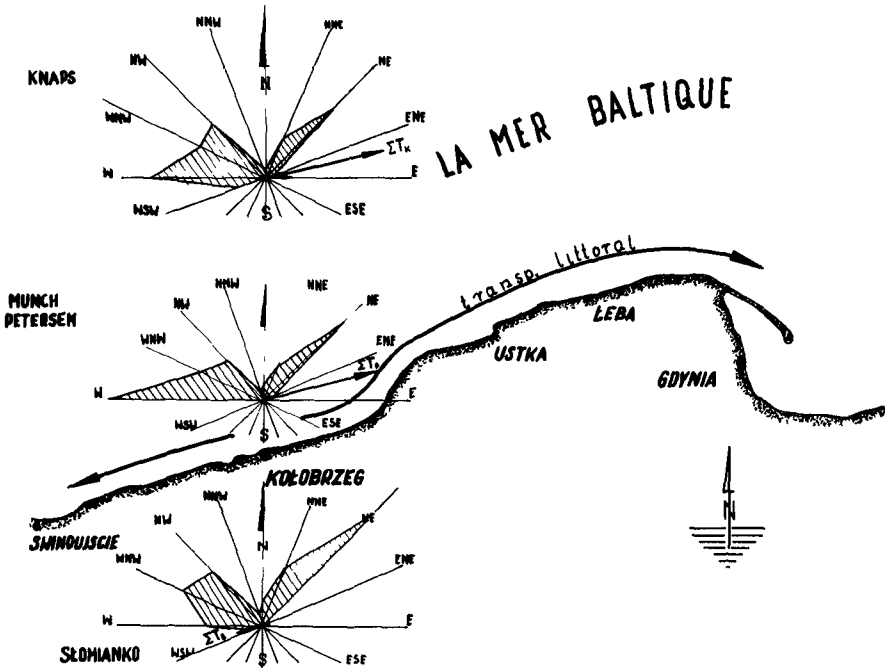


Fig. 2

„le flux de transport solide" change de direction en entraînant les sables vers l'ouest.

La Fig.2 rapporte les roses énergétiques, représentant les forces de transport pour Kołobrzeg en la période 1947 - 1955, calculées à l'appui des formules de Munch - Petersen, de Knaps et de l'auteur de ce rapport. Chaque direction comporte les valeurs totales en la période précitée, se rapportant à ladite direction. Les échelles des roses particulières ne peuvent être évidemment comparées. Les résultantes  $T_M$ ,  $T_K$ ,  $T_S$  sont représentées par de petites flèches parallèles à la ligne côtière. La valeur de la résultante  $T_S$  n'est pas grande, elle se monte à 3,7% à peine par rapport à la somme des valeurs absolues des forces de transport  $/T_S/$ , mais ladite résultante est distinctement orientée dans un sens opposé à celui des résultantes calculées à l'appui des formules(3) et(4). Sa valeur minime fait preuve précisément que c'est dans cette zone que la bifurcation des „flux" doit avoir lieu, ce qui est en parfaite conformité des observations faites dans la nature.

Il en résulterait donc que cette simple détermination du problème du transport littoral longitudinal, proposée par Munch-Petersen, après y avoir apporté les modifications citées plus, se trouve être une méthode susceptible d'être appliquée à des buts pratiques, bien qu'elle ne tienne pas compte de phénomènes importants tels que la réfraction de l'onde et la naissance des courants de houle littoraux.

## BIBLIOGRAPHIE

W.L.Bołdirov - L'usage des sables luminescents dans l'étude d'importants transports littoraux. - Académie des Sciences, URSS. Bulletin de la Commission Océanographique No.3, 1959.

E. Bruns - Handbuch der Wellen der Meere und Ozeane, Berlin 1955.

SUR L'EVALUATION DE CERTAINES CARACTERISTIQUES  
DU TRANSPORT LITTORAL A LA BASE DES DONNEES METEOROLOGIQUES

Per Bruun - Coast Stability - Copenhagen 1954.

J.Germain, G.Forest et P.Jaffry - Utilisation des traceurs radioactifs pour l'étude des mouvements de sédiments marins - Proceedings of sixth conference on coastal engineering, 1957.

W.Hartnack - Die Küste Hinterpommerns unter besonderer Berücksichtigung der Morphologie - 2 Beiheft zum 43-44 Jahrb. d. Pomm.Geogr.Ges., Greifswald, 1926.

R.J.Knaps - Prüfung der Formel von Prof.Munch-Petersen über Materialwanderung an der lettischen Küste. VI Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten, 1938.

O.Leontiev et B.Afanasiev - Essai de l'application des radioisotopes pour l'étude des transports littoraux. Académie des Sciences, URSS, Bulletin de la Commis. Océanograph. No.3, 1959.

W.S.Miedviediev et N.A.Aiboulatov - Utilisation des sables à grains marqués pour l'étude des transports littoraux. Informations de l'Académie des Sciences URSS, No 4, 1956.

Munch-Petersen - Materialwanderung längs Meerküsten ohne Ebbe und Flut - IV Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten, 1933.

W.J.Reid - Coastal Experiments with radioactive tracers - Dock and Harbour Authority, Nr.453, 1958.

M.G.Sauvage de Saint Marc, M.G.Vincent - Transport littoral, formation de flèches et de tombols. Proceed. of the 5-th Conference on Coastal Engin. 1955, Chapt.22.

P.Słomianko - Etude des côtes sur la flèche de Hel. Archives de l'Hydraulique, V. IV. cah.4, 1959.

Z.Szopowski - Analyse des roses de houle. Archives de l'Hydraulique, V. 5, cah.2, 1958.

A.M.Jdanov - Détermination de la résultante énergétique du régime de la houle sur une côte marine. Informations de l'Acad. d. Sciences, URSS, Série géographique et géophysique, V. 15, No.1, 1951.