

CHAPTER 51

TRANSPORT LITTORAL : ESSAIS ET CALCULS

par J.P. LEPETIT⁽¹⁾

Résumé :

Des essais de transport littoral en cuve à houle ont été effectués avec de la bakélite. L'étude de l'influence d'un épi isolé a permis de montrer une corrélation entre la position du musoir de l'épi par rapport à la distribution du débit solide le long du profil et le débit solide arrêté par l'épi.

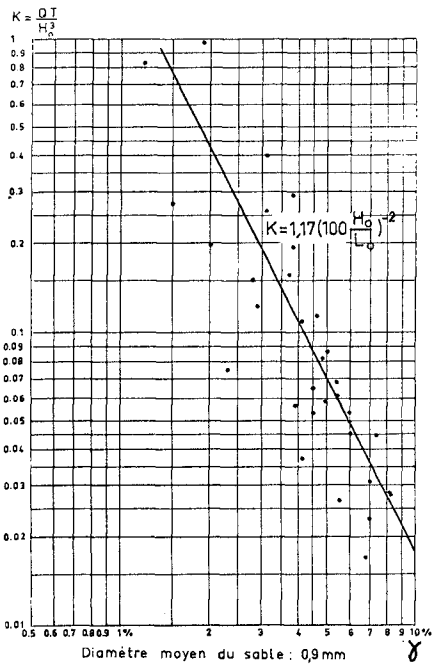
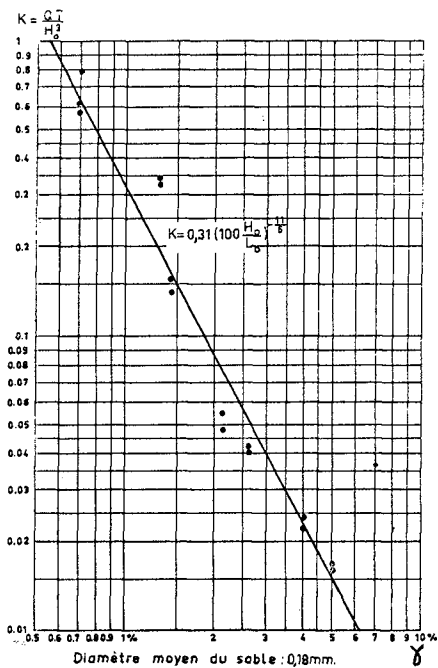
Un programme de calcul sur ordinateur permet de déterminer l'évolution de la ligne de rivage d'une côte sableuse sous l'action de diverses houles incidentes. Le calcul, de forme itérative, est basé sur une loi de débit solide déduite des essais en cuve à houle. Il fait intervenir les caractéristiques au rivage des houles de diverses provenances dont la propagation est calculée et diverses hypothèses relatives à l'évolution des profils de la plage en cours de sédimentation ou d'érosion. Le calcul a été appliqué à des cas concrets (ports de Dunkerque et Deauville) et les résultats obtenus dans le cas d'action d'un épi isolé ont été comparés à ceux des essais en cuve à houle.

1 - GENERALITES

L'étude du transport littoral, en cours au Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, a deux buts :

- analyser le mécanisme de transport des sédiments le long d'une plage en houle oblique, et déterminer une loi de débit charrié en fonction des paramètres : angle d'incidence, période de la houle, densité et diamètre du sédiment ;

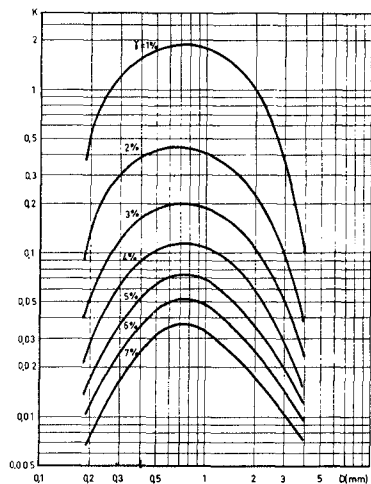
(1) Docteur-Ingénieur Chercheur au Laboratoire National d'Hydraulique - Chatou (France).



VARIATION DU COEFFICIENT K EN FONCTION DE γ

$$Q = K(\gamma, D) \frac{H^3}{T} f(\alpha)$$

Fig.1. SABLE.
LOI DE DEBIT SOLIDE



VARIATION DE K EN FONCTION DE γ ET D

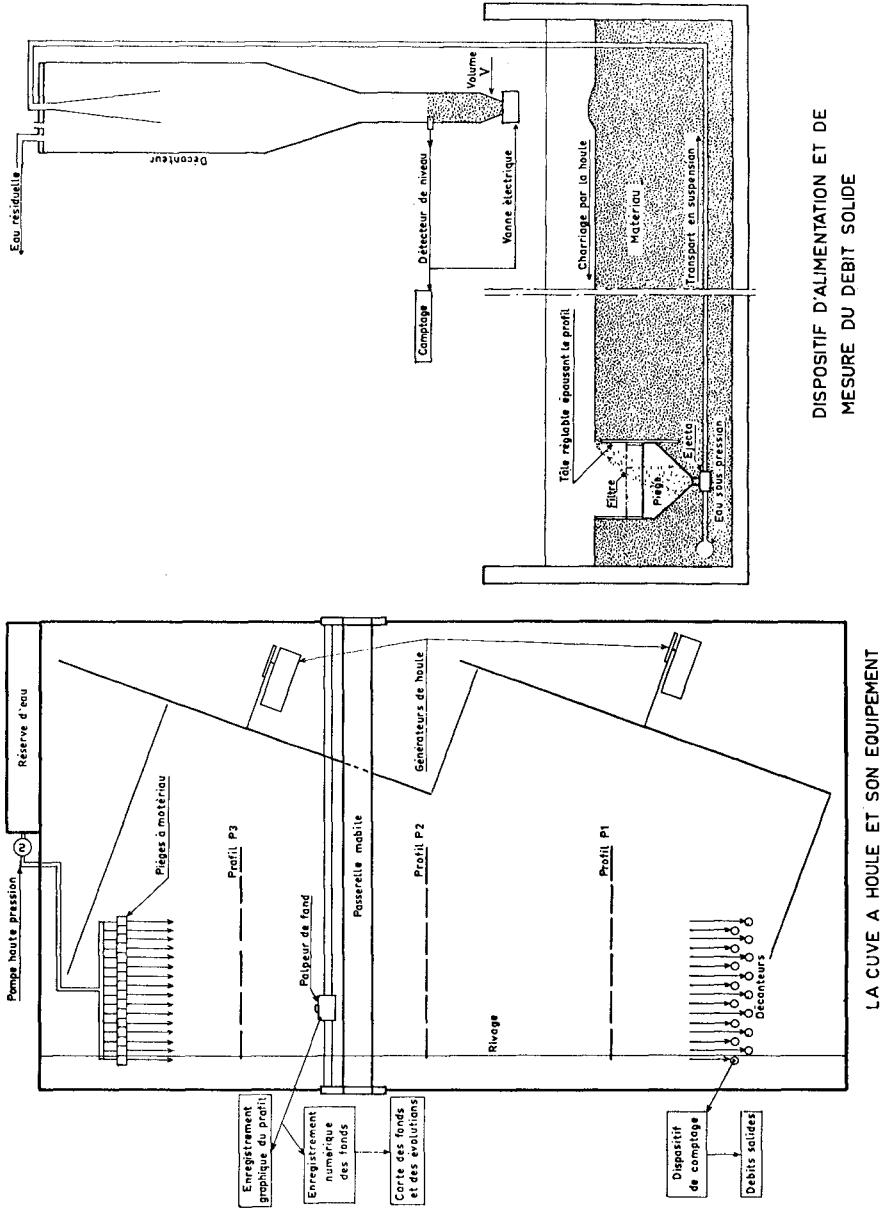


Fig. 2 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

- élaborer ou améliorer des méthodes d'étude de problèmes posés par le transport littoral, soit sur modèle réduit physique, soit par calcul sur ordinateur.

Une précédente série d'essais avec du sable a permis d'établir une loi de débit charrié de la forme :

$$Q = \frac{H^3}{T} k(\gamma, D) f(\alpha) \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} T, L, H \text{ période, longueur d'onde et} \\ \text{creux de la houle} \\ \gamma = \frac{H}{L}, D \text{ cambrure de la houle et} \\ \text{diamètre du sable} \\ f(\alpha) \text{ fonction de l'angle d'incidence} \\ \text{de la houle (par ex. } \sin\alpha \cos\alpha) \end{array} \right.$$

$\frac{H^3}{T}$ représente l'énergie de la houle considérée comme une succession d'ondes solitaires. La fonction $k(\gamma, D)$ décroît lorsque γ croît, et passe par un maximum vers $D = 0,8 \text{ mm}$ (fig. 1).

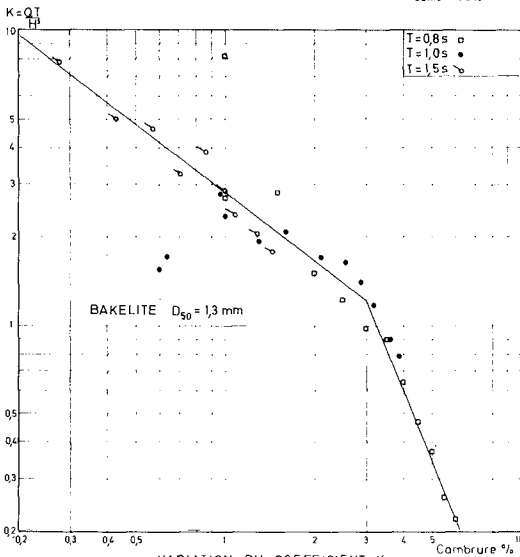
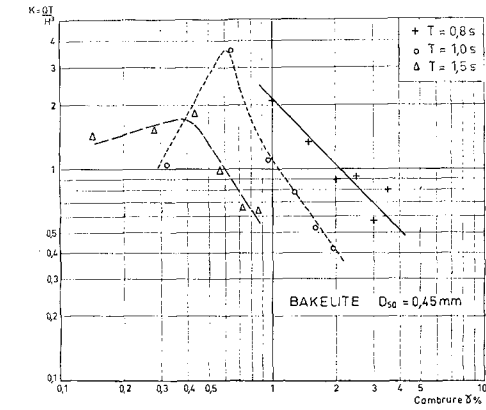
Cette formule, extrapolée à la nature, donne des résultats d'un ordre de grandeur comparable à certaines mesures in situ.

2 - ESSAIS EN CUVE A HOULE

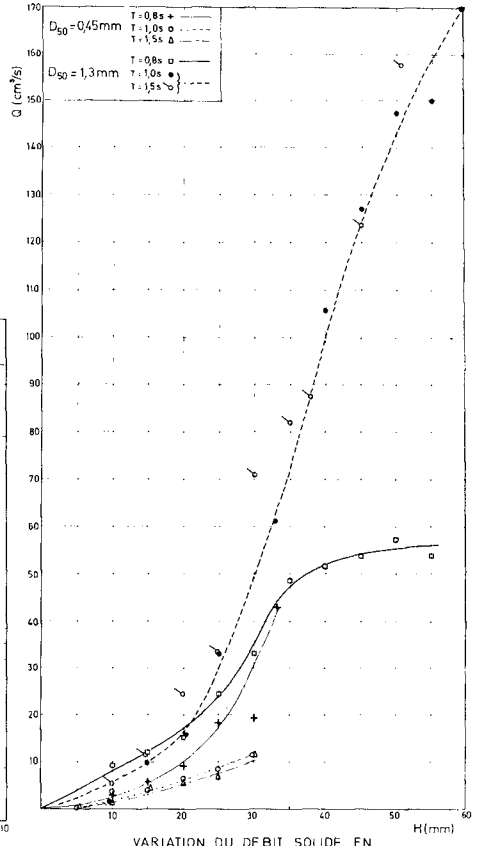
2.1. La cuve à houle :

Les études expérimentales sont faites dans une cuve à houle de 30 x 15 m dotée des équipements suivants (fig. 2) :

- deux générateurs de houle synchronisés, orientables et réglables en période et creux ;
- une rangée de 16 pièges (de 25 cm chacun, disposés à l'aval de la cuve perpendiculairement au rivage) captant le débit solide charrié près du fond en différents points du profil de la plage ;
- des circuits de reprise et de transport hydraulique vers l'amont des sédiments piégés ;
- une rangée de 16 décanteurs disposés à l'amont de la cuve (chacun étant à une distance du rivage égale à celle du piège qui lui correspond) réinjectant le matériau capté à l'aval ;



VARIATION DU COEFFICIENT K
 EN FONCTION DE LA CAMBRURE



VARIATION DU DÉBIT SOLIDE EN
 FONCTION DU CREUX DE LA HOULE

Fig 3 - BAKELITE - RESULTATS EXPERIMENTAUX

- un système de mesure du débit solide transitant dans chaque décanteur (compage de volumes élémentaires avec ouverture automatique de vannes fermant le décanteur) ;
- une passerelle de mesure portant un "palpeur de fond", appareil mesurant la profondeur à l'aide d'une sonde mécanique asservie électroniquement à partir de la différence de conductivité du matériau par rapport à l'eau.

Le système de pièges, décanteurs et de comptage de volumes élémentaires permet d'assurer le recyclage du débit solide entre l'aval et l'amont de la cuve (simulant ainsi une plage infinie) et la mesure de sa valeur et de sa répartition le long du profil de la plage.

Le palpeur de fond fournit le tracé automatique du profil de la plage ou, par enregistrement numérique d'un ensemble de profils et traitement sur ordinateur, le tracé automatique d'une carte bathymétrique de la plage (ex. fig. 5) et le calcul de volumes déposés et érodés.

2.2. Plage libre :

Les essais concernent actuellement l'étude de matériaux légers en vue de leur utilisation en modèle réduit et d'une généralisation de la loi de débit solide.

Les mesures portent sur les profils d'équilibre, le débit charrié et sa répartition le long du profil de la plage. Chaque essai est poursuivi (pendant 15 à 40 heures) jusqu'à obtention d'une stabilité satisfaisante du profil et du débit solide.

Les premiers essais ont concerné la bakélite (densité 1,4) de diamètre $D = 0,45$ et $1,3$ mm (fig. 3). Les débits solides mesurés se groupent bien suivant une loi semblable à celle du sable pour $D = 1,3$ mm. Par contre pour $D = 0,45$ mm, les points se dispersent en fonction de la période, ce qui laisse supposer un mode d'action différent de la houle sur les grains fins et légers. Les essais se poursuivent avec un diamètre de $0,8$ mm qui permettra de préciser cette influence.

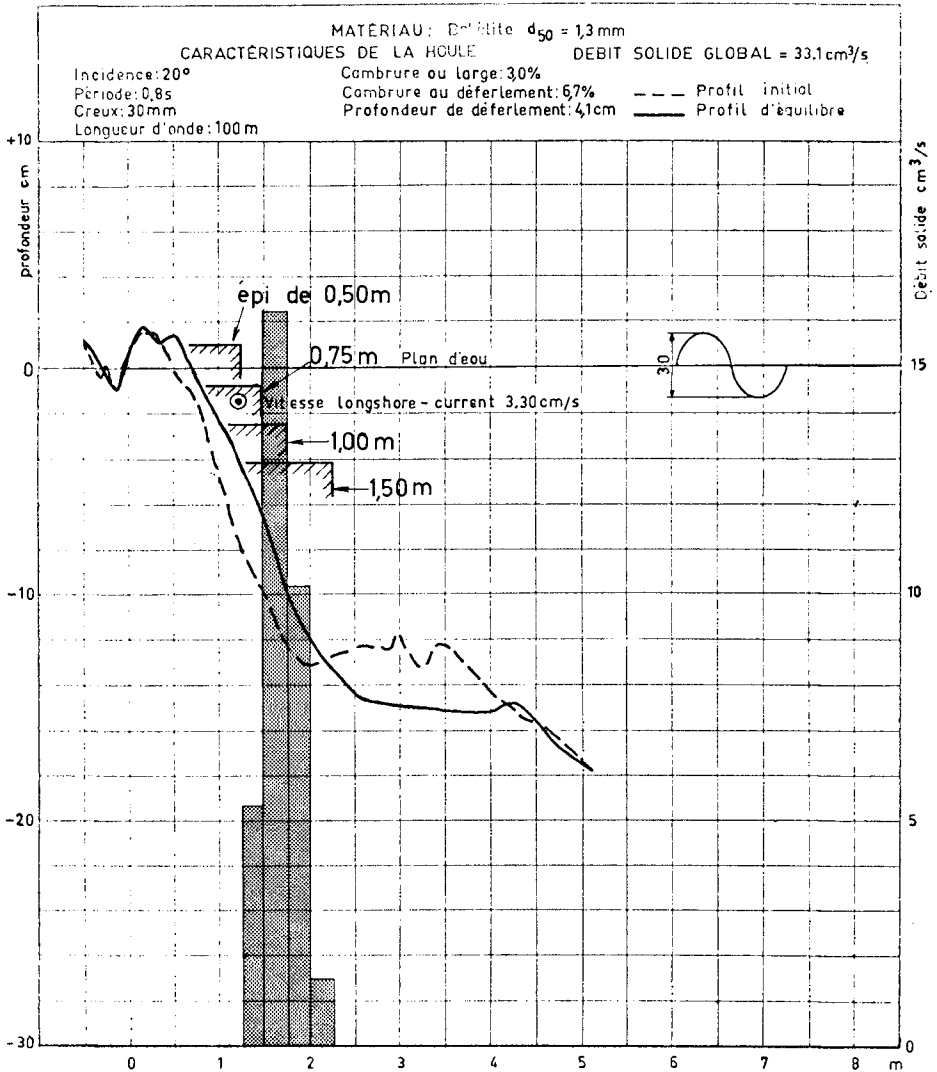


Fig.4 - ETUDE D'UN EPI ISOLE

PROFIL DE LA PLAGE ET HISTOGRAMME DE DEBIT SOLIDE

Les résultats obtenus ont permis d'effectuer avec succès deux études de plage (Dunkerque et Capbreton) en modèle réduit. La distorsion des échelles a été choisie en fonction des profils d'équilibre relevés en cuve à houle, et les débits solides mesurés ont constitué une bonne base de détermination de l'échelle des temps sédimentologique.

2.3. Plage avec épi :

L'étude d'un épi isolé a pour but de déterminer son influence sur la plage, de mesurer le débit solide arrêté par l'épi en fonction de sa longueur et de le relier à la distribution de débit le long du profil de la plage, mesurée en plage libre. Les essais ont été réalisés sur une plage en bakélite de 1,3 mm de diamètre, sur un profil sans barre et sur un profil avec barre.

Sur le profil sans barre (la figure 4 montre le profil de la plage, l'histogramme de débit solide et les positions du musoir de l'épi par rapport à celui-ci), le débit solide arrêté par l'épi (mesuré par cubature des dépôts et érosions de part et d'autre) est sensiblement égal à celui transitant normalement entre le musoir de l'épi et le rivage, débit qui peut être déterminé à partir de la répartition de débit le long du profil : le tableau 1 compare le coefficient de perméabilité de l'épi (rapport du débit solide qui laisse passer l'épi au débit solide total existant sur la plage libre) mesuré, à celui déduit de l'histogramme de débit solide en sommant la fraction de débit transitant normalement au-delà du musoir de l'épi.

Le profil de plage au voisinage de l'épi est différent de celui en plage libre : il est plus accore à l'amont dans la zone de dépôt et moins accore à l'aval dans la zone d'érosion (fig. 5).

Sur le profil avec barre il n'a pas été possible de chiffrer le débit arrêté, l'épi provoquant d'importants déplacements de matériau perpendiculaires au rivage. L'effet de l'épi est lié à la position de son musoir par rapport à la barre ; il est très faible si l'épi n'atteint pas la barre et s'il la dépasse nettement, la barre disparaît à l'aval et augmente à l'amont (fig. 5).

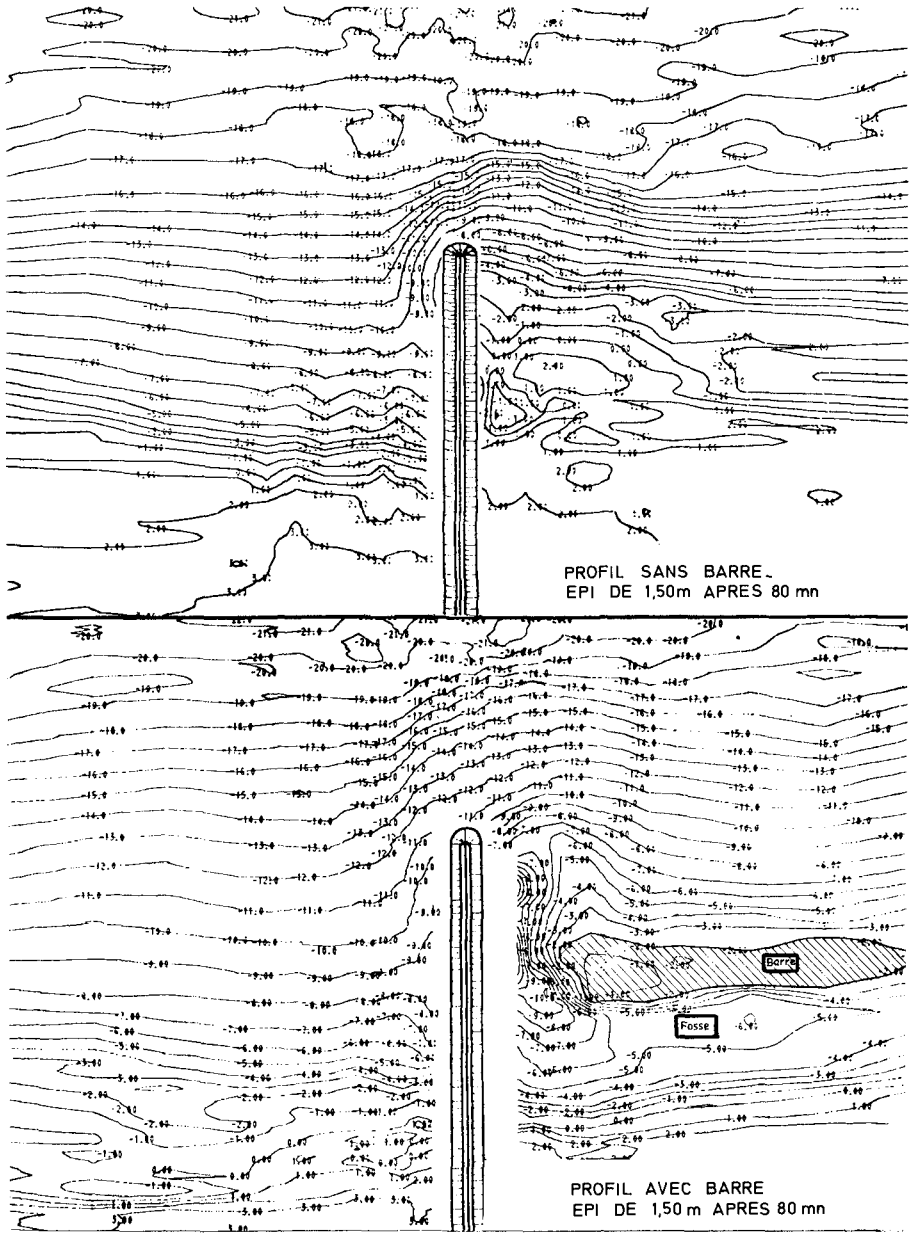


Fig.5 - ETUDE D'UN EPI ISOLE - EXEMPLES DE LEVES

Longueur de l'épi (m)	Temps (m)	Débit solide aux limites (cm ³ /s)	Volumes (dm ³)		Coefficient de perméabilité	
			Sédimentation amont	Erosion aval	mesuré	déduit de l'histogramme de débit solide
0,50	0 - 40 40 - 80	42 40	néant	néant	1	1
0,75	0 - 40 40 - 80 80 - 120	39 37 38	12 ε ε	18 ε ε	0,8 # 1 # 1	0,84
1,00	0 - 40 40 - 80 80 - 120	37 32 38	60 48 x	65 44 x	0,23 0,42 x	0,37
1,50	0 - 40 40 - 80 80 - 120	38 40 39	65 80 x	90 60 x	ε 0,1 x	0

ε quantité faible non mesurable

x mesure inexistante (levé entâché d'erreur)

Tableau 1 : Coefficient de perméabilité d'un épi sur un profil sans barre.

3 - CALCULS SUR ORDINATEUR

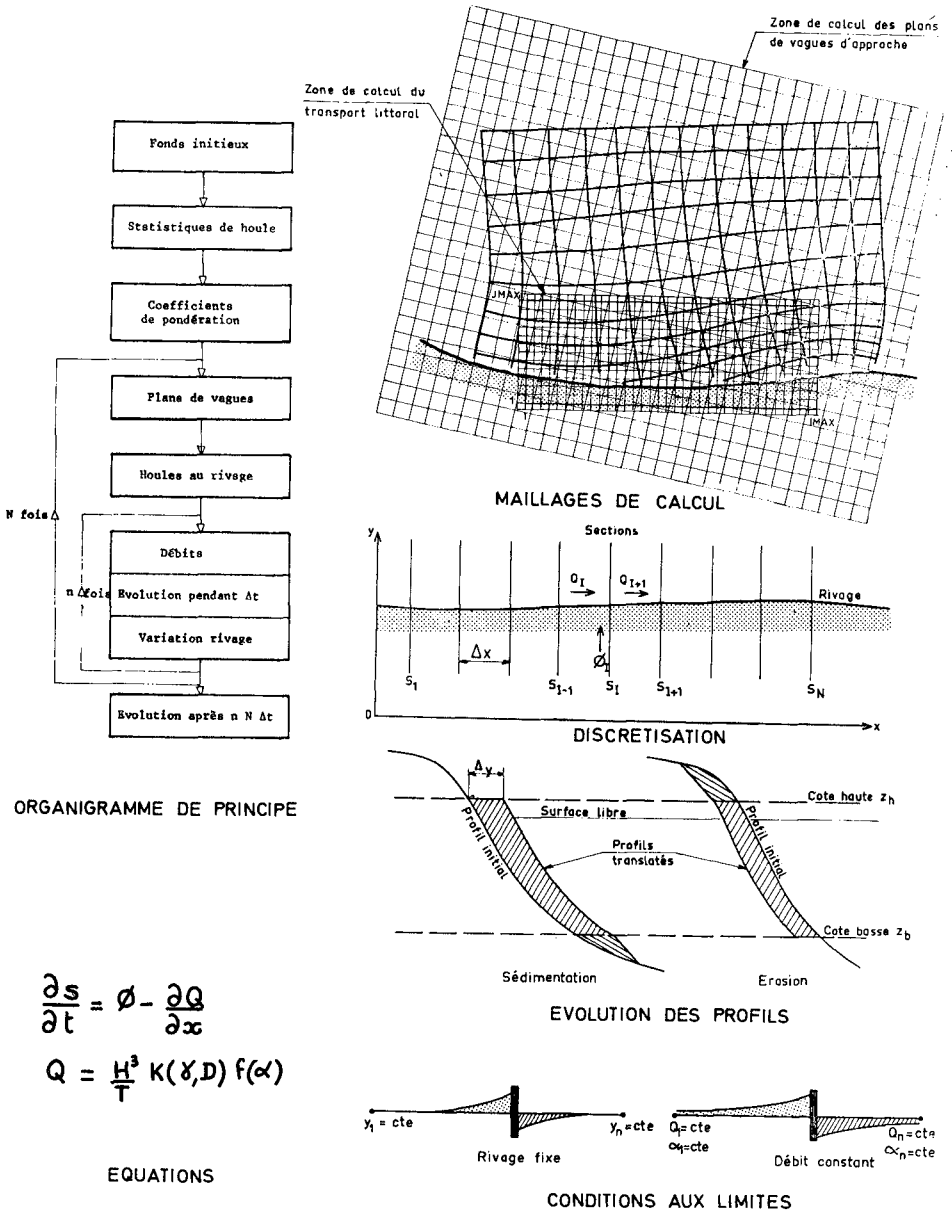
3.1. Méthode (fig. 6)

La formule de débit charrié est utilisée dans un calcul sur ordinateur donnant l'évolution du rivage à partir d'un état initial donné et connaissant les diverses houles incidentes. Les principales hypothèses faites sont les suivantes :

- la loi de débit solide, établie en régime uniforme, est valable en chaque point du rivage en régime non uniforme ;

- les profils en travers de la plage gardent la même forme et subissent une translation horizontale en cas de sédimentation ou d'érosion ;

- aux limites de l'emprise du calcul le rivage garde une position ou une orientation fixe.



$$\frac{\partial s}{\partial t} = \phi - \frac{\partial Q}{\partial x}$$

$$Q = \frac{H^3}{T} K(\gamma, D) f(\alpha)$$

EQUATIONS

Fig. 6. PRINCIPE DU MODELE MATHEMATIQUE

Les caractéristiques de houle au rivage (creux, cambrure, angle d'incidence) sont déterminées (par le calcul de plans de réfraction) pour diverses provenances et périodes de houle représentatives du site considéré, ce qui permet de calculer, en chaque point du rivage, le débit solide dû à chacune des houles, et par sommation algébrique pondérée par leurs fréquences respectives, le débit solide résultant.

L'équation de continuité, qui s'écrit :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} - \phi = 0 \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial Q}{\partial x} \text{ gradient de débit solide} \\ S \text{ aire solide de la section} \\ \text{en travers du rivage} \\ \phi \text{ apport extérieur par unité de} \\ \text{longueur du rivage,} \end{array} \right.$$

permet d'en déduire la variation des aires S en fonction du temps et donc, par translation des profils, les modifications de la ligne de rivage.

Pratiquement, le calcul est discrétisé dans l'espace et dans le temps avec une itération à deux niveaux permettant de faire varier progressivement le débit solide en fonction des modifications du rivage et, avec une fréquence moindre, les conditions d'approche de la houle.

L'action d'obstacles naturels ou artificiels (épis par exemple) est schématisée par l'introduction d'un coefficient de perméabilité égal au rapport du débit solide qui laisse passer l'ouvrage à celui qui existerait sur la plage libre.

Le calcul a été appliqué à deux cas concrets : études de la stabilité d'une plage artificielle à Dunkerque et de l'influence d'un port de plaisance à Deauville.

3.2. Application au cas d'un épi isolé (fig. 7) :

L'épi isolé sur une plage sans barre étudié en cuve à houle, a été introduit dans le calcul avec un coefficient de perméabilité déduit de la distribution de débit solide mesurée. Le calcul donne des résultats

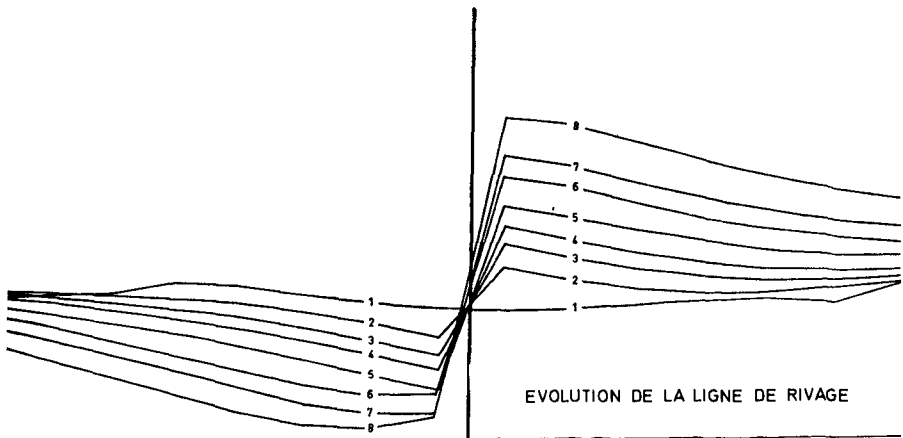
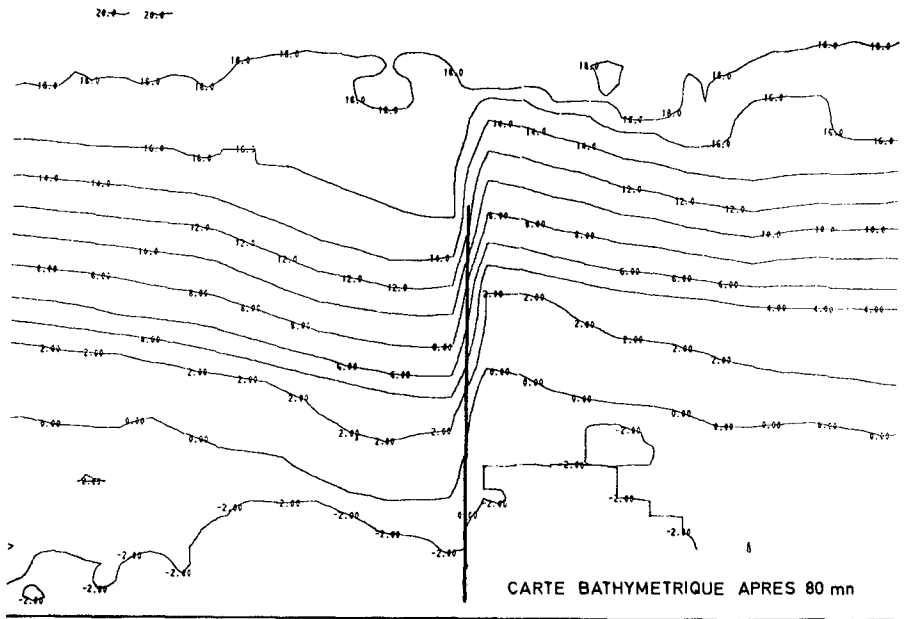


Fig.7_ EXEMPLES DE RESULTATS DU CALCUL _

CAS D'UN EPI DE 1,50m

(volumes de dépôt, d'érosion et recul du rivage près de l'épi) d'un ordre de grandeur comparable à celui de l'expérience (tableau 2) avec cependant deux différences importantes :

- le recul du haut de plage à l'aval de l'épi est moins important que dans la cuve, l'adoucissement du profil n'étant pas introduit dans le calcul (et inversement à l'amont) ;

- le contournement de l'épi après un certain temps n'est pas pris en compte dans le calcul (si l'on garde le même coefficient de perméabilité).

Longueur de l'épi (m)	Temps (m)	Coef. de perméabilité	Volumes (dm ³)				Décrochement des lignes bathymétriques (cm)		
			Sédimentation amont		Erosion aval		Calcul	Expérience	
			Calcul	Expé-rience	Calcul	Expé-rience		ligne -4cm	ligne -10cm
1,00	0 - 40	0,20	51	60	41	65	55	55	25
	40- 80	0,40	44	48	29	44	75	60	40
	80-120	0,57	43	-	23	-	90	70	50
1,50	0 - 40	0	53	65	43	90	57	90	60
	40- 80	0	46	80	32	60	80	120	80
	80-120	0	49	-	28	-	95	130	95

Tableau 2 : Epi sur un profil sans barre - Comparaison Calcul-Expérience

4 - CONCLUSION

Les études en cours ont apporté :

- une meilleure connaissance du comportement de la bakélite et de ses possibilités d'utilisation en modèle réduit ;

- un modèle mathématique schématique permettant d'étudier rapidement des cas simples d'évolution du rivage.

Les essais seront poursuivis par l'étude d'autres matériaux légers (par exemple plexiglas) et le modèle mathématique sera perfectionné en introduisant progressivement des variations de profil de plage avec débits solides perpendiculaires au rivage et une prise en compte plus précise des ouvrages.