



# ACTION DE LA HOULE SUR LES OUVRAGES DE DEFENSE DES COTES : APPLICATION A LA PLAGE DE Ste MARGUERITE SUR MER

Daniel Caminade ; Michel Belorgey  
Laboratoire de Mécanique des Fluides, Université du Havre  
25 rue Philippe Lebon  
76058 LE HAVRE CEDEX

## ABSTRACT

*In High-Normandy the coast is generally bound with cliffs which are unceasingly attacked by the sea, involving a constant backing of the littoral. This phenomenon may be checked by protective structures, mostly using pebbles proceeding from the erosion of the cliff.*

*The temporary disappearing of the natural protection formed by the pebbles laying between high and low tide may involve a very strong attack of the coastline by destroying up-shore structures.*

*Here we submit a study of steadying corresponding to the particular place of Sainte-Marguerite (Normandy). The tests have been realized in a chanel with a 1/25e pattern.*

*Several patterns of up-shore structures have been tested for various shapes of the pebbly beach and various heights of the tide. In each case tests have been done for various waves with various periods and heights.*

*The tests have pointed out the good efficiency of rocky structures which decrease the wave strength, reducing the passing through and the reflection coefficient responsible of the instability of the pebbles. They also made more comprehensible the pebble dynamics and gave a possibility to see the different terms and conditions of inter-action between the swell and the absorbing beach formed by the rocky structure.*

*All these results may help to make a judicious choice for protective structures along the coast by offering constructive solutions.*

## I - INTRODUCTION

Le littoral Haut-Normand est en général constitué de falaises surplombant la mer qui sont constamment attaquées par celle-ci. Le recul de la côte est un phénomène permanent dans notre région, et celui-ci peut être freiné par l'utilisation d'ouvrages de protection de côte qui utilisent la plupart du temps des galets, produits de l'érosion de la falaise.

La disparition momentanée de la protection naturelle que constitue l'estran de galets, peut entraîner une attaque violente de la côte en bordure immédiate de la mer par destruction des structures de haut de plage ou plus en arrière par endommagement des constructions.

## SESSION 1

Les tempêtes de l'hiver 1989-1990, qui ont eu des conséquences catastrophiques à Fécamp et à Etretat sont survenues alors que le stock de galets qui assurait une protection naturelle, avait pratiquement disparu.

Une étude de stabilisation de la plage de Ste Marguerite a été demandée par cette commune à la Direction Départementale de l'Équipement qui, pour les essais en canal à houle sur modèles réduits physiques, s'est assuré le concours du Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Université du Havre.

Les études ont été réalisées en deux phases :

- la première phase a consisté à sélectionner les ouvrages de haut de plage les mieux adaptés que ce soit pour éviter les franchissements de la houle, pour stabiliser l'estran de galets ou encore pour respecter l'environnement et l'agrément touristique.
- la deuxième phase a consisté, pour les deux meilleurs types d'ouvrages, à examiner le comportement de l'estran de galets pour différentes houles et différents volumes du stock de galets disponibles.

Les différents résultats ont permis d'apporter une aide à la décision dans le choix des ouvrages de protection de haut de plage et de mieux comprendre la dynamique des galets qui constituent l'estran.

## II - SELECTION DES OUVRAGES

*(Les cotes indiquées se réfèrent au 0 des Cotes Marines (C.M.))*

Quatre types d'ouvrages ont été testés pour leur capacités à résister aux actions de la houle en s'attachant à analyser deux critères principaux :

a) le franchissement de l'ouvrage par la houle

Le comportement de l'ouvrage au franchissement (ou au non franchissement) a été étudié de façon qualitative à l'aide d'observations et de visualisations sur caméra vidéo.

b) le coefficient de réflexion de l'ouvrage, car un ouvrage réfléchissant est susceptible d'entraîner à court terme la destruction ou la disparition du cordon de galets.

La mesure du coefficient de réflexion est réalisée par la méthodologie classique suivante :

Chaque maquette d'ouvrage est disposée perpendiculairement à la direction de propagation de la houle, et barre entièrement le canal. Les variations

de surface libre sont mesurées par deux sondes à effet résistif disposées dans le plan médian du canal.

- Une sonde avale (sens de propagation de l'onde), fixe, située à environ 1/2 ou 1 longueur d'onde devant l'ouvrage (sonde témoin).
- Une sonde amont que l'on fait déplacer à vitesse lente sur un rail de manière à saisir deux "noeuds" et deux "ventres" d'agitation.

L'enregistrement est réalisé de façon continue.

L'amplitude de la houle est ainsi mesurée pour différentes positions à l'amont de l'ouvrage sur une distance d'environ deux longueurs d'ondes. L'enregistrement est analogue à une courbe de battement dont l'enveloppe présente des "ventres" et des "creux".

La mesure de  $H_{\max}$  et  $H_{\min}$  permet de définir le coefficient de réflexion  $X$  :

$$X = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}}$$

Ces ouvrages étaient constitués :

- 1) D'un perré lisse, pentu en béton (fig. 1)
- 2) D'un profil mixte où le perré béton était protégé par un massif d'enrochements (fig. 2)
- 3) D'un profil en enrochements à pente faible (3 de base pour 1 de hauteur - fig. 3)
- 4) D'un profil en enrochements à pente forte (3 de base pour 2 de hauteur - fig. 4).

Pour chaque ouvrage fondé à la cote [+ 6,80] de nombreuses conditions de houle ont été testées (périodes de 5 s, 7 s, 9 s, 12 s et creux variant de zéro jusqu'au déferlement) alliées à des cotes de marées différentes [+ 10,00], [+ 10,75] et [+11,50].

L'échelle du modèle était de 1/25ème.

Au total 193 essais ont été réalisés.

Les résultats montrent que :

- 1) La structure lisse en perré béton s'avère très défavorable tant en ce qui concerne les franchissements qui surviennent dès que la houle dépasse un mètre, qu'en ce qui concerne le coefficient de réflexion qui est supérieur à 40 % et peut atteindre 60 % voire 80 %.

## SESSION 1

Cette structure doit être écartée pour la réalisation de nouveaux ouvrages.

2) Le profil mixte (perré béton avec massif d'encrochements) constitue une amélioration notable de la structure précédente surtout lorsque le massif d'encrochements est arrasé à la cote [+ 11,00]. Dans ce cas, et pour un niveau de la marée de [+ 10,75] le coefficient de réflexion est de l'ordre de 20 % (énergie absorbée de 96 %) et sans franchissement pour les houles observées (creux de 1,5 m).

Le rechargement des profils existants tout au long de la côte Normande, généralement réalisés en perré béton, au moyen d'encrochements constitue une solution technique qui apportera une amélioration très notable du comportement des structures surtout en cas d'amaigrissement temporaire du cordon de galets.

3) Les profils en encrochements constituent de fait une solution tout à fait satisfaisante du point de vue coefficient de réflexion et franchissements. Le talus à 3/1 se révélant légèrement meilleur que le talus à 3/2.

L'ensemble de ces résultats ont été présentés au Maire de la Commune de Ste Marguerite en présence de représentants du Conseil Général.

A notre grande surprise, le Maire, après avis du Conseil Municipal, a demandé à ce que les études soient poursuivies avec les seuls profils en encrochements. L'abandon des profils du type perré lisse en béton, constitue une nouveauté dans la mesure où les élus préféreraient ce type d'ouvrage car posant peu de problèmes de nettoyage, les encrochements pouvant se révéler comme des pièges à détritrus.

Cette première phase d'étude a donc permis de faire évoluer les esprits des décideurs vers l'adoption de solutions plus adaptées aux problèmes de défense de côte.

### III - ETUDE DU COMPORTEMENT DU CORDON DE GALETS

Les deux ouvrages sélectionnés ont donc été les profils en encrochement à 3/2 (protection en 2T/6T) ou à 3/1 (protection en 1T/3T) arasés à la cote [+ 13,25] pour une cote de marée de [+10,75].

La cote de fondation de l'ouvrage a été abaissée à la cote [+ 4,00] de façon à tenir compte de certaines irrégularités constatées sur la plage de Ste Marguerite.

Le comportement du cordon de galets a été étudié de façon qualitative (à l'aide d'observations et de visualisation sur caméra vidéo) et quantitative (en

effectuant un relevé du profil de l'estran avant et après chaque essais - d'une durée de 5 h -).

Les houles étudiées étaient les suivantes :

Période : 5 s, 7 s, 9 s, 12 s.

Creux : de zéro à la limite du déferlement devant l'ouvrage.

Le stock de galets a été testé dans quatre cas (Fig. 5a et 5b) :

Stock nul (pas de galets)

Galets en pente de 10 % avec point le plus haut le long de l'ouvrage aux cotes [+ 7,00 ], [+ 9,00], [+ 11,00].

L'échelle du modèle a été conservée au 1/25ème et le nombre de cas d'essais est de 197, chacun ayant donné lieu à une courte séquence filmée.

Les résultats des mesures et des observations ont été consignés sur des fiches d'essais dont nous donnons quelques exemples dans les tableaux I (enrochement à 3/1) et II (enrochement à 3/2).

Il est difficile de présenter une analyse fine de chacun des cas car chaque essai doit être analysé séparément dans la mesure où il apparaît que dans chaque cas la houle modifie l'estran, qui à son tour modifie de façon plus ou moins importante la houle elle-même et son déferlement sur l'ouvrage. Il y a pour chaque cas un mode différent d'interaction entre la houle et l'ouvrage.

Les premières analyses nous permettent toutefois d'obtenir quelques enseignements généraux, essentiellement en fonction du volume du cordon de galets (stock disponible mobilisable - Fig. 6).

### *1) Profils sans galets*

Malgré une augmentation de la houle sur l'ouvrage par rapport aux essais de la phase I, due à une plus grande profondeur au pied de l'ouvrage, les ouvrages se sont révélés stables et peu franchissables puisque pour le profil à 3/1 les franchissements ne commencent que lorsque la houle atteint 3 mètres.

### *2) Profils avec galets (stock minimum à + 7,00)*

Compte-tenu de la hauteur d'eau moyenne de [+ 10,75] les profils de galets sont peu modifiés. Le comportement de l'ouvrage est alors largement influencé par la pente du talus en enrochements (3/1 ou 3/2).

### *3) Profils avec galets (stock moyen à + 9,00)*

Le comportement global de l'ouvrage est à la fois influencé par l'ouvrage de haut de plage (pente et perméabilité) et par le cordon de galets. Pour les

## SESSION 1

houles les plus agressives dont la période est de 7 s ou 9 s, on constate la formation d'une plage suspendue à 15 m environ devant l'ouvrage. La cote de la partie basse s'établit vers la cote [+6,00] avec une variation dépendant du creux de la houle incidente.

### 4) Profils avec galets (stock maximum à 11,00)

Le comportement global de l'ouvrage est très influencé par le stock important de galets disponibles. La protection formée par la plage suspendue est maintenant située à 30 m devant les enrochements.

## IV - CONCLUSIONS

Ces essais effectués dans le profil ont permis de mieux comprendre la dynamique des galets et de visualiser les modes d'interaction entre la houle et la plage d'amortissement.

Quelles que soient les conditions de houle, les profils se sont avérés très stables et sous réserve de disposer d'un stock de galets suffisant (correspondant aux essais à + 9,00), la combinaison d'un ouvrage de haut de plage en enrochements et d'une plage de galets permet d'assurer une bonne protection du littoral. Cette solution s'avère satisfaisante.

Par contre, les essais du fait de leur principe même, houle régulière en canal, ne prennent pas en compte les effets de la marée ni du transit littoral ni de l'usure des galets par la houle.

L'intérêt d'un talus en enrochements à 3/1 par rapport à celui d'un talus à 3/2 n'apparaît que lorsque le cordon de galets s'est trouvé amaigri soit par transit littoral, soit par usure ou même par effet d'entraînement vers le large.

Ces études doivent être complétées par des études permettant de limiter le balancement des plages ou le transit littoral.

La constitution d'une défense souple en enrochements et galets doit permettre de résoudre une grande part des problèmes de défense du littoral Haut-Normand pourvu que l'on prenne garde :

- 1) à limiter les mouvements longitudinaux le long des plages (par exemple en y implantant des épis).
- 2) à contrecarrer les phénomènes d'usure et de perte des galets par des rechargements réguliers.

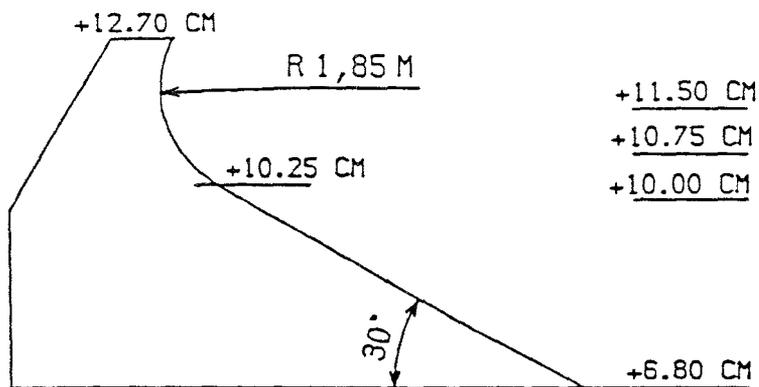


FIG. 1  
PROFIL PERRE EN BETON

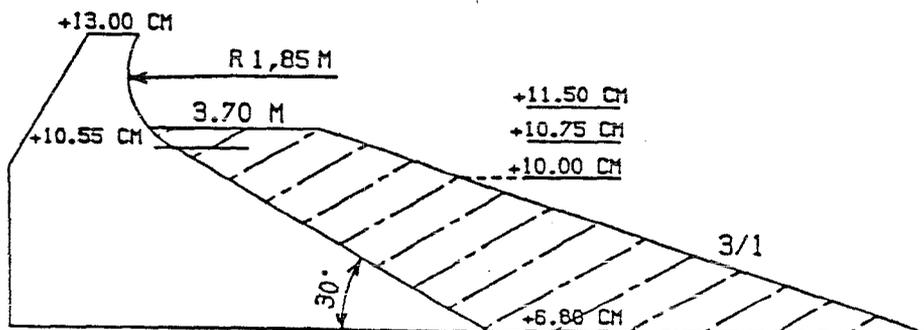


FIG. 2  
PROFIL MIXTE (+ 13.00/ + 11.00)

SESSION 1

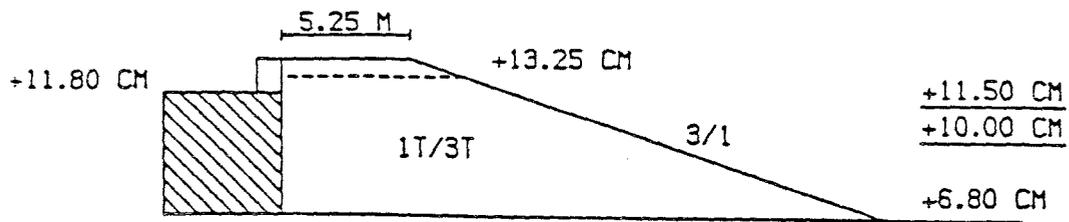


FIG. 3  
PROFIL EN ENROCHEMENTS 3/1 (+ 13.25)

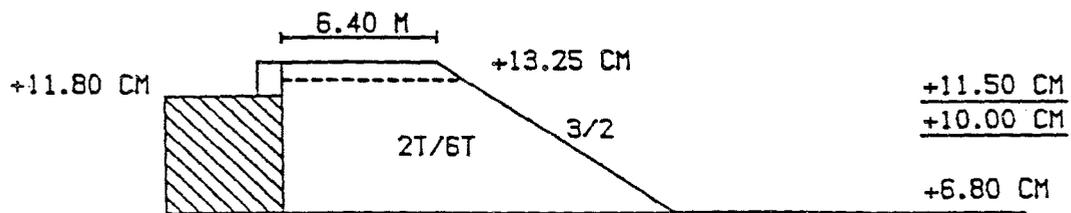


FIG. 4  
PROFIL EN ENROCHEMENTS 3/2 (+ 13.25)

TABLEAU I

## ENROCHEMENTS A 3/1

COTE DES GALETS	PERIODE HOULE ( s )	CREUX DE LA HOULE		MAXI ENREGISTREE ( m )	OBSERVATIONS  ( • limites de l'installation )
		Debut mvt. des galets ( m )	Debut de Franchissement ( m )		
[+7.00 CM]	5	2,1	NON	2,1	profil non modifié - malgré déferlement au large
	7	2,2	2,6	2,6	profil a peine modifié
	9	1,9	2,6	3,15	chutes d'enrochements - formation d'une plage suspendue a 6m devant l'ouvrage
	12	1,7	NON	2,1 •	profil peu modifié sauf formation en tete d'un bourrelet
[+9.00 CM]	5	1,5/2,1	NON	2,1	profil peu modifié - bourrelet en tete
	7	1,4	NON	2,85	profil creux a 20m devant l'ouvrage, rempli a proximite de celui ci
	9	1,0	2,25/3,65	3,65	stabilite limite du massif d'enrochements non franchi a 25m - houle tres agressive - plage suspendue a 15m devant l'ouvrage
	12	1,25	2,2	2,2 •	plage suspendue devant l'ouvrage protegee par des enrochements de l'essai precedent
[+11.00 CM]	5	0,6	NON	2,25	profil peu modifié dans l'ensemble
	7	0,7/1,4	NON	3,7	interaction profil-déferlement - formation plage suspendue a 30m devant l'ouvrage - bourrelet en crete
	9	0,8/1,4	NON	3,55	amoncellement de galets en tete d'ouvrage - plage suspendue
	12	0,6/1,9	3,4	3,44	formation d'un bourrelet de haut de plage jusqu'a une houle de 1,8 m franchissement facilite par la presence du galet (mise en vitesse)

TABLEAU II

ENROCHEMENTS A 3/2

COTE DES GALETS	PERIODE HOULE	CREUX DE LA HOULE		MAXI ENREGISTREE	OBSERVATIONS ( • limites de l'installation )
		Debut nvl. des galets	Debut de Franchissement		
[+7.00 CM]	5	1,95	NON	3,20	profil peu modifié
	7	2,1	2,1	3,90	profil érodé présentant une barre de 3m de haut a 15m devant l'ouvrage
	9	1,5	3,5	3,60	profil avec un creux a 15m devant l'ouvrage
	12	1,6	NON	2,35 ▲	profil non modifié
[+9.00 CM]	5	1,4	NON	3,70	profil peu modifié
	7	1,4	NON	3,30	pas de franchissement-formation d'une plage suspendue devant l'ouvrage
	9	0,4	3,1	3,40	formation d'une plage suspendue a 15 m devant l'ouvrage
	12	1,5	3,0	3,20	formation d'une plage suspendue a 15 m devant l'ouvrage
[+11.00 CM]	5	0,6	NON	2,90	profil a peine modifié
	7	0,7	NON	2,90	décrochement a 30m de l'ouvrage
	9	0,7/1,5	NON	2,80	plage suspendue a 30m de l'ouvrage
	12	1,2	2,3	2,70	formation d'un bourrelet de haut de plage jusqu'a une houle de 1,0 m franchissement facilité par la présence du galet (mise en vitesse)

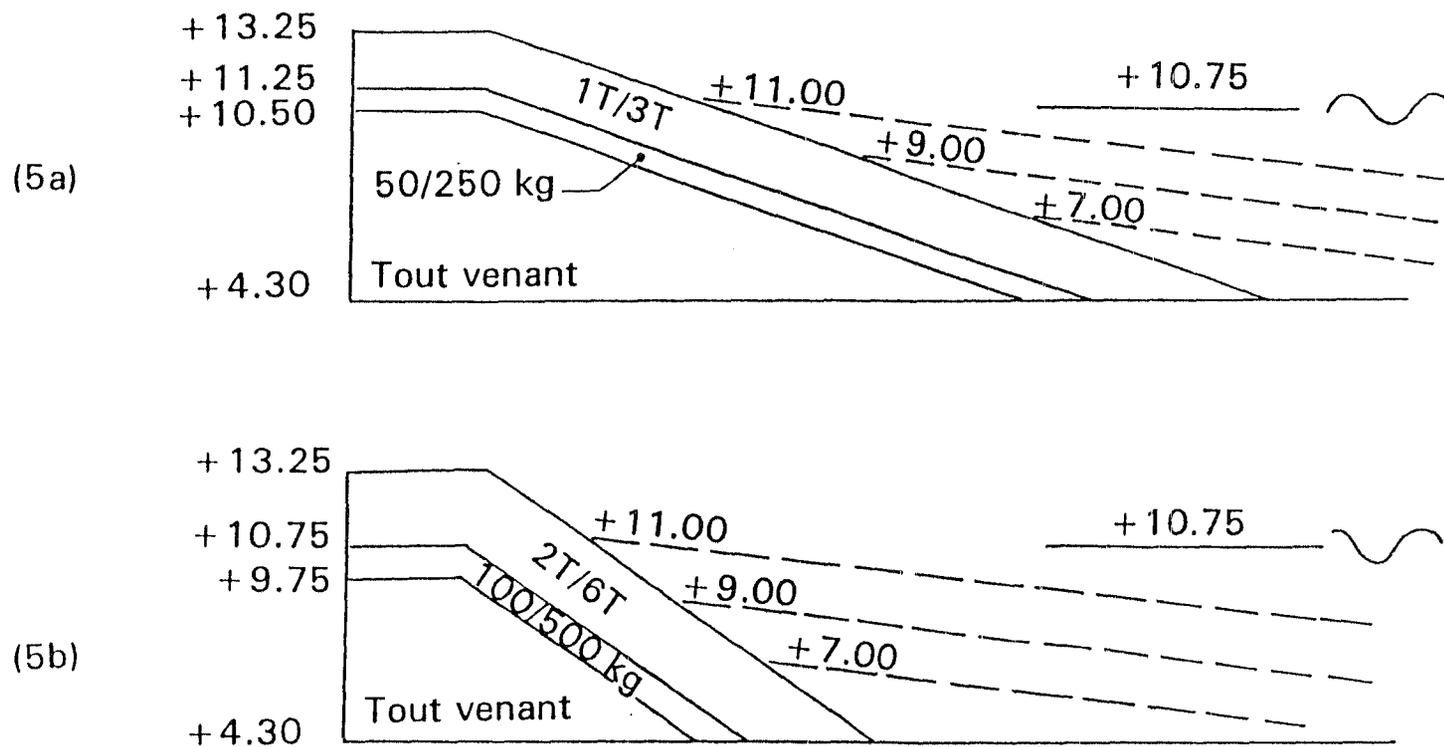


FIG. 5 : PROFILS DES DIFFERENTS ESTRANS DE GALETS

(5a) Enrochement à 3/1,

(5b) Enrochement à 3/2

————	Profil initial			
-----	Essai n° 65	T = 9 s	H = 3,10 m	: Enrochement 3/1
- . - . - .	Essai n° 66	T = 9 s	H = 3,40 m	: Enrochement 3/1
— — — —	Essai n° 164	T = 9 s	H = 2,25 m	: Enrochement 3/2
●●●●●●	Essai n° 165	T = 9 s	H = 3,65 m	: Enrochement 3/2

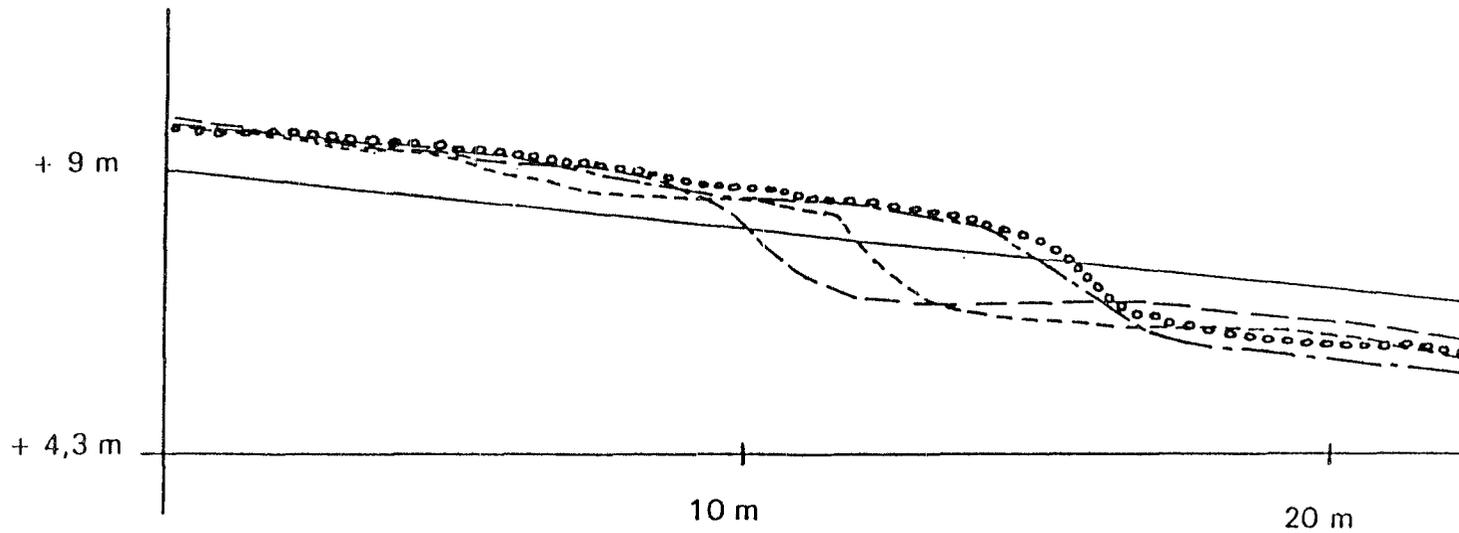


FIG. 6 : EXEMPLE D'EVOLUTION  
TRANSVERSALE DU CORDON DE GALETS