

ETUDE DU GLISSEMENT DU BOUFFAY (5 AOUT 1981) : REFLEXIONS EN VUE DE LA PREVISION ET DE LA PREVENTION

O. MAQUAIRE⁺, P. GIGOT⁺⁺ et J.L. BALLAIS⁺

⁺ C.R.E.G.E.P.E., Université de Caen, Sous-sol Faculté de Droit - 14032 CAEN CEDEX
⁺⁺ Laboratoire de Géologie structurale, Université - 14032 CAEN CEDEX

RESUME : Le glissement du Bouffay fait partie des manifestations d'instabilité des falaises du Bessin (Calvados). Le 5 août 1981, à 20 h 05, $1,5 \times 10^6$ m³ de marnes de Port, calcaires du Bessin et argiles et grès du Planet glissent, formant une partie effondrée derrière une partie déplacée horizontalement qui a soulevé et cisailé l'estran. Les calculs de stabilité à partir d'un modèle en poussée et butée et d'un modèle par la méthode des perturbations sur une surface de glissement non circulaire montrent que 5 m de recul du pied de falaise (soit le 1/4 du recul pour la période 1809-1975) font varier le coefficient F de sécurité de 3 à 5%. La prévention nécessite de nombreuses études complémentaires.

Mots-clefs : glissement, falaise, prévention, Normandie

ABSTRACT : The slump of Le Bouffay is one of the movements that occurs in the cliffs of the Bessin (Calvados-France). On the 5th of August 1981, at 20 h 05, $1,5 \times 10^6$ m³ slip. They are made with marls of Port, limestones of the Bessin and clays and sandstones of the Planet. They form a collapsed part behind an horizontally moved one that lifts and shears the strand. Calculations of stability are made on two models : one model of "poussée et butée" (push and thrust ?) and one model by the method of perturbations on a non circular slip plane. They prove that the security coefficient F decreases of 3 to 5% when the foot of the cliff moves 5 m backwards. Several studies are necessary to foresee and prevent new slips.

Key-words : slump, cliff, prevention, Normandie

Le glissement du Bouffay, à 2 km à l'Est de Port-en-Bessin, à la limite des communes de Longues-sur-Mer et de Commes, fait partie des nombreuses manifestations d'instabilité des falaises du Bessin, entre Grandcamp et Arromanches (fig.1). Dans cette étude, nous nous proposons de décrire le mouvement du 5 août 1981 et de le replacer dans son contexte d'instabilité mécanique et historique afin de permettre la prévention de futurs glissements.

I - DESCRIPTION DU MOUVEMENT.

1. Le glissement du Bouffay intéresse la falaise du Bessin sur 350 m de long. Il a emporté le chemin rural n° 3, orienté Nord-Sud et le chemin de Ronde orienté Est-Ouest (fig. 2).

2. Le mouvement majeur a lieu brutalement le 5 août 1981 à 20 h 05. Il fait suite à une déformation continue dont les premières manifestations sont observées sur le plateau à partir d'avril 1981 :

- 18-19 avril 1981 : fissuration très fine sur le chemin de Ronde (observations de M. Guillaume, géologue BRGM, en vacances à Commes),

- 7 juin 1981 : fissuration selon une ligne continue bien visible correspondant à la limite externe du glissement,

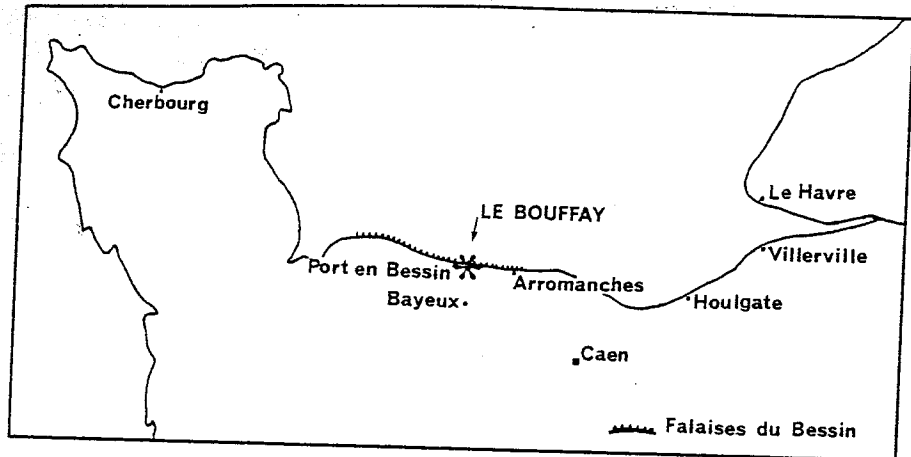


Fig. 1 : Localisation du Bouffay.

- 7 juillet 1981 : fissures d'une largeur de 2 à 3 cm, apparition d'une légère déclivité,
- 25 juillet 1981 : la déclivité atteint 15 cm sur le chemin rural n° 3,
- fin juillet 1981 : la déclivité atteint localement 80 à 100 cm et la largeur des fissures 5 cm (observation d'un exploitant agricole),
- 5 août 1981 : la déclivité aurait augmenté et, en fin d'après-midi, des "rochers" se seraient détachés de la falaise; vers 19 h, les estivants ont déserté la plage.

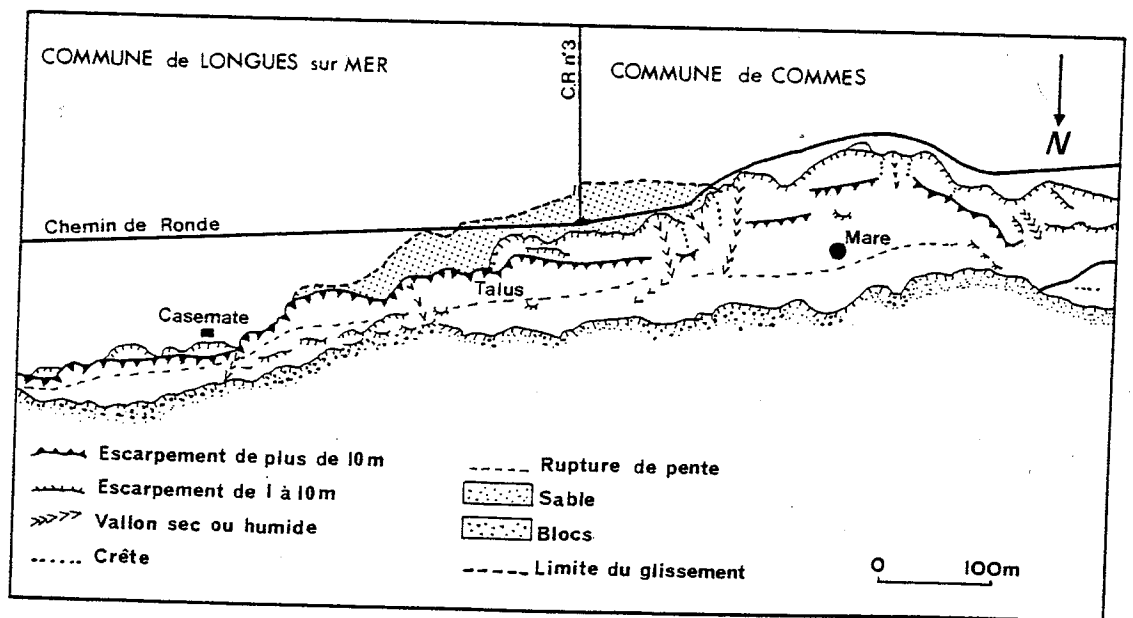


Fig. 2 : Le site du glissement du Bouffay.

Le mouvement majeur a lieu à 20 h 05. Les témoignages sont variables, parfois contradictoires. Quelques témoins ont vu le sol s'enfoncer d'un bloc, presque sans bruit et sans secousse, d'autres avec un bruit épouvantable.

Sur le chemin, des enfants à vélomoteur ont juste eu le temps d'évacuer les lieux alors que le chemin commençait à se dérober. Un groupe de pêcheurs a vu "la falaise avancer" tandis que la mer était agitée et que jaillissaient des

"gerbes plus hautes que la falaise" ("geysers"). Dans le même temps, l'estran se soulevait pour former une barrière de plusieurs mètres de hauteur. Au loin, le phénomène est visible par un immense nuage de poussière.

Le glissement n'a pas surpris les responsables à tous les niveaux, aussi bien locaux (mairie bien informée par les agriculteurs) que départementaux (DDE, protection civile). Plusieurs jours avant, l'information des estivants, en particulier usagers du chemin de Ronde, et l'intervention des gendarmes pour empêcher le camping sauvage ont certainement évité en cette période touristique qu'on ait à déplorer des victimes.

3. Le contexte géologique.

La succession lithologique impliquée dans les glissements des falaises du Bessin comporte, de bas en haut, les termes suivants (fig. 3) :

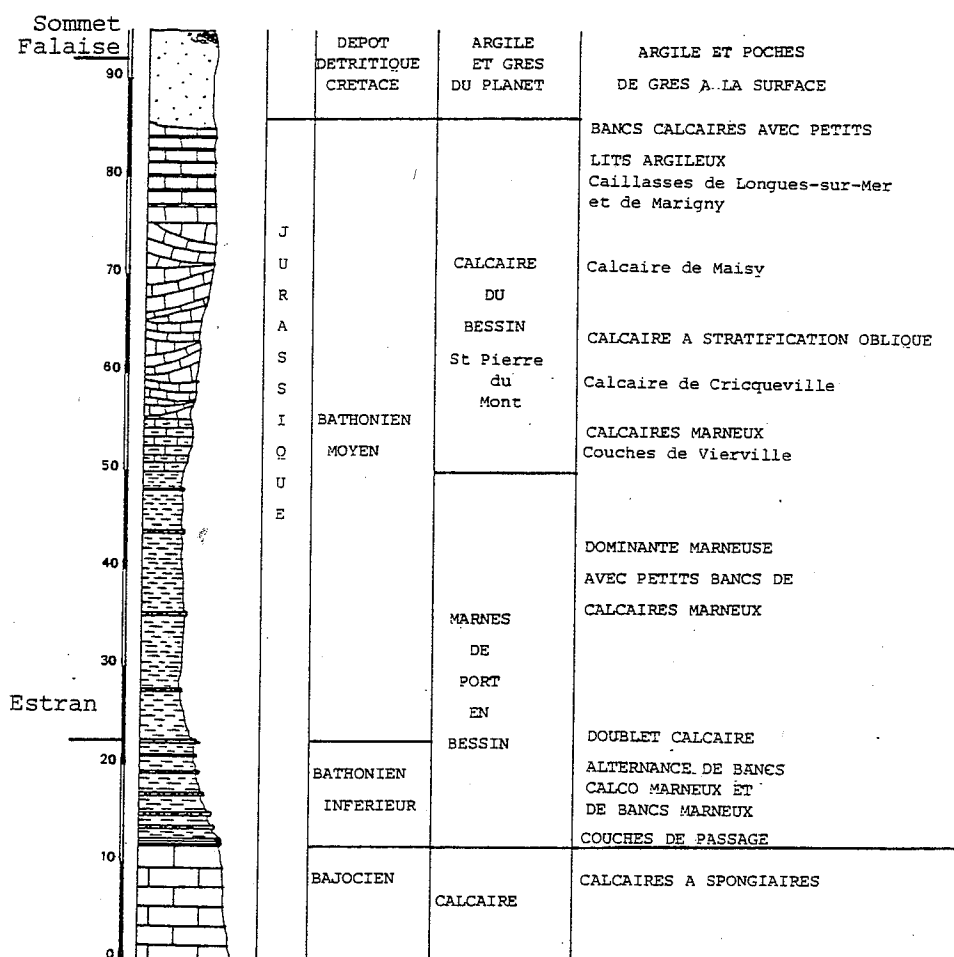


Fig. 3 : La succession lithologique.

- les calcaires à Spongiaires (Bajocien) dont le toit, au niveau du Bouffay, se situe à 10 m environ sous l'estran. Ils constituent une assise qui peut être considérée comme rigide et non déformée. Ces calcaires sont le siège, notamment à Port-en-Bessin, d'une importante circulation karstique empruntant un réseau de fractures assez dense, entre la perte de la rivière l'Aure, au Sud, et les résurgences bien connues sur l'estran de Port (fig. 4). Cette circulation met en charge la nappe des calcaires à Spongiaires à un niveau qui, au Bouffay, peut être estimé à 10 m au-dessus du toit de ces calcaires (nappe captive). Son battement

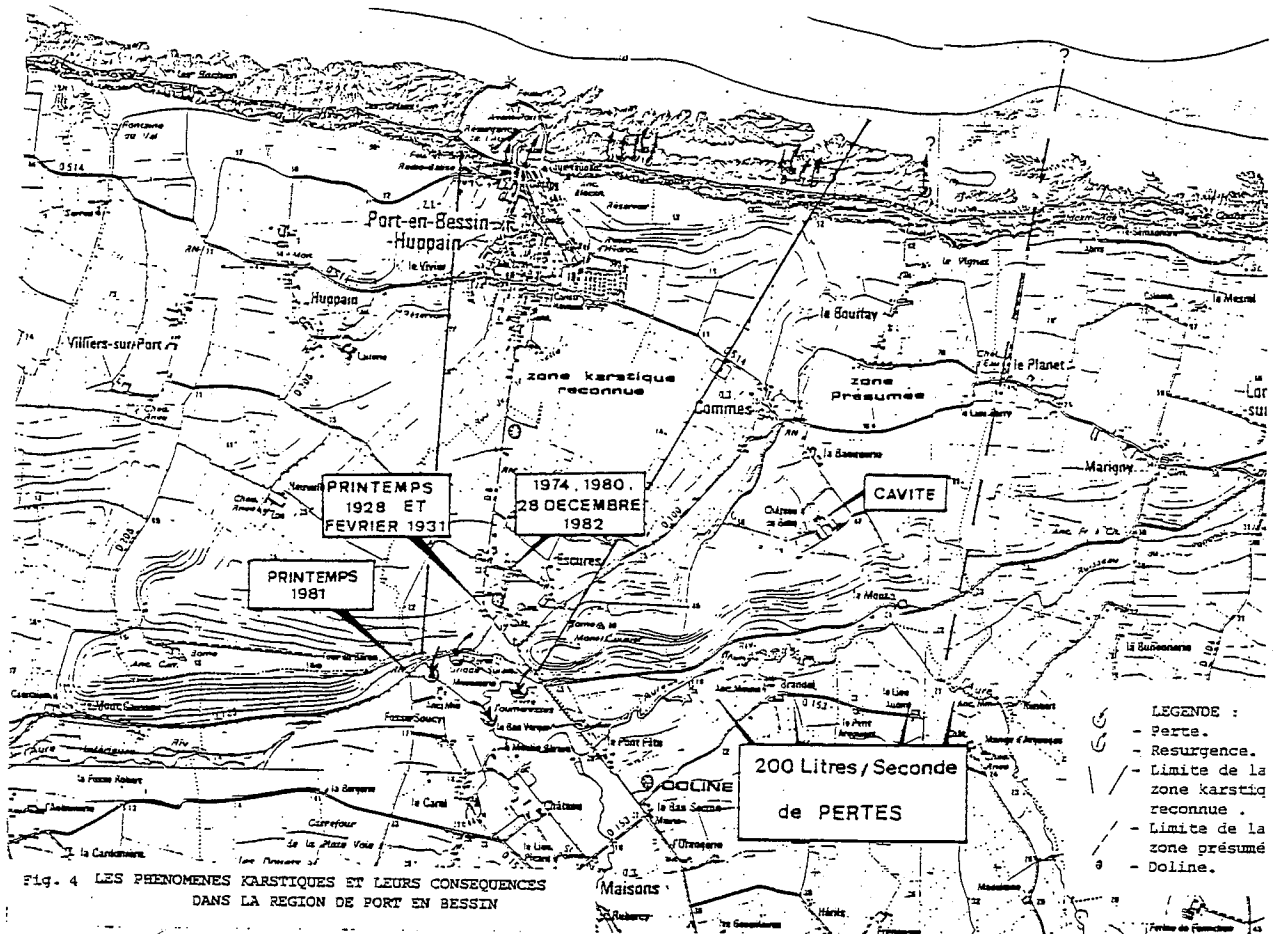


Fig. 4 LES PHENOMENES KARSTIQUES ET LEURS CONSEQUENCES
DANS LA REGION DE PORT EN BESSIN

peut, quant à lui, être estimé à ± 2 m (indications orales de M. Lemoine, ingénieur SRAE, Caen);

- les marnes de Port-en-Bessin (Bathonien inférieur et moyen) ont une épaisseur de 40 m environ. Elles sont "armées" dans les 10 premiers mètres par de petits bancs calcaires. Au niveau du Bouffay, l'estran est normalement constitué par le dernier de ces bancs (doublet calcaire). A la faveur des déformations (plis, minichevauchements) liées au glissement du 5 août, ces bancs ont été remontés et montrent clairement que la surface basale du glissement doit se situer à la base des marnes de Port-en-Bessin;

- au-dessus, apparaissent les calcaires du Bessin (Bathonien moyen), épais de 35 m environ, assez intensément fracturés : la fracturation d'origine tectonique, répartie en trois grandes familles, respectivement N 10 à 20°, N 90°, N 155°, est clairement élargie à la faveur de la décompression de la falaise, l'ouverture des fractures pouvant atteindre facilement 10 cm, notamment dans la famille N 90°. Une nappe de faible importance alimente quelques sources au pied de l'escarpement calcaire;

- les argiles et grès du Planet (Crétacé), épais de 10 m environ, couvrent cette succession.

4. Etat de la falaise avant le glissement (fig. 2) :

D'après les photographies aériennes de 1972, le profil de la falaise se composait, de haut en bas : d'un talus supérieur, en pente douce, d'un escarpement de 10 à 15 m de commandement (arrière-falaise) et d'un talus convexo-concave

se terminant par une microfalaise basale, haute de quelques mètres. Sur ce talus, on pouvait observer des contrepenches provoquées par de petits glissements rotationnels, mais le site ne portait aucune trace, ni en forme, ni en importance, d'un glissement plan comparable à celui du 5 août.

5. Morphologie actuelle du glissement (fig. 5 et 6a et b) :

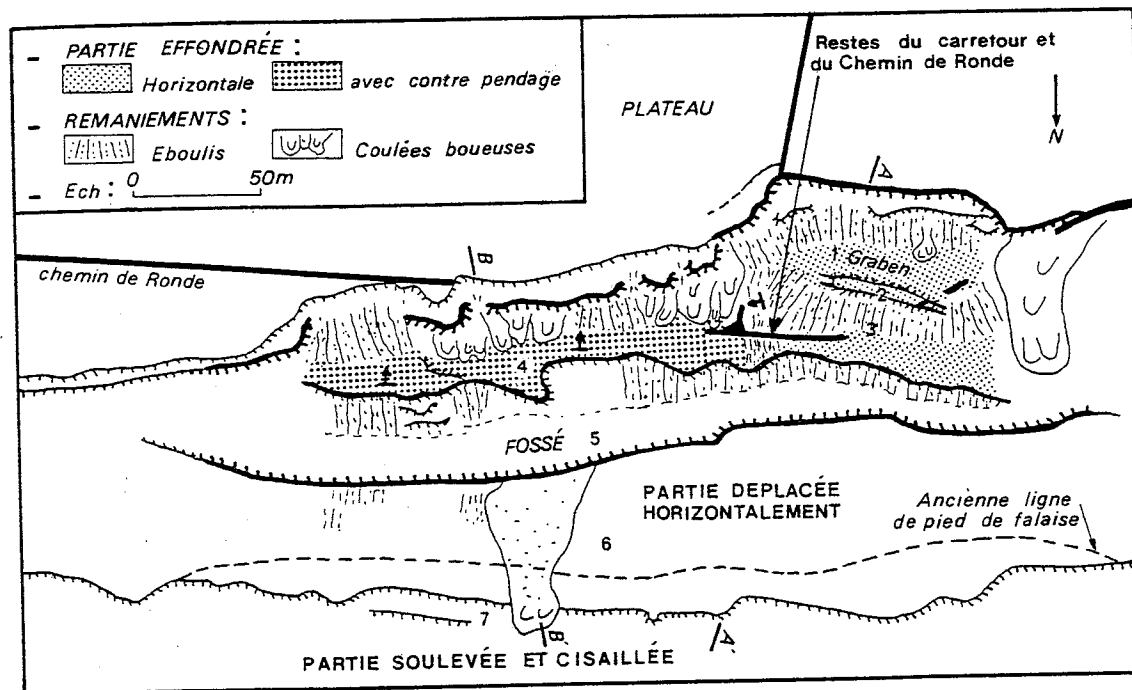


Fig. 5 : Topographie du glissement.

Le plateau a été entamé sur une longueur de 350 m et sur une cinquantaine de mètres de largeur au maximum (fig. 2).

La limite externe a grossièrement une forme en arc de cercle avec un tronçon de direction E-W à l'Ouest du chemin rural n° 3. A l'Est de celui-ci, la limite externe est nette, une ligne sinueuse d'orientation N-NE devient tangente à l'arrière-falaise qui n'a pas bougé. Par contre, la limite occidentale est très floue, en raison de l'abondante végétation qui masque le sol.

Le chemin de Ronde a été entraîné et nous en retrouvons des traces 10 à 15 m en contrebas du plateau.

La morphologie du glissement peut être divisée en trois grands ensembles :

- une zone déplacée horizontalement : cette zone d'une soixantaine de mètres de largeur a subi un déplacement horizontal vers le Nord de 25 m au maximum, s'atténuant sur les côtés. Elle est limitée, au Sud, par un escarpement orienté à peu près W-E, d'une vingtaine de mètres de commandement au maximum. Elle a subi peu de dommages importants, seules quelques fissures ouvertes, peu profondes, et des décrochements de blocs calcaires et marneux l'affectent;

- en arrière de la zone déplacée horizontalement, une zone effondrée se présente sous deux aspects distincts :

- dans la partie occidentale, cette zone, large d'environ 80 m, comporte des pans aux surfaces horizontales (fig. 6a),

- dans la partie orientale, la zone effondrée, large d'environ 40 m, comporte un pan présentant un contre-pendage de quelques degrés (fig. 6b);

- à l'avant de la zone déplacée horizontalement, une zone soulevée et cisailée lors du glissement. Le platier a été soulevé, les premiers indices ap-

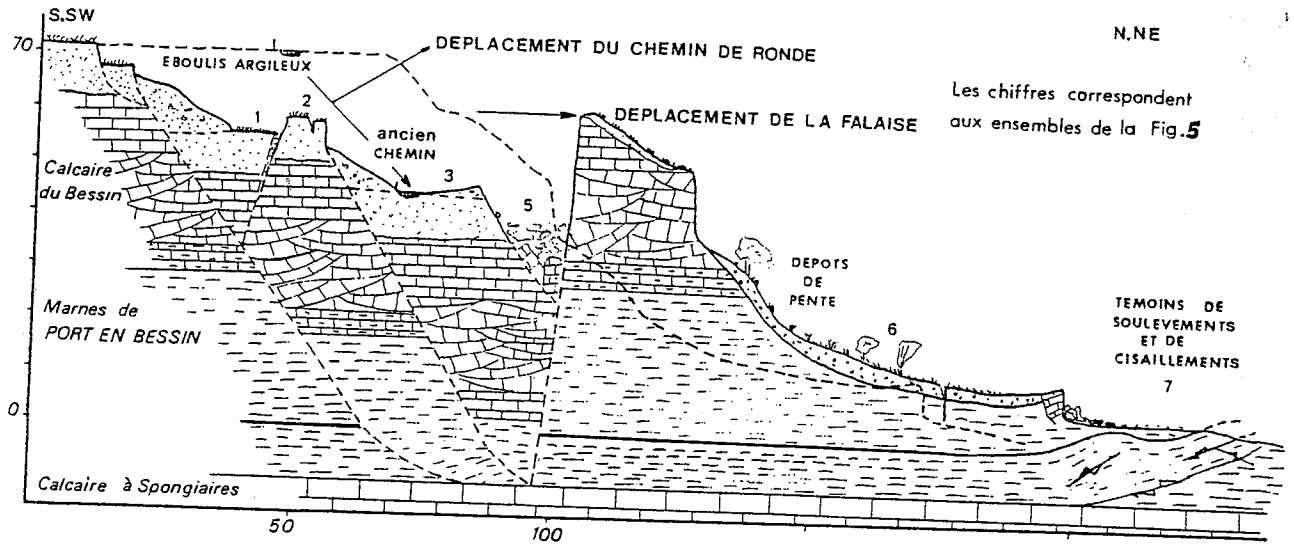


Fig. 6a : Coupe AA'.

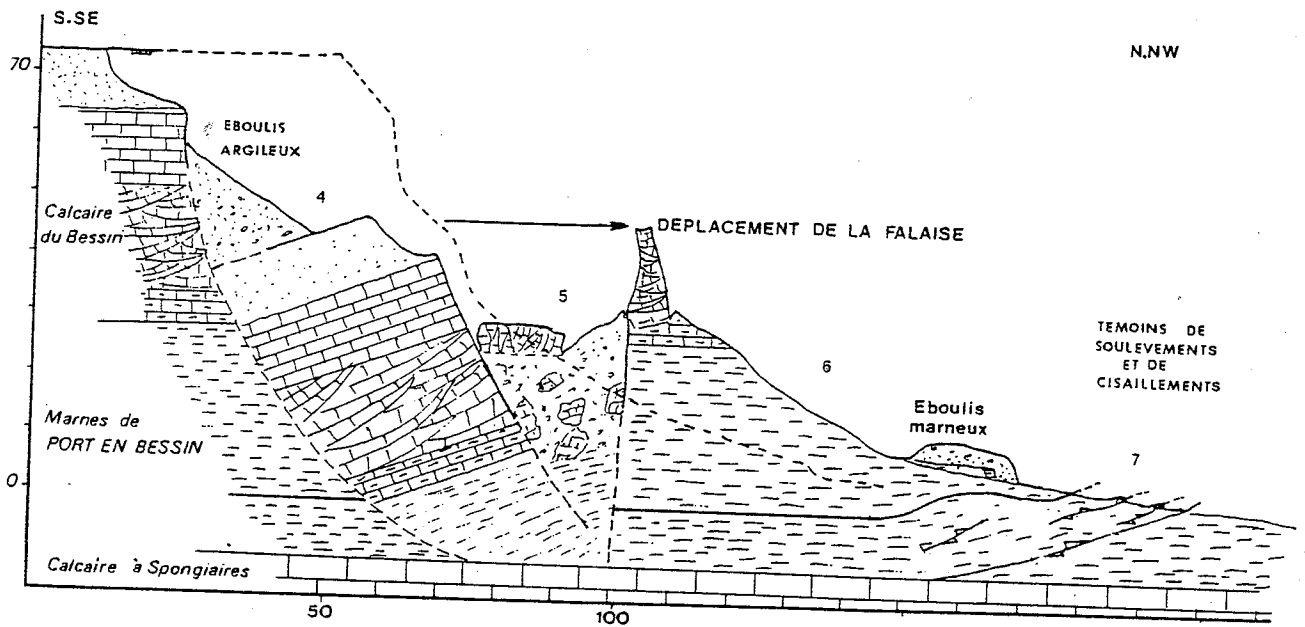


Fig. 6b : Coupe BB'.

paraissent à 220 m à l'Est de l'escalier d'accès à la plage et ils se poursuivent sur 570 m environ. Le soulèvement n'est pas identique partout : la partie orientale a été fortement soulevée de 7 à 8 m mais, en moyenne, le soulèvement est de l'ordre de 2 à 4 m. Des bourrelets constitués de blocs hétérométriques de calcaires et de marnes délimitaient des mares d'eau de mer. A l'heure actuelle, à marée basse, on peut distinguer soit des ondulations (mini-plis) d'amplitude métrique, soit des cisaillements bancs sur bancs (mini-chevauchements).

II - L'INSTABILITE DE LA FALAISE DU BOUFFAY PAR RAPPORT A SES CARACTERISTIQUES MECANIQUES ET GEOMETRIQUES.

1. Les caractéristiques mécaniques des ensembles lithologiques :

1.1. On a considéré que les calcaires du Bessin n'avaient aucun rôle dans la résistance du massif au cisaillement, le long des surfaces de glissement. Cette hypothèse de travail est certainement justifiée par le nombre important des fractures subverticales, en particulier E-W. Nombre d'entre elles apparaissent ouvertes dans la falaise actuelle.

1.2. Les marnes de Port-en-Bessin ont fait l'objet de quelques essais mécaniques, malheureusement trop peu nombreux. On en retiendra que :

- la composition minéralogique des marnes montre un pourcentage de 80 à 85% de smectites (argiles gonflantes) et 15 à 20% d'illite;

- la teneur en carbonates varie entre 35 et 60%, autour d'une moyenne qui se situe à 50%;

- la fraction fine inférieure à 2μ oscille autour de 50%;

- les limites d'Atterberg montrent, en moyenne, une limite de liquidité (W_L) de 50%, une limite de plasticité (W_p) de 27% et un indice de plasticité (I_p) de 23. Les marnes de Port-en-Bessin ont un comportement plastique et moyennement compressible;

- les essais oedométriques donnent les valeurs moyennes suivantes : indice des vides initial (e_0) = 0,76, pression de préconsolidation (σ_c) = 120 kPa, indice de compression (C_c) = 0,19;

- les essais de cisaillement ont été malheureusement trop peu nombreux. On obtient en essai rapide UU (pour mémoire) un angle de frottement interne de 28° à 37° et une cohésion C de 50 à 110 kPa. L'essai lent CD donne $\varphi' = 18^\circ$, $C' = 160$ kPa et l'essai lent alterné donne $\varphi_{rés.} = 16^\circ$ et $C'_{rés.} = 0$ kPa.

Ces valeurs sont à rapprocher de celles obtenues sur les argiles oxfordiennes de Villerville (Est du Calvados), de l'ordre de $\varphi' = 18^\circ$ et $C' = 0$ kPa (M. Voïment, CETE Rouen Centre, communication orale). Les modélisations qui suivent et qui ont été effectuées pour plusieurs combinaisons (φ' , C') nous amènent à retenir les caractéristiques à long terme $\varphi' = 18^\circ$ et $C' = 10$ kPa. Ce résultat, s'il n'est pas vraiment étonnant, demande une explication ultérieure pour ce qui concerne la cohésion. Pourquoi la cohésion in situ s'éloigne-t-elle des 160 kPa de l'essai CD pour se rapprocher de la cohésion nulle de l'essai alterné, alors que le glissement du Bouffay ne peut pas être considéré comme une reprise d'une surface de rupture ancienne (exemple : Villerville) ? Ce point d'interrogation devra faire l'objet de recherches plus approfondies.

2. Les modèles utilisés :

Nous avons modélisé le glissement du Bouffay dans plusieurs buts. D'une part, il s'agit d'établir une justification par le calcul des mécanismes cinématiques suggérés à partir des observations de surface : à savoir, un glissement pratiquement plan horizontal d'une partie médiane de la falaise, sous l'effet d'une poussée d'une partie arrière qui s'effondre en horsts et grabens avec mouvements rotationnels ou non rotationnels, malgré la présence d'une dizaine de mètres d'épaisseur de marnes offrant une résistance en butée, matérialisée à la rupture par les plis et cisaillements plats. L'hypothèse faite est justifiée si, pour un choix raisonnable de φ' et de C' , le coefficient de sécurité F est proche de 1, ce qui est le cas.

D'autre part, il s'agit de montrer l'influence sur la stabilité, par l'

intermédiaire des variations de F , de deux facteurs essentiels intervenant, outre le profil de la falaise, à savoir le recul du pied de falaise par ablation qui a pour conséquence une diminution de la résistance au glissement, et une variation du niveau de la nappe des calcaires à Spongiaires.

Dans la réalité, nous avons été amenés à étudier deux modèles à priori très différents quant à la démarche utilisée pour le calcul de F . Mais, en fait, ces deux modèles donnent au point d'interrogation énoncé précédemment des réponses extrêmement proches.

2.1. Le premier modèle est un glissement non circulaire (fig. 7a) dont la stabilité est calculée sur ordinateur par la méthode des perturbations (grâce

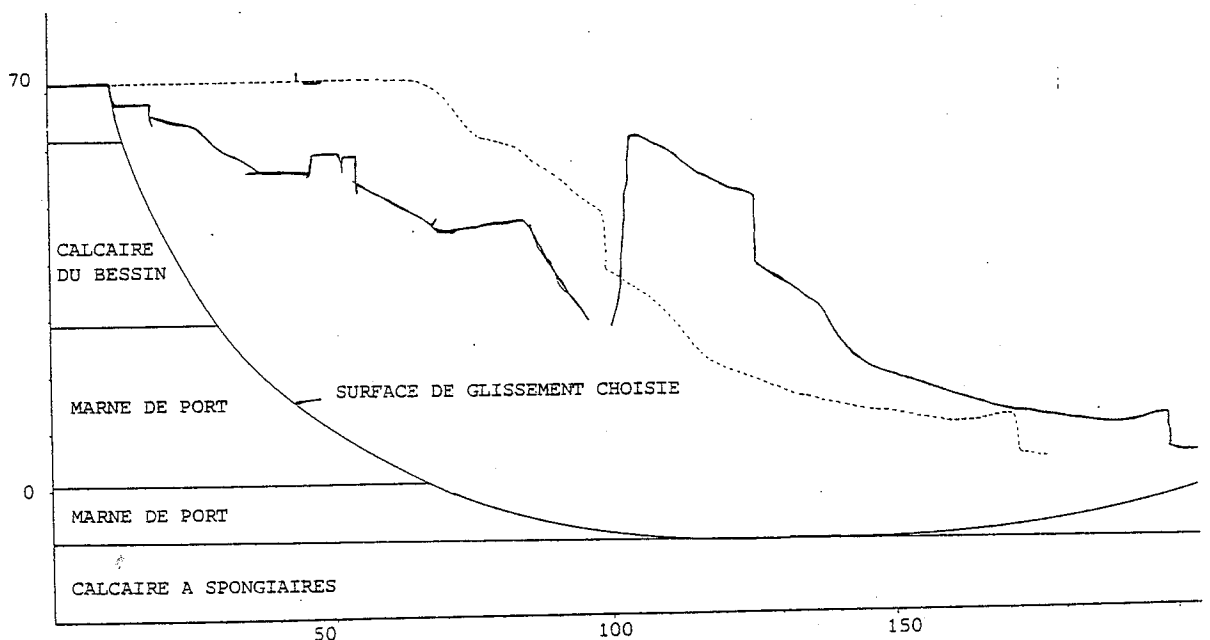


Fig. 7a : Surface de glissement choisie.

à la collaboration du CETE de Rouen Centre, que nous tenons à remercier particulièrement). Ce modèle est satisfaisant par la forme continue de la surface de glissement. Par contre, il n'intègre pas la présence de déformations internes observées (effondrements, cisaillements plats et plis). Ce modèle envisage donc une seule surface de glissement à courbure légèrement variable, plongeant à 60° environ en amont et se rapprochant de la surface horizontale sous la partie médiane, remontant enfin doucement vers l'estran.

On obtient, pour $\varphi' = 18^\circ$ et $C' = 10$ kPa, $F = 0,976$.

Une élévation de 2 m du niveau de la nappe provoque une variation de F de 2%.

2.2. Le second modèle, poussées, butée et glissement plan (fig. 7b) est moins réaliste que le précédent au niveau de la surface de glissement, mais présente l'avantage d'intégrer dans le calcul même les déformations observées : déformation en poussée de la partie amont du glissement, avec horsts et grabens,

déformation en butée de l'estran avec plis et cisaillements plats.

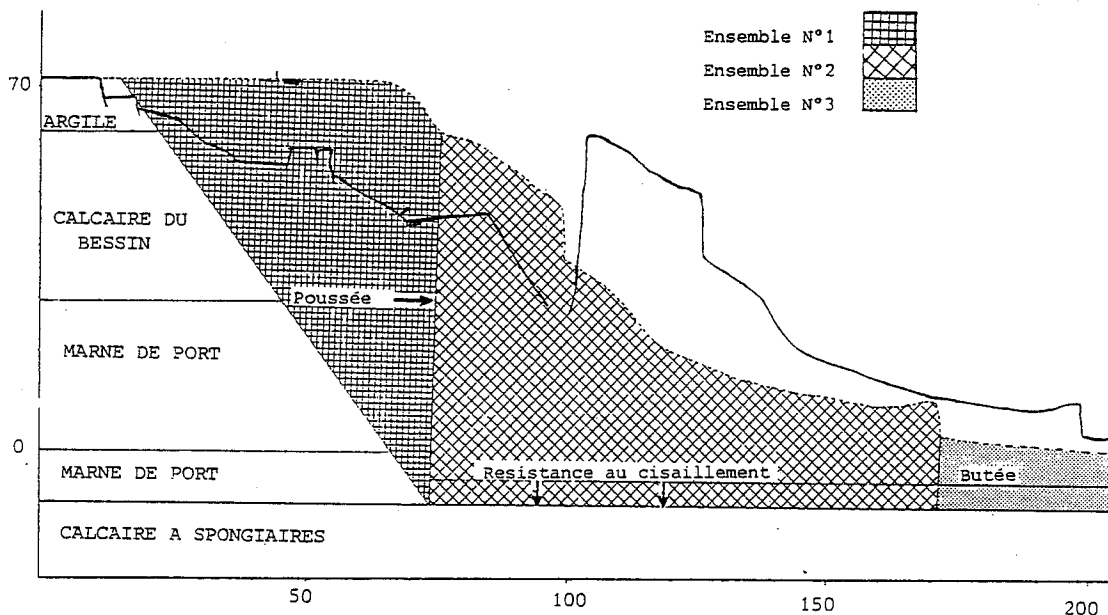


Fig. 7b : Délimitation des ensembles pour le calcul de poussée-butée.

Dans l'hypothèse $\gamma' = 18^\circ$ et $C' = 10$ kPa retenue pour le modèle précédent, on obtient ici $F = 1,06$. On notera que les deux résultats comparés encadrent donc parfaitement, compte tenu de la précision des autres paramètres (exemple : profil topographique reconstitué avant glissement), le coefficient de sécurité limite $F = 1$.

Dans ce second modèle, l'élévation du niveau de la nappe de 2 m se traduit par une variation de F de l'ordre de - 3%. Une diminution de largeur de 10 m de l'ensemble intermédiaire par recul du pied de falaise se traduit par une variation de F de - 9%.

3. Conclusions :

On peut donc retenir des deux modélisations effectuées deux conclusions :

3.1. La cinématique du glissement est bien celle d'un glissement à peu près plan avec rupture en poussée à l'arrière, en butée à l'avant (modèle 2), la surface limite de glissement se rapprochant certainement d'une surface continue (modèle 1).

3.2. L'influence relative des deux facteurs d'instabilité : recul du pied de falaise, élévation saisonnière du niveau de la nappe captive des calcaires à Spongiaires, est représentée schématiquement sur la figure 8. Rappelons, pour mémoire (cf. ci-dessous), qu'on peut évaluer le recul moyen de la falaise du Bessin, dans la région du Bouffay, à au moins 10 m par siècle.

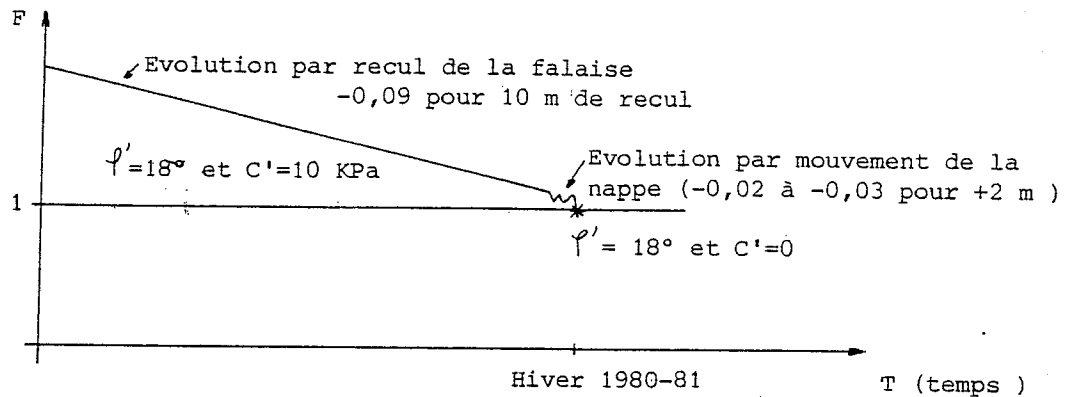


Fig. 8 : Evolution du coefficient de sécurité.

III - L'INSTABILITE DE LA FALAISE AU REGARD DE SON EVOLUTION HISTORIQUE.

Le glissement du Bouffay a été trop souvent présenté comme un événement unique, voire exceptionnel. Pourtant, l'examen de la falaise entre Port-en-Bessin et Arromanches permet de reconnaître de nombreuses empreintes de glissements dont les dates ont été retrouvées grâce à des cartes postales, des photographies aériennes, des ouvrages anciens, la presse locale et les fichiers des archives départementales (série S : service des mines, série O : administration, service de la voirie, série P : problèmes fiscaux du cadastre,...). Il a été possible de recenser une douzaine d'événements d'importance très inégale entre Port-en-Bessin et Longues-sur-mer, depuis le milieu du XVIII^{ème} siècle (fig. 9), depuis le grand glissement du 25 septembre 1859 (300 m x 25 m) jusqu'aux éboulements de blocs en février 1978, en passant par les petits glissements de mars 1977.

Il apparaît ainsi que, statistiquement, la période de l'année la plus favorable à l'instabilité va de septembre à mars (c'est à priori logique, mais rappelons que le glissement du Bouffay s'est produit au mois d'août).

D'autre part, le recul du trait de côte a été apprécié par comparaison entre les cadastres de la période allant de 1809 à 1975 (fig. 10). Malgré l'imprécision des plans cadastraux, il apparaît que, pendant cette période, le recul moyen du pied de falaise, au droit du Bouffay, atteint 20 m. On comprend facilement comment un tel recul peut entraîner irréversiblement une instabilité compte tenu des ordres de grandeur des modèles calculés précédemment.

Au regard de cette évolution, si l'on examine la fig. 10 dans un esprit de prospective, on constate que le glissement du 5 août 1981 correspond à une zone en fort recul au niveau du pied de la falaise. Dans les autres secteurs, la corrélation entre l'avancée du pied de falaise et le recul du sommet de la falaise est due aux glissements intervenus entre temps. Deux zones en danger apparaissent immédiatement : d'une part, la zone située juste à l'Ouest du sémaphore (fort recul du pied de falaise) et, d'autre part, à un moindre degré, la zone du chaos de Longues. Ce pronostic doit évidemment être confronté avec une modélisation établissant les coefficients de sécurité actuels.

IV - PROPOSITIONS POUR UNE PREVENTION.

Ce grand glissement n'a eu, fort heureusement, que des implications économiques et humaines limitées à la perte de terroir agricole.

A l'avenir, il n'y a pas de grande menace immédiate liée à la présence de constructions voisines de la falaise, cependant la vigilance des autorités doit être encouragée au niveau des décisions des P.O.S..

Les risques concernant les personnes ne sont pas négligeables, en par-

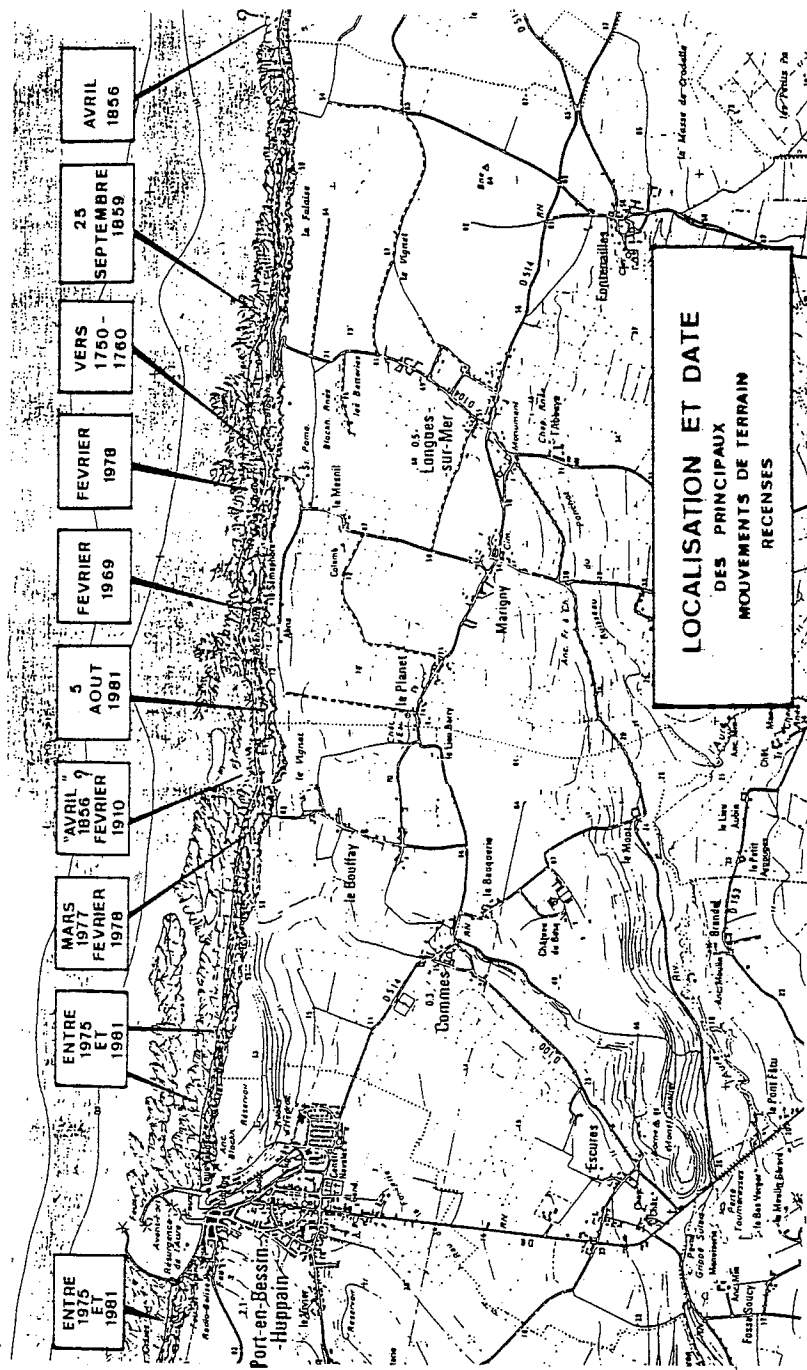


Fig. 9.

ticulier pour les pêcheurs à pied et les promeneurs et baigneurs menacés aussi bien par les petits glissements que par les grands. De ce point de vue, et malgré les efforts d'information, ce fut une chance que le glissement ait eu lieu le soir.

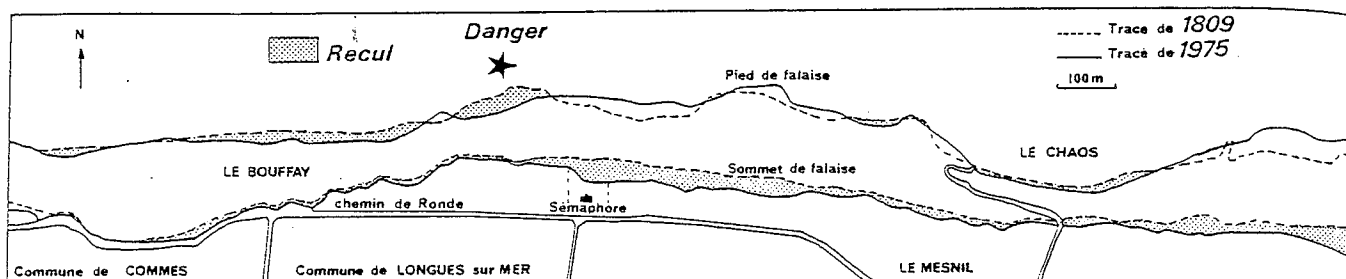


Fig.10 : Le recul du trait de côte de 1809 à 1975.

Il faut, compte-tenu de ces risques, envisager une prévision à long terme des grands glissements des falaises du Bessin. Cette prévision peut être menée complémentairement à partir des caractéristiques topographiques, mécaniques et hydrologiques de la falaise et de son évolution historique.

Cette prévision nécessite, à notre avis, et dans l'ordre des moyens exigés croissants :

- une meilleure connaissance de l'évolution historique par l'étude systématique des archives et des cadastres;
- un suivi régulier de l'évolution morphologique de la falaise, par exemple annuel, au moyen de photographies aériennes obliques, par exemple;
- l'identification des principaux mouvements de terrain en fonction de la configuration de la falaise, à l'exemple de ce qui a été réalisé au Bouffay;
- des calculs de stabilité sur les profils de falaise les plus sensibles pour une évaluation quantitative des risques (coefficient de sécurité, forme et importance des glissements prévisibles). Ces calculs impliquent :
 - une amélioration de la connaissance précise de la topographie (photogrammétrie ou levés),
 - une étude plus fine des propriétés mécaniques et physiques des marnes de Port-en-Bessin (sondages et essais mécaniques),
 - une meilleure connaissance des caractéristiques et du régime des nappes (piézomètres),
 - une évaluation du transit sédimentaire côtier et une mise en évidence des secteurs les plus exposés à l'ablation par les houles et les courants (facteurs conditionnant la résistance du pied de falaise en butée).

Une étude systématique approfondie dans ce sens est actuellement en cours d'élaboration au CREGEPE de l'Université de Caen (3ème cycle d'Olivier Maquaire).