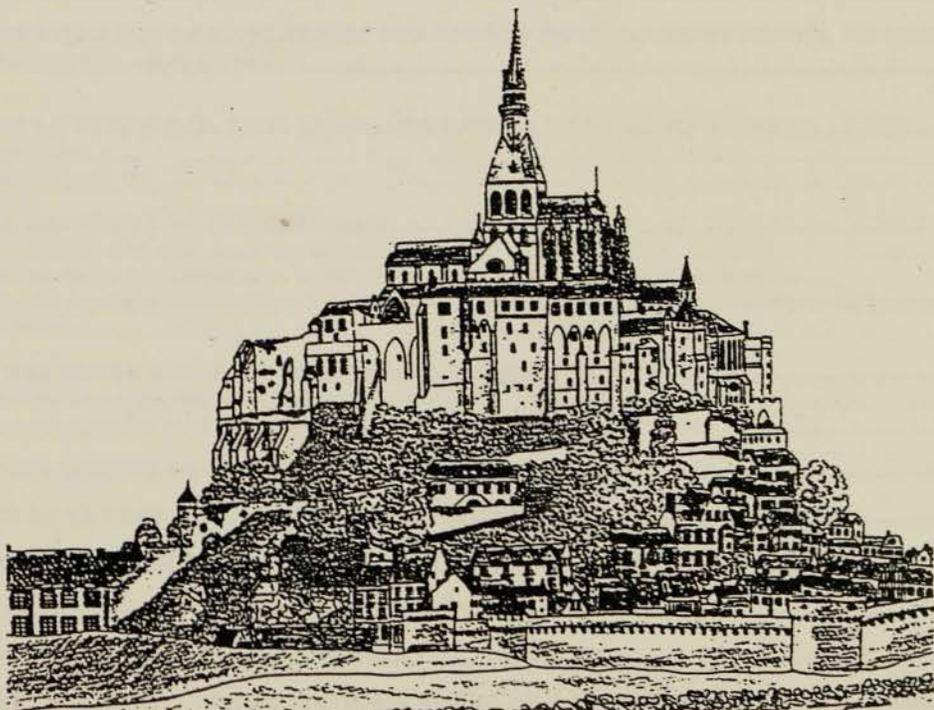




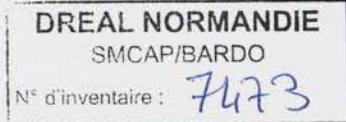
MISSION MONT SAINT MICHEL

**RÉTABLISSEMENT DU CARACTÈRE MARITIME
DU MONT SAINT MICHEL**

**SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES
HYDRO-SÉDIMENTAIRES DE LA BAIE**



185
GEO

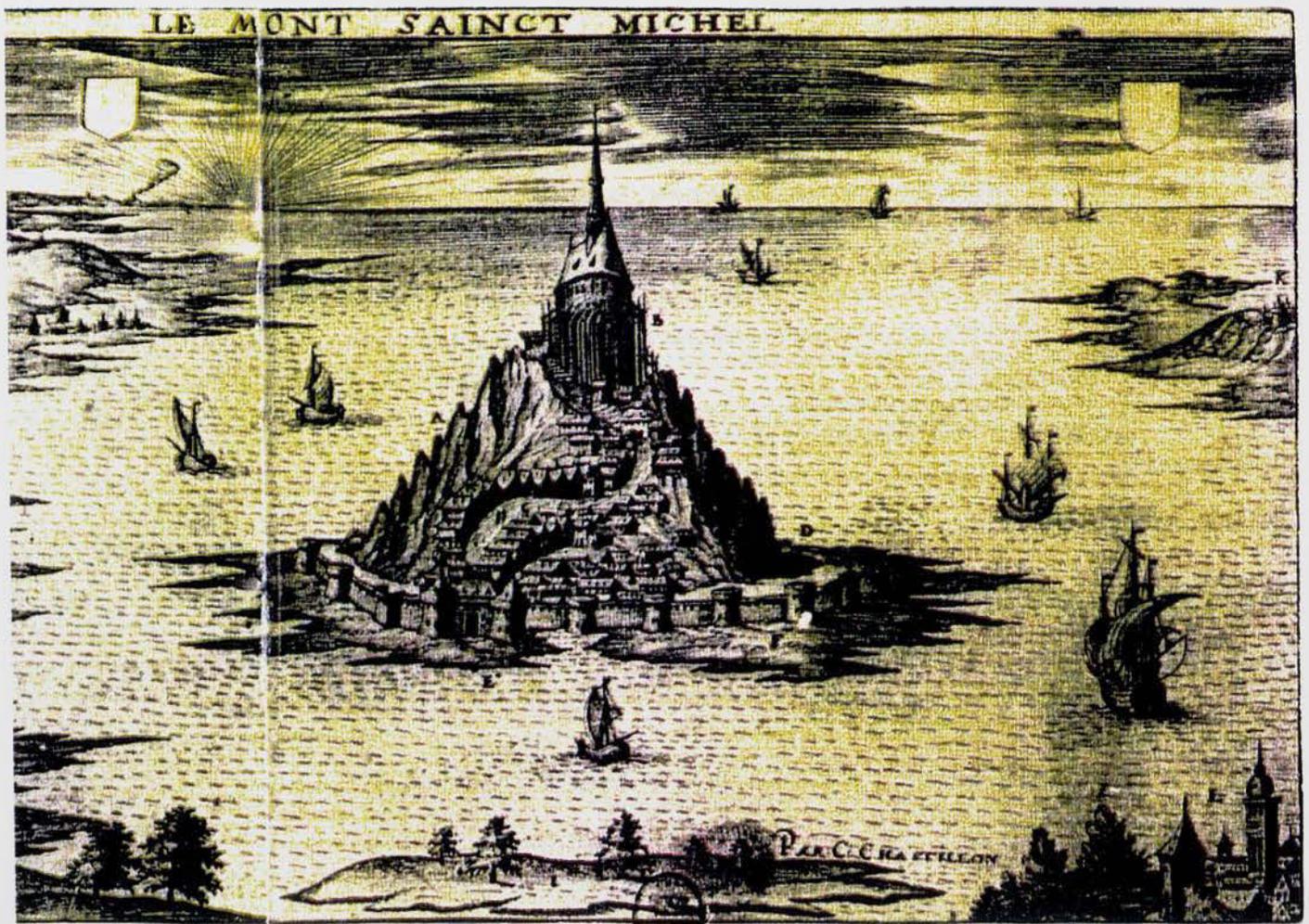
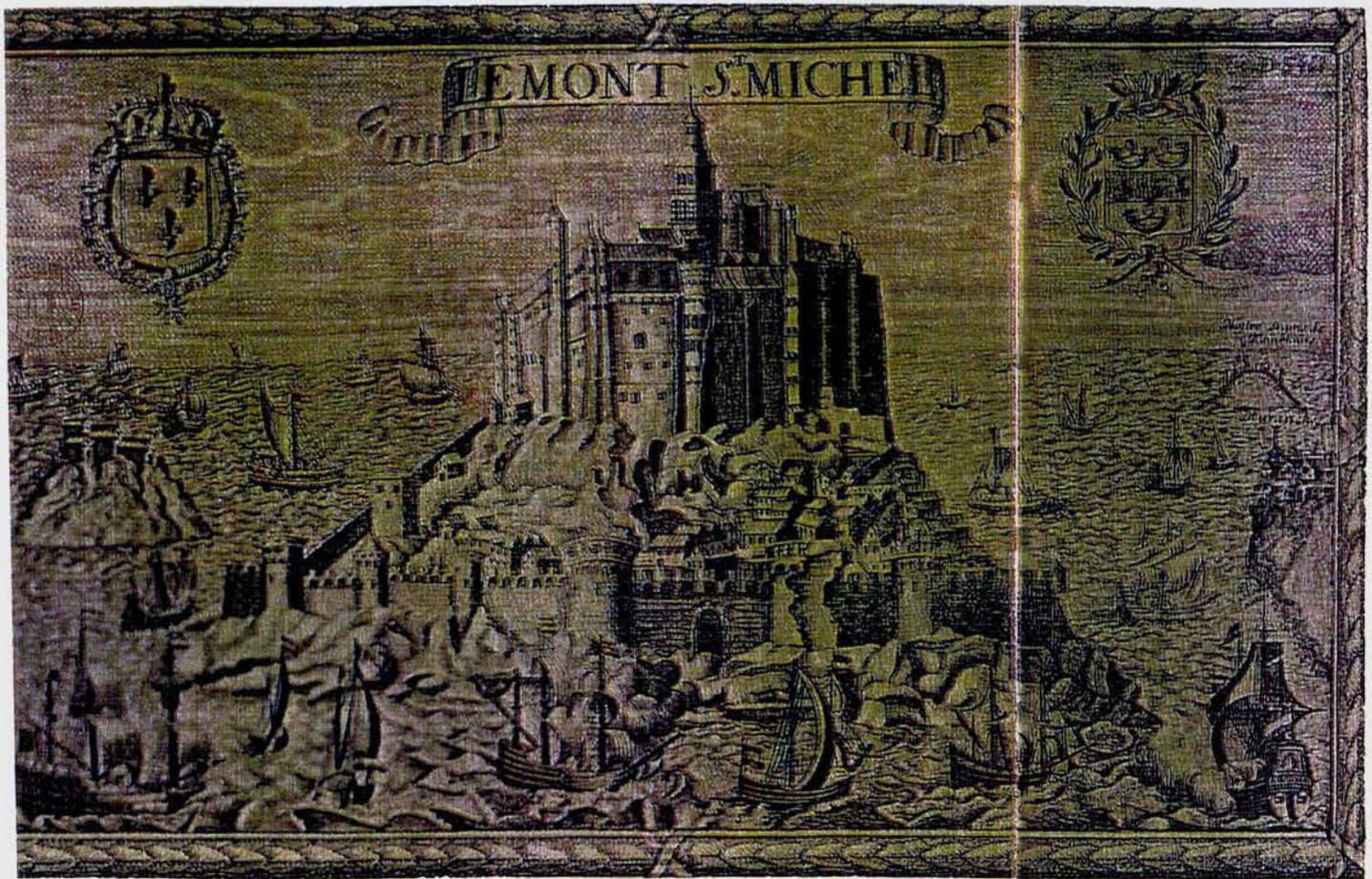


SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS DE Monsieur Jean-Pierre MORELON – INGÉNIEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES 1	
INTRODUCTION 3	
ANNEXE À L'INTRODUCTION : LES ZÉROS DE RÉFÉRENCE DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL 6	
CHAPITRE I - L'ÉVOLUTION DE LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL AU COURS DU TEMPS – LES INTERVENTIONS HUMAINES DU XIX^{ÈME} SIÈCLE ET DU DÉBUT DU XX^{ÈME} SIÈCLE – LA GRANDE BAIE ET LA PETITE BAIE À LA FIN DU XX^{ÈME} SIÈCLE 8	
I.1. ÉVOLUTION NATURELLE AU COURS DE LA TRANSGRESSION FLANDRIENNE..... 8	
I.1.1. La fluctuation du niveau marin et l'évolution de la baie au cours de l'holocène 8	
I.1.2. Importance des apports sédimentaires dans la baie – Épaisseur et répartition des dépôts anciens 9	
I.1.3. Les divagations des rivières aux XVIII ^{ÈME} et XIX ^{ÈME} siècles 10	
I.2. LES INTERVENTIONS HUMAINES – LA CANALISATION DES RIVIÈRES ET LES POLDÉRISATIONS – L'ACCÈS AU MONT SAINT MICHEL 10	
I.2.1. Les travaux antérieurs à 1856 – Concession accordée à Quinette de la Hogue 11	
I.2.2. La conquête des terres sur la mer dans la deuxième moitié du XIX ^{ÈME} siècle et la première moitié du XX ^{ÈME} siècle – Concession accordée à la Compagnie Mosselmann – La suppression des divagations des rivières et les poldérisations 11	
I.2.2.1. Canalisation du Couesnon (1858 à 1863) 11	
I.2.2.2. Construction de la digue de Roche Torin (1861-1862) pour s'opposer à la divagation vers le Sud de la Sée et de la Sélune 12	
I.2.2.3. Déviation du cours de la Guintre et des ruisseaux de l'Huisnes et de Beauvoir (ruisseaux Landais et d'Ardevon) (1879 à 1884) 12	
I.2.2.4. La poldérisation à l'Ouest du Mont Saint Michel 12	
I.2.2.5. La poldérisation à l'Est du Mont Saint Michel 13	
I.2.2.6. Évaluation globale des dépôts dans les polders de l'Ouest et de l'Est entre 1860 et 1930 13	
I.2.3. La digue insubmersible d'accès au Mont Saint Michel (1878-1879) 13	
I.2.4. La construction du barrage sur le Couesnon au lieu-dit « La Caserne » (1966 à 1969) 15	
I.2.5. L'extraction des tangues 16	
I.2.6. Le développement de l'ostréiculture et de la mytiliculture 17	
I.3. CONCLUSIONS SUR L'ÉVOLUTION DE LA BAIE AU COURS DES TEMPS ET LES INTERVENTIONS HUMAINES..... 17	
CHAPITRE II - L'ÉVOLUTION DE LA PETITE BAIE ET DES ABORDS DU MONT SAINT MICHEL AU COURS DES DERNIÈRES DÉCENNIES (1958 À 1997)..... 19	
II.1. SITUATION DE LA PETITE BAIE DANS LA GRANDE BAIE DU MONT SAINT MICHEL 19	
II.1.1. La grande baie 19	
II.1.2. La petite baie 20	
II.2. L'ÉVOLUTION DES FONDS DE LA PETITE BAIE 20	
II.2.1. Documents disponibles pour suivre l'évolution des fonds 21	
II.2.2. Évolution des fonds sur l'ensemble de la petite baie – Répartition des dépôts et des érosions 21	
II.2.3. Évolution des capacités d'accumulation des eaux marines dans la petite baie – Volumes d'eau oscillants entre 1958 et 1997 22	
II.3. ÉVOLUTION DES FONDS AUX ABORDS IMMÉDIATS DU MONT SAINT MICHEL 23	
II.3.1. Évolution des superficies des zones atteintes par les eaux 24	
II.3.2. Évolution des capacités d'emmagasinement et des volumes oscillants 24	
II.4. ÉVOLUTION DES HERBUS DE 1947 À 1997 25	
II.5. L'ÉVOLUTION DE LA CRICHE DE L'EST ET DES FONDS À L'OUEST IMMÉDIAT DU MONT 26	
II.6. L'ÉVOLUTION DU COUESNON APRÈS CONSTRUCTION DU BARRAGE DE LA CASERNE 28	
II.7. L'ARASEMENT DE LA DIGUE DE LA ROCHE TORIN EN 1983-1984 28	
II.8. LES RUISSEAUX GUINTRE, LANDAIS ET RIVE..... 29	
II.9. CONCLUSION SUR L'ÉVOLUTION RÉCENTE DES FONDS AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL ET DANS LA PETITE BAIE..... 29	

CHAPITRE III - LES FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES, OCÉANOGRAPHIQUES ET HYDROLOGIQUES, MARÉES, COURANTS, HOULES, CLAPOTS, DÉBITS DES RIVIÈRES	31
III.1. FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES	31
III.1.1. Les vents	31
III.1.2. La pluviosité	32
III.2. FACTEURS OCÉANOGRAPHIQUES.....	33
III.2.1. Les marées	33
III.2.1.1. <i>La marée dans le golfe normand-breton</i>	33
III.2.1.2. <i>La marée dans la baie du Mont Saint Michel</i>	33
III.2.1.3. <i>Influence des conditions météorologiques sur la variation des hauteurs des pleines mers aux abords du Mont Saint Michel</i>	36
III.2.1.4. <i>Différence de niveau des eaux de part et d'autre de la digue route</i>	37
III.2.1.5. <i>Variation du niveau moyen de la mer</i>	38
III.2.2. Les courants de marées – Les volumes oscillants qui pénètrent et sortent de la petite baie	40
III.2.2.1. <i>Les courants de marées dans le golfe normand-breton</i>	40
III.2.2.2. <i>Les courants de marée à l'entrée de la grande baie du Mont Saint Michel</i>	40
III.2.2.3. <i>Les courants de marées dans la petite baie et aux abords du Mont Saint Michel</i>	45
III.2.3. Les houles et clapots	49
III.2.3.1. <i>Les houles dans la grande baie du Mont Saint Michel</i>	49
III.2.3.2. <i>Les houles et clapots dans la petite baie</i>	50
III.3. FACTEURS HYDROLOGIQUES.....	51
III.3.1. Les rivières et ruisseaux qui se déversent dans la petite baie du Mont Saint Michel	51
III.3.2. Les bassins versants des rivières et les bassins drainants des ruisseaux	52
III.3.3. Débits des rivières – Apports d'eau douce	52
III.3.4. Influence des débits des rivières se superposant à l'action de la marée	55
III.3.5. Influence possible des débits des rivières dans la petite baie du Mont Saint Michel	55
III.3.6. Apports solides des rivières	56
CHAPITRE IV - LES SÉDIMENTS DE LA BAIE – LEUR COMPORTEMENT SOUS LES ACTIONS HYDRODYNAMIQUES – LES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES EN RÉSULTANT.....	58
IV.1. LES SÉDIMENTS DE LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL.....	58
IV.1.1. Les sédiments du large dans le golfe normand-breton	58
IV.1.2. Les sédiments dans la grande baie du Mont Saint Michel	59
IV.1.3. Les sédiments dans la petite baie	59
IV.1.4. Les herbus	60
IV.2. LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SÉDIMENTS ET LEUR COMPORTEMENT SOUS LES ACTIONS HYDRODYNAMIQUES.....	61
IV.2.1. Comportement des sables et sablons	62
IV.2.2. Comportement des tangles	63
IV.2.3. Comportement des herbus	65
IV.3. LES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL	65
IV.3.1. Les transports en suspension sous l'action des courants de marées – Vitesses et turbidités dans la petite baie	65
IV.3.2. Influence du coefficient de la marée sur le transport solide en suspension	66
IV.3.3. Évaluation des bilans de transports sédimentaires en suspension à l'entrée de la petite baie	67
IV.3.3.1. <i>Mesures en nature en 1975</i>	67
IV.3.3.2. <i>Estimations à l'aide du modèle numérique – Comparaison des bilans en 1975 et 1997</i>	68
IV.3.3.3. <i>Évaluation des bilans de transports sur l'ensemble de la petite baie</i>	68
IV.3.4. Les transports par charriage	69
IV.3.5. Influence de l'agitation sur la turbidité des eaux	70
IV.3.6. Nature des sédiments transportés en suspension	71
IV.4. LES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES DANS LE CHENAL DU COUESNON ET À L'ENTRÉE DE LA CRICHE EST	71
IV.4.1. La topographie des fonds du Couesnon	72
IV.4.2. Les variations de la turbidité des eaux	73
IV.4.2.1. <i>Anciennes mesures de 1975</i>	73
IV.4.2.2. <i>Nouvelles mesures de Juin 1996 – Barrage avec portes à flot fermées</i>	73
IV.4.2.3. <i>Barrage avec une porte à flot ouverte</i>	75
IV.4.3. Bilan des transports sédimentaires dans le chenal du Couesnon	78
IV.4.4. Les mouvements sédimentaires à l'entrée de la criche Est	80

IV.5. MÉCANISMES DE L'ÉVOLUTION DE LA PETITE BAIE – ÉVOLUTION DES APPORTS SÉDIMENTAIRES AU COURS DU PROCHAIN SIÈCLE.....	80
IV.5.1. Mécanismes de l'évolution de la petite baie.....	81
IV.5.1.1. <i>Le rôle des marées.....</i>	81
IV.5.1.2. <i>Le rôle des débits fluviaux.....</i>	81
IV.5.1.3. <i>Le rôle de la divagation des chenaux.....</i>	82
IV.5.1.4. <i>Le rôle des houles et clapots.....</i>	83
IV.5.1.5. <i>Les transports éoliens.....</i>	83
IV.5.2. Évolution des apports sédimentaires dans la petite baie au cours du prochain siècle.....	83
IV.5.3. Conclusions.....	85
CHAPITRE V - LES PRÉVISIONS DES ÉTUDES FAITES SUR LE MODÈLE RÉDUIT EN 1975-1977 ET LES ENSEIGNEMENTS À EN TIRER POUR L'AMÉLIORATION ET LE MAINTIEN DE L'ENVIRONNEMENT MARITIME AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL.....	87
V.1. LES PRÉVISIONS DES ÉTUDES SUR LE MODÈLE RÉDUIT RÉALISÉ EN 1975-1977 ET LES CONSTATATIONS FAITES EN NATURE 20 ANS APRÈS.....	87
V.1.1. Rappel des caractéristiques du modèle sédimentologique de 1975-1977.....	87
V.1.2. Les phénomènes hydrauliques représentés – Comparaison avec les mesures faites en nature.....	88
V.1.3. Représentation de la période 1958 à 1975.....	88
V.1.4. Prévision du modèle pour l'évolution des fonds après 1975 sur une période de 20 ans.....	89
V.1.4.1. <i>Prévision de l'évolution générale des fonds sans aménagements (1975 à 1991).....</i>	89
V.1.4.2. <i>Divagation des rivières Sée – Sélune et Couesnon.....</i>	90
V.1.4.3. <i>La destruction de la digue de la Roche Torin en 1984.....</i>	91
V.1.4.4. <i>Représentation de la sédimentation du Couesnon en aval du barrage après sa construction et influence des débits de la rivière (ou des chasses).....</i>	91
V.1.5. Conclusions.....	91
V.2. RECHERCHES DE SOLUTIONS POUR MAINTENIR UN ENVIRONNEMENT MARITIME AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL – SOLUTIONS DÉTERMINISTES ET SOLUTIONS DOUCES – LES RÉSULTATS OBTENUS SUR LE MODÈLE RÉDUIT DE 1975-1977.....	92
V.2.1. Suppression de la digue route, du barrage de la Caserne et de la digue de Roche Torin – Rétablissement du ruisseau de la Guintre.....	92
V.2.2. Aménagement du barrage de la Caserne sur le Couesnon associé à la coupure de la digue d'accès.....	93
V.2.3. Aménagement du barrage de la Caserne sans coupure de la digue route, mais en supprimant les cordons d'enrochements qui bordent le Couesnon.....	94
V.2.4. L'amélioration des profondeurs à l'Est du Mont Saint Michel – Les solutions envisagées pour réduire l'extension du grand banc de l'Est – Les réservoirs à marée sans coupure de la digue route d'accès au Mont.....	94
V.2.5. Suppression partielle de la digue route associée à l'aménagement du barrage et à la réalisation de bassins de marée à l'Est.....	95
V.2.6. Suppression de la digue de la Roche Torin.....	96
V.2.7. Réalisation de l'ensemble des aménagements.....	96
V.3. LES PROBLÈMES SOULEVÉS PAR L'AMÉNAGEMENT DU COUESNON – LES ÉTUDES SUR MODÈLE MATHÉMATIQUE ET L'ÉVOLUTION DES CONCEPTIONS D'OUVRAGES.....	97
V.3.1. L'évolution des conceptions d'ouvrages.....	97
V.3.2. Aménagements étudiés sur le modèle mathématique (1986-1987).....	98
V.3.3. Résultats obtenus sur le modèle mathématique (1986-1987).....	98
V.4. SOLUTIONS « DOUCES » OU « PASSIVES » ENVISAGÉES DANS LE NOUVEAU PROJET.....	99
V.4.1. Les études et recherches effectuées de 1989 à 1995 – Un changement des conceptions d'aménagements.....	99
V.4.2. Le nouveau projet de 1995.....	99
V.4.3. Les remarques et suggestions soulevées par le nouveau projet.....	100
V.4.4. Le programme d'études engagé pour mettre au point les solutions.....	101
BIBLIOGRAPHIE.....	102
LISTE DES FIGURES.....	107



AVANT-PROPOS DE Monsieur Jean-Pierre MORELON –
INGÉNIEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Le projet qu'a arrêté le Gouvernement en 1995, après concertation avec les Élus, comporte, sur le plan hydraulique, les mesures suivantes pour le rétablissement du caractère maritime du Mont Saint Michel :

- Une coupure de la digue route sur environ 1.000 m à partir du Mont.
- Une modification du barrage de la Caserne sur le Couesnon en vue d'y recréer l'effet de chasse dû aux oscillations de la marée.
- Pour le maintien de la criche Est, apporter dans la baie, à l'Est du Mont, un renfort de débit.
- Le déplacement du stationnement des visiteurs : celui-ci libérera les grèves au pied du Mont pour s'installer à terre dans le polder de l'Enclos Morvan à la Caserne.

On ne pouvait pas avancer sur ce projet sans s'en référer aux mouvements des eaux et des sédiments dans la Baie. C'est pourquoi, quand j'ai été nommé « Chef de projet » en Avril 1995, une des premières personnalités que j'ai contactées dans ce domaine a été Claude MIGNIOT.

Il avait été durant près de 20 ans le spécialiste chargé, sous l'angle hydro-sédimentaire, d'abord de diriger le travail qui dans les années 1970 avait permis de mieux connaître la Baie, puis sur ces bases d'examiner des solutions à mettre en œuvre. Il avait entre temps pris une retraite qui restait active, mais sa passion pour le Mont Saint Michel était intacte et je n'ai eu aucune peine à le mobiliser pour nous apporter son expérience et ses conseils.

Nous avons avec lui retissé les fils, regroupé les compétences scientifiques qui nous aident à cadrer le nouveau projet, relancé un programme d'études et de mesures pour mettre à jour les données et tester les conditions de réalisation des ouvrages. Ce programme de travail est en cours, il s'achèvera dans les premiers mois de 1999 avec les résultats des essais sur le modèle réduit de la petite baie qui sont en cours à Grenoble par la SOGREAH Ingénierie.

C'est dans ce contexte que j'ai demandé à Claude MIGNIOT de faire le point, dans une première étape, sur l'état des connaissances hydro-sédimentaires de la Baie avant les études engagées en 1995. Cela a fait l'objet d'un rapport élaboré en Octobre 1997.

Pour tenir compte des importantes mesures réalisées à l'occasion des études en 1996 – 1997 et 1998, une nouvelle version de ce rapport a été réalisée en prenant en compte la totalité des informations récentes disponibles. C'est cette deuxième version qui est présentée dans ce document daté de Novembre 1998.

Cette synthèse couvre les phénomènes océanographiques, hydrologiques et sédimentologiques connus au moment de la rédaction de ce rapport, ainsi que les mouvements sédimentaires et les évolutions des fonds en résultant au cours des dernières décennies. Un rappel des solutions étudiées antérieurement pour maintenir un environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel est donné dans la perspective des solutions à venir.

Certains pourront être déroutés par son caractère très technique. Mais Claude MIGNIOT est un expert rigoureux : même s'il n'a pas voulu tout dire, il ne pouvait pas se contenter d'affirmations non étayées ou d'approximations, il a choisi d'être précis. Cela permettra à chacun de se rendre compte de la complexité des phénomènes physiques qui façonnent la Baie au fil du temps.

Ces phénomènes sont pluriels, nombre de scientifiques les ont analysés. À ce titre, Claude MIGNIOT a tenu à associer à sa synthèse : Claude LARSONNEUR, Robert LAFOND, Alain L'HOMER, Fernand VERGER.

Je remercie Claude MIGNIOT pour ce travail. Il l'a mené à bien en utilisant tout son acquis personnel depuis 25 ans sur la Baie, et il l'a enrichi par les apports de ses collègues. Il s'agit là, je crois, d'une référence importante pour tous ceux qui sont attachés au Mont Saint Michel et au rétablissement de son caractère maritime. J'espère qu'ils trouveront là des réponses à certaines de leurs attentes.

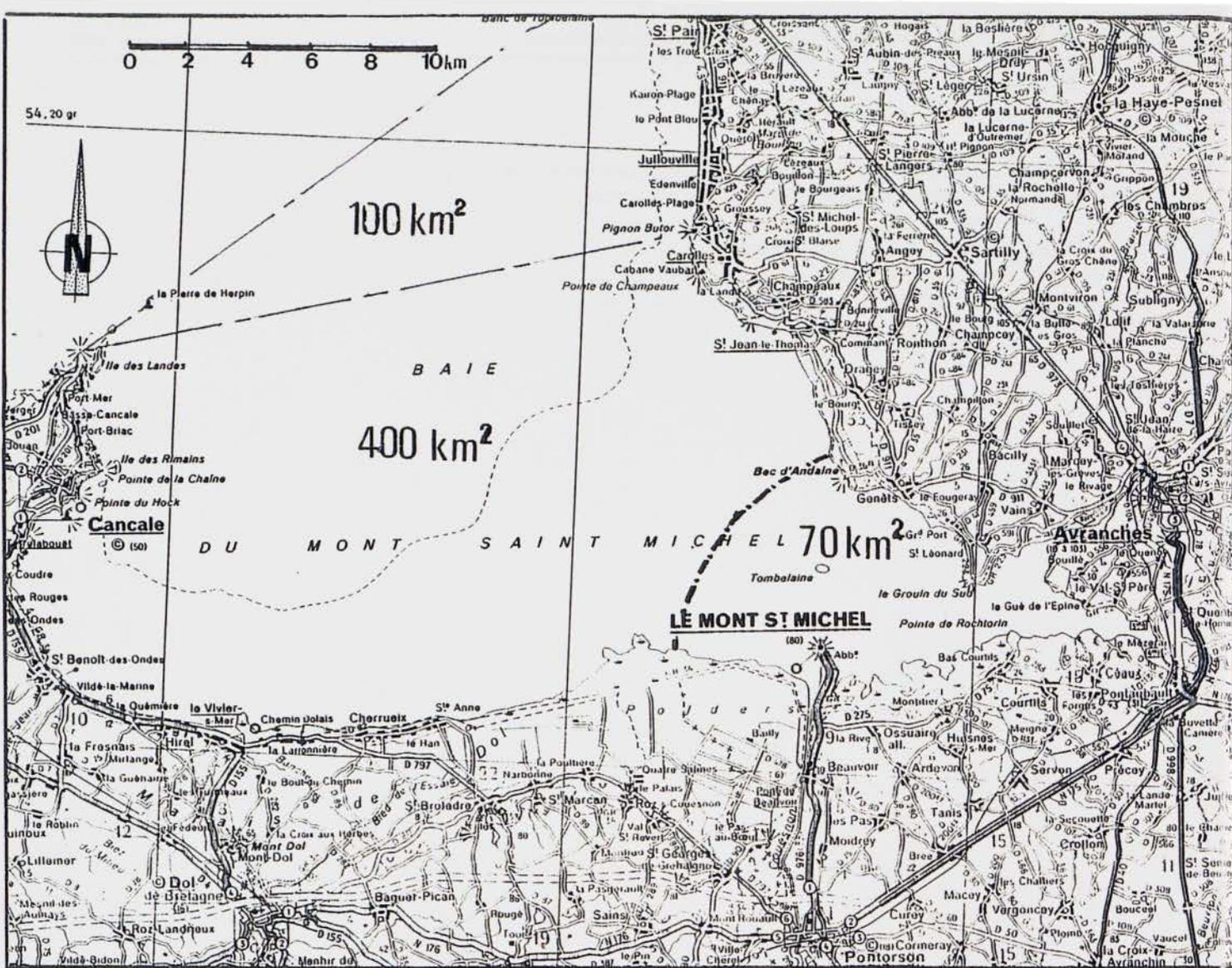


FIGURE N° 1 : LA GRANDE BAIE ET LA PETITE BAIE DU MONT SAINT MICHEL
ET PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE DE L'ESTUAIRE DU COUESNON



LE MONT SAINT MICHEL

INTRODUCTION

Située au fond du golfe normand-breton, dans l'angle formé par la Bretagne et le Cotentin, la baie du Mont Saint Michel occupe une ancienne dépression d'environ 500 km², orientée vers le Nord-Ouest, qui s'est progressivement comblée au cours de l'holocène, les dépôts accumulés depuis 8.000 ans atteignant une quinzaine de mètres d'épaisseur.

Largement ouverte sur la mer de la Manche entre la pointe du Grouin de Cancale à l'Ouest et la pointe du Roc de Granville à l'Est, cette baie est soumise à des marées exceptionnelles, atteignant 15 mètres d'amplitude en période de vives eaux, découvrant et recouvrant maintenant un estran démesurément large d'une superficie de 250 km², se prolongeant vers l'intérieur par des zones basses conquises et aménagées par l'homme : marais de Dol, polders du Mont Saint Michel...

Au fond de cette grande baie, la « petite baie » du Mont Saint Michel, limitée par un alignement passant par le bec d'Andaine à l'Est et un point situé à 6 km à l'Ouest du Mont, vers Sainte Anne, forme un sous-ensemble de 60 à 70 km² avec un caractère plus « estuarien » et plus complexe [Figure 1].

Le maintien d'un environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel dépend de l'évolution de cette petite baie, avec les effets antagonistes du comblement inéluctable au cours des temps par des sédiments d'origine marine (sables, tangles...) de plus de 1 million de m³ par an, et l'action des rivières Sée, Sélune et Couesnon et des petits ruisseaux qui venaient remodeler les fonds en fonction de leur puissance hydraulique variable dans le temps en fonction du marnage et de leurs débits propres.

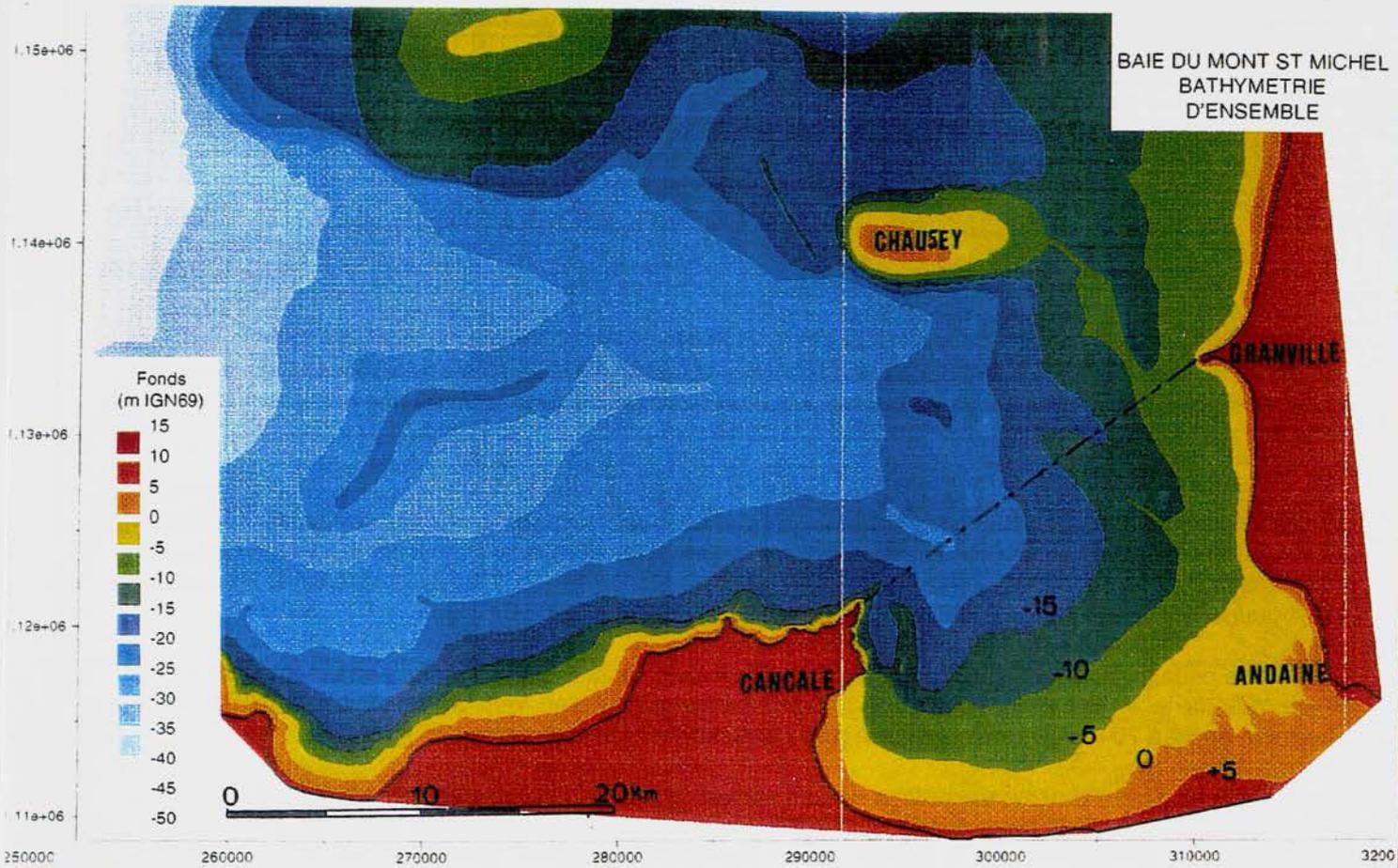
À ces phénomènes « naturels » s'ajoutent les « interventions humaines », que ce soit pour la conquête des terres sur la mer au cours du siècle dernier ou pour favoriser l'accès au Mont. Poldérisation de l'Ouest, digue de la Roche Torin à l'Est, rectification du cours des rivières et ruisseaux pour éviter qu'ils ne viennent éroder les terrains conquis ou à conquérir sur la mer, construction du barrage de la Caserne à l'embouchure du Couesnon, digue d'accès au Mont... allaient contribuer à faire progresser et à fixer les sédiments le long du littoral de part et d'autre du Mont en s'opposant aux divagations des rivières et ruisseaux dans cette zone et en protégeant les polders contre l'action des clapots et houles résiduelles susceptibles de les atteindre lors des grandes marées.

Le développement des « herbus » sur ces terrains exondés pendant une grande partie du temps – 30 % seulement des marées atteignent la limite inférieure de la haute slikke (marées supérieures au coefficient 85) – va fixer progressivement le schorre qui sera envahi par un tapis végétal à spartina, salicornes, obiones... donnant un aspect caractéristique à l'environnement du Mont Saint Michel. On estime qu'au cours des dernières décennies, la superficie des « herbus », situés entre les cotes +6 et +8 m I.G.N., avait progressé en moyenne de 25 hectares par an, avec des fluctuations suivant les conditions océanographiques et hydrologiques et une lente réduction dans le temps.

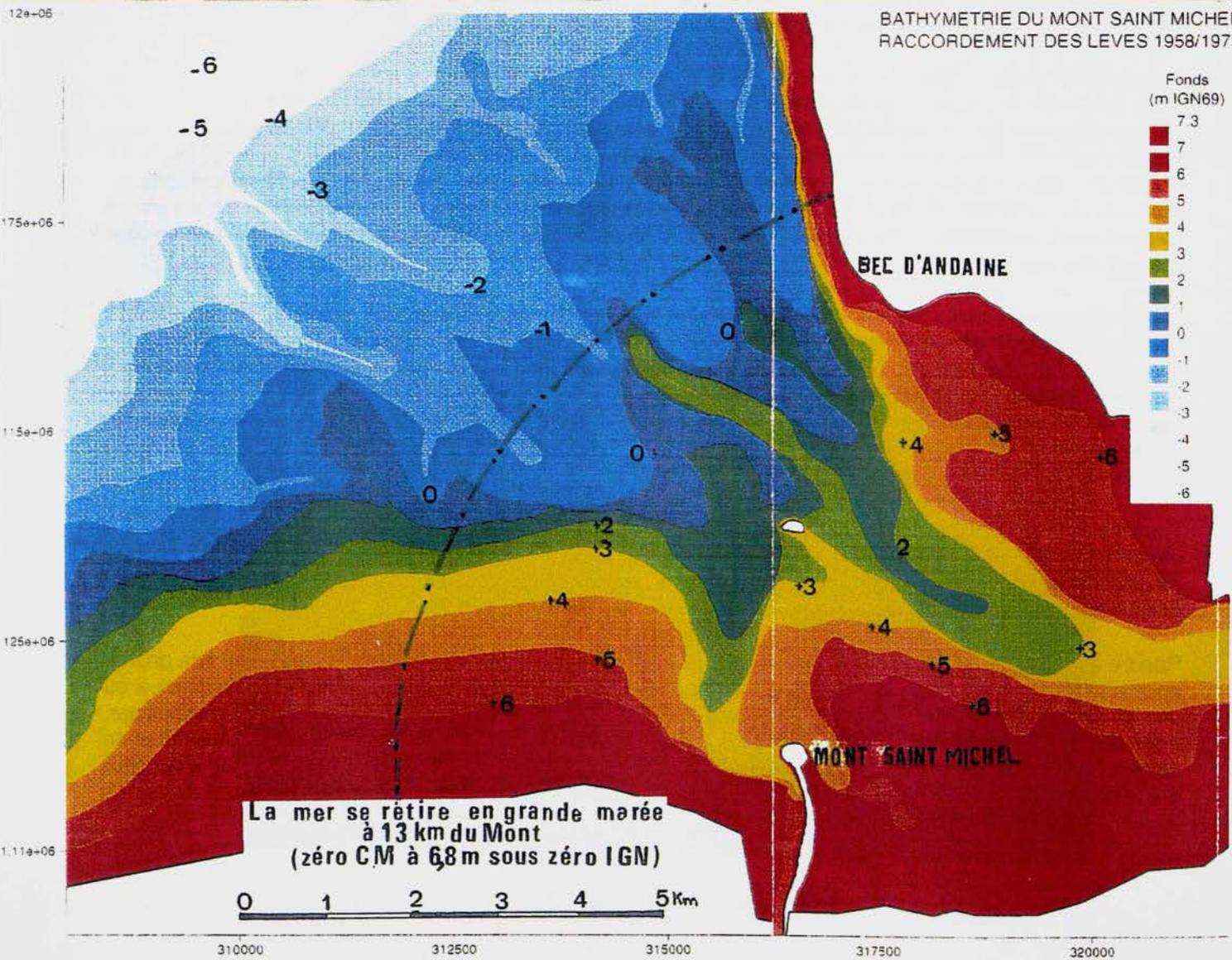
Toutes ces évolutions des fonds conduisent à enclaver le Mont Saint Michel au milieu des herbus et à le faire rentrer progressivement dans un contexte de « péril de la terre » préjudiciable à la beauté du site qui ne peut conserver son plein épanouissement que dans un environnement à caractère maritime où l'extrême douceur des grèves à l'état pur fait ressortir la beauté architecturale de l'Abbaye.

Rendre à ce lieu prestigieux une certaine insularité en maintenant aux abords immédiats du Mont des grèves soumises aux actions de flux et du reflux, sans détruire pour autant les terrains agraires que l'homme a eu tant de mal à conquérir sur la mer au siècle dernier, ni les possibilités d'accès d'un lieu hautement touristique, a été une des préoccupations depuis plusieurs années. L'inscription à l'UNESCO du Mont Saint Michel et de sa baie comme « patrimoine mondial » allait renforcer les recherches de solutions susceptibles de s'opposer à la « disparition de l'écrin naturel d'eau qui entoure le Mont et en fait son originalité »...

BAIE DU MONT ST MICHEL
BATHYMETRIE
D'ENSEMBLE



BATHYMETRIE DU MONT SAINT MICHEL
RACCORDEMENT DES LEVES 1958/1971



Devant la complexité des phénomènes, des recherches ont été entreprises dès 1970 pour préciser, à partir des documents disponibles, l'évolution de la baie au cours des temps et l'échelonnement et les répercussions des travaux réalisés antérieurement par l'homme pour conquérir des terres sur la mer et favoriser l'accès permanent au Mont.

Des mesures en nature sur la propagation de la marée, les courants, la nature et l'évaluation des transports sédimentaires, les évolutions des fonds, ont été réalisées en 1975 avec des compléments au cours du temps, notamment en 1996 et 1997.

Des études à l'aide d'un modèle réduit physique de l'ensemble de la petite baie du Mont Saint Michel allaient permettre en 1977 d'évaluer les risques encourus pour le colmatage des fonds aux abords du Mont si aucun aménagement n'était réalisé avant la fin du siècle. Ces études montraient que la progression des herbues, tant à l'Ouest qu'à l'Est du Mont, risquait de se poursuivre et si la marée continuait, aux périodes de forts coefficients, de venir border le Mont, tant dans le chenal du Couesnon que dans la petite criche Est, la réduction des profondeurs dans ces zones laissait présager à moyen terme une dégradation importante du caractère maritime du Mont.

Les constatations faites en nature vingt ans après cette étude confirment en grande partie les prévisions de ce modèle, même si certains phénomènes aléatoires rendent difficile l'interprétation fine d'évolutions locales.

Devant ces prévisions de 1977, différentes solutions d'aménagement ont été étudiées sur le modèle réduit de l'époque. Toutes ces solutions avaient pour principe de rétablir une puissance hydraulique suffisante aux abords du Mont en accumulant les eaux marines et fluviales et en inversant les mouvements sédimentaires à l'aide de « chasses » appropriées tant par le Couesnon que par des « bassins artificiels » creusés à l'Est du Mont.

Parallèlement, la coupure de la digue d'accès au Mont sur 400 à 500 m de longueur, et son remplacement par un pont passerelle, permettait de favoriser les échanges d'eau entre l'Est et l'Ouest du Mont, et de redonner un caractère maritime entre le Mont et la terre.

La suppression de la digue de la Roche Torin n'agissait sur le modèle que sur les herbues de l'Est à une plus grande distance du Mont et les résultats obtenus restaient tributaires du tracé aléatoire des chenaux de la Sée et de la Sélune, ce qui a été confirmé en nature après réalisation des travaux.

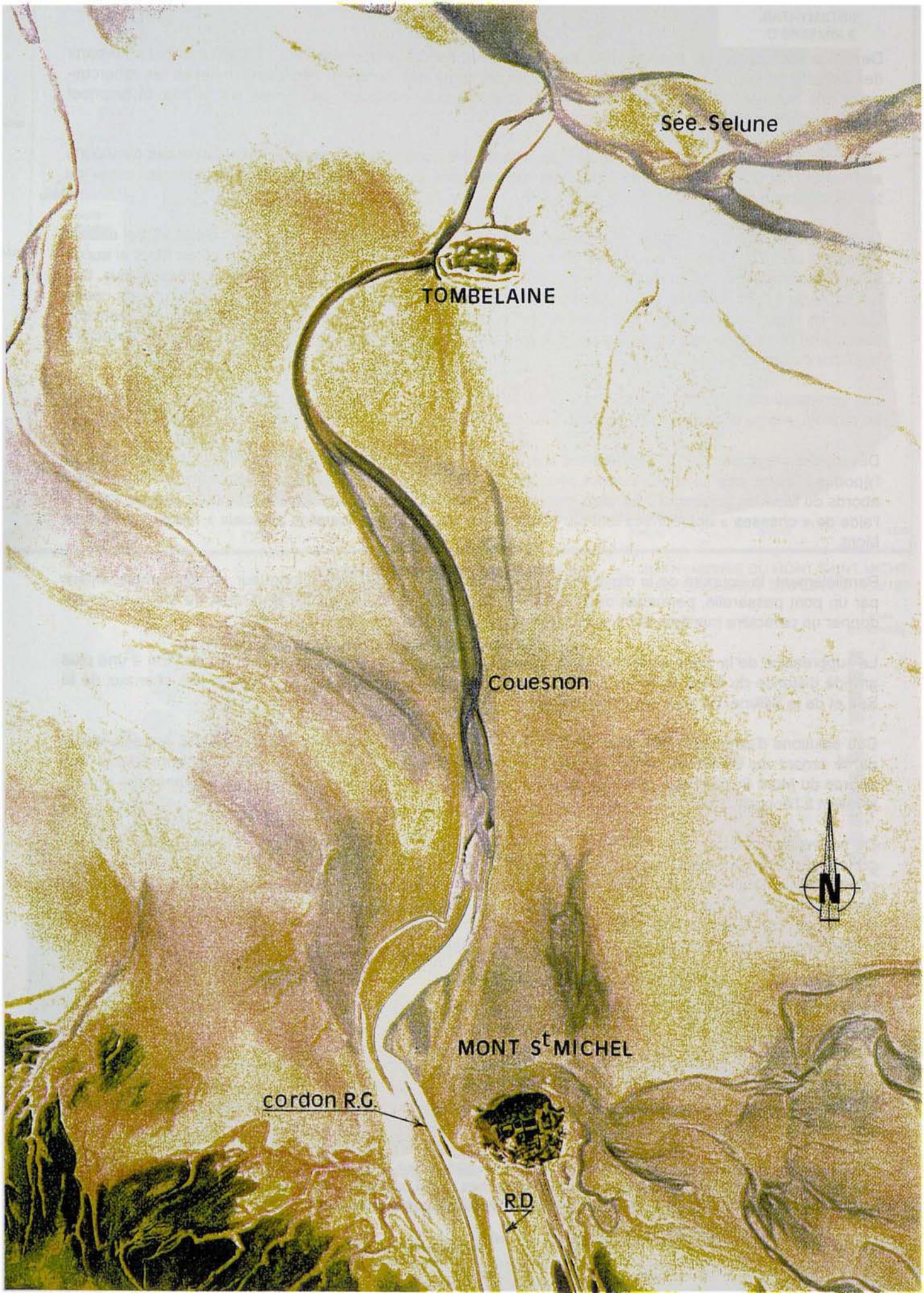
Ces solutions d'aménagement dites « déterministes » – qui tenaient compte par ailleurs des impacts sur la partie amont du Couesnon et ses zones limitrophes – conduisaient à une érosion très appréciable des abords du Mont Saint Michel, mais à des investissements qui débordaient les possibilités financières et soulevaient à l'époque certaines controverses.

De nouvelles solutions dites « douces » ont alors été envisagées à partir de 1989. « Il ne s'agit plus de façonner un paysage envisagé par l'homme, mais d'accepter en la magnifiant la réalité de la baie... Le projet représente un équilibre entre le refus d'accepter les conditions médiocres de l'accès actuel et une humilité devant la nature. Il prend acte de l'impossibilité de désensabler vraiment. Il cesse de poser la question, vieille d'un siècle, des responsabilités de la digue d'accès dans le colmatage. Le vrai problème de la digue est de se trouver là ou spontanément, il pourrait y avoir un espace de sable dans lequel le monument apparaîtrait enchâssé [13.e.] »...

« Le projet, en ôtant la digue et les parkings, reconstitue un paysage dans des conditions de durée très favorables »...

Le rétablissement des petits ruisseaux qui se jetaient jadis à l'Est du Mont, la Guintre, le Landais ou le ruisseau d'Ardevon, pourrait – bien que la marée ne puisse plus y pénétrer – donner un espoir de maintenir certaines « filandres » ou « criches » dans une zone malheureusement très exondée depuis les dernières décennies...

Solutions « déterministes » ou solutions « douces et passives » ont un point commun : pour en apprécier la validité, il est nécessaire de passer par des recherches aussi précises que possible des phénomènes hydro-sédimentaires qui régissent la baie du Mont Saint Michel et plus particulièrement les abords du Mont.



See Selune

TOMBELAINE

Couesnon



MONT S^t MICHEL

cordon R.G.

R.D.

Il est apparu nécessaire d'établir une « SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES HYDRO-SÉDIMENTAIRES » en présentant les recherches et travaux ayant permis de préciser les phénomènes qui interviennent dans l'évolution de la Baie.

Une première version, réalisée en Juillet 1997, se limitait aux connaissances acquises avant 1990. La nouvelle synthèse – présentée dans ce rapport – prend en compte les recherches importantes entreprises au cours des dernières années et, notamment, les levés récents des fonds de la petite Baie en 1997, les études très complètes sur la marée et les surélévations météorologiques exceptionnelles, les houles aux abords du Mont, les mesures courantologiques et sédimentologiques réalisées pour la Mission Mont Saint Michel au cours des années 1996 – 1997 et début 1998.

Dans cette nouvelle synthèse, basée sur la totalité des connaissances acquises en 1998, nous examinerons successivement :

- L'évolution de la baie du Mont Saint Michel au cours du temps, l'influence des interventions humaines au XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle.
- L'évolution des abords du Mont Saint Michel au cours des dernières décennies et notamment entre 1958 et 1997.
- Les facteurs météorologiques, océanographiques et hydrologiques agissant sur la baie et les mouvements d'eau qu'ils provoquent : courants, volumes oscillants, houles et clapots.
- Les sédiments de la baie, leur comportement sous les actions hydrodynamiques et les mouvements sédimentaires en résultant, le comportement des herbus.
- Le bilan sédimentaire et l'évolution possible des apports sédimentaires au cours des prochaines décennies dans la petite Baie. Les risques encourus pour l'environnement maritime du Mont Saint Michel.
- Les prévisions faites en 1977 à l'aide des anciennes études sur modèle réduit et les enseignements à en tirer pour les solutions à réaliser en vue de maintenir un environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel.

En annexe, la liste des documents utilisés pour cette synthèse sera donnée, permettant au lecteur de s'y référer pour les précisions complémentaires qu'il désirerait avoir. Le renvoi sera indiqué par une parenthèse portant le numéro de référence bibliographique [*chiffre + lettre*].

Pour faciliter la comparaison entre les différents documents utilisés, tant topographique qu'océanographique, les cotes utilisées dans ce rapport ont été ramenées – sauf indication contraire – au zéro I.G.N. 69 dont on trouvera la définition et la comparaison avec les autres zéros en annexe à cette introduction.

ANNEXE À L'INTRODUCTION : LES ZÉROS DE RÉFÉRENCE DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

Toutes les cotes topographiques, les sondages hydrographiques ou les niveaux de l'eau sont donnés par rapport à un niveau de référence qui peut être, suivant les cas, le zéro hydrographique ou zéro des Cartes Marines (C.M.), le zéro du Nivellement Général de la France (N.G.F.) ou de l'Institut Géographique National (I.G.N.) ou, plus simplement, un repère sur un rocher ou un ouvrage connu.

Suivant le niveau de référence adopté, les valeurs données de la cote d'un ouvrage pourront donc être différentes et il est nécessaire, pour comparer des documents, de bien préciser à quel zéro de référence on se rattache.

Le zéro hydrographique (C.M.) correspond, théoriquement, au point le plus bas atteint par les eaux marines au cours d'une marée extrême d'équinoxe (coefficient 120). La marée étant variable d'un point à l'autre du littoral, les écarts entre le zéro C.M. et le zéro terrestre du Nivellement Général de la France (ou de l'Institut Géographique National) sera donc différent suivant la position géographique du secteur littoral étudié.

Le zéro de référence terrestre N.G.F. ou I.G.N. devrait théoriquement être identique pour toute l'étendue du territoire. En fait, il a subi des réajustements au cours des temps par suite du perfectionnement des techniques de nivellement et de sa propre définition [5 – 8 – 44].

Actuellement – et notamment pour la baie du Mont Saint Michel – toutes les cotes devraient être rattachées au zéro I.G.N. 1969.

Lès documents anciens se rattachant à d'autres zéros de référence, des précisions sont données dans cet avant-propos pour fixer les écarts entre ces différents repères utilisés dans les nombreux documents établis pour la baie du Mont Saint Michel.

Depuis 1857, trois réseaux de nivellement se sont succédés sur le sol de la métropole :

- Le réseau établi par BOURDALOUE – utilisé de 1850 à 1890 – (N.G.F. Bourdaloue).
- Le réseau établi par LALLEMAND – à partir de 1890 – (N.G.F. Lallemmand).
- Le réseau établi par L'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL – à partir de 1969 – (I.G.N. 69).

Dans la baie du Mont Saint Michel, on admet que :

- le zéro N.G.F. Lallemmand se situe, en moyenne, à 0,30 m au-dessus du zéro I.G.N. 69,
- le zéro N.G.F. Bourdaloue serait de 0,70 m environ en dessous du zéro I.G.N. 69 ; il y aurait donc une différence de 1 m entre le zéro de référence Bourdaloue (utilisé avant 1890) et le zéro Lallemmand N.G.F.

Le zéro hydrographique ou zéro C.M. des cartes marines se situe, suivant l'emplacement considéré, sous les zéros terrestres et à des distances sensiblement différentes par rapport aux zéros terrestres adoptés, comme l'indique le tableau ci-après [44 - 46] :

POSITION DES ZÉROS HYDROGRAPHIQUES PAR RAPPORT AUX ZÉROS TERRESTRES

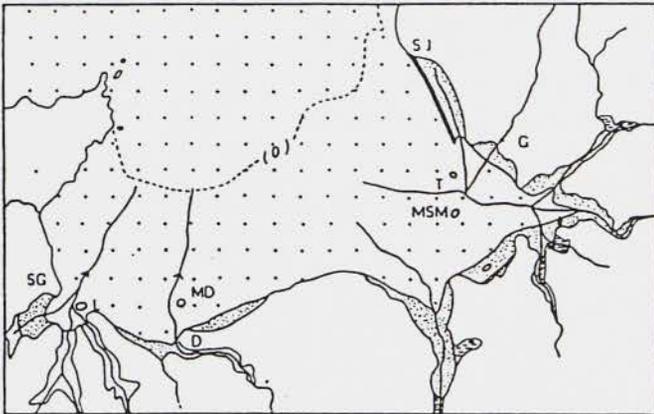
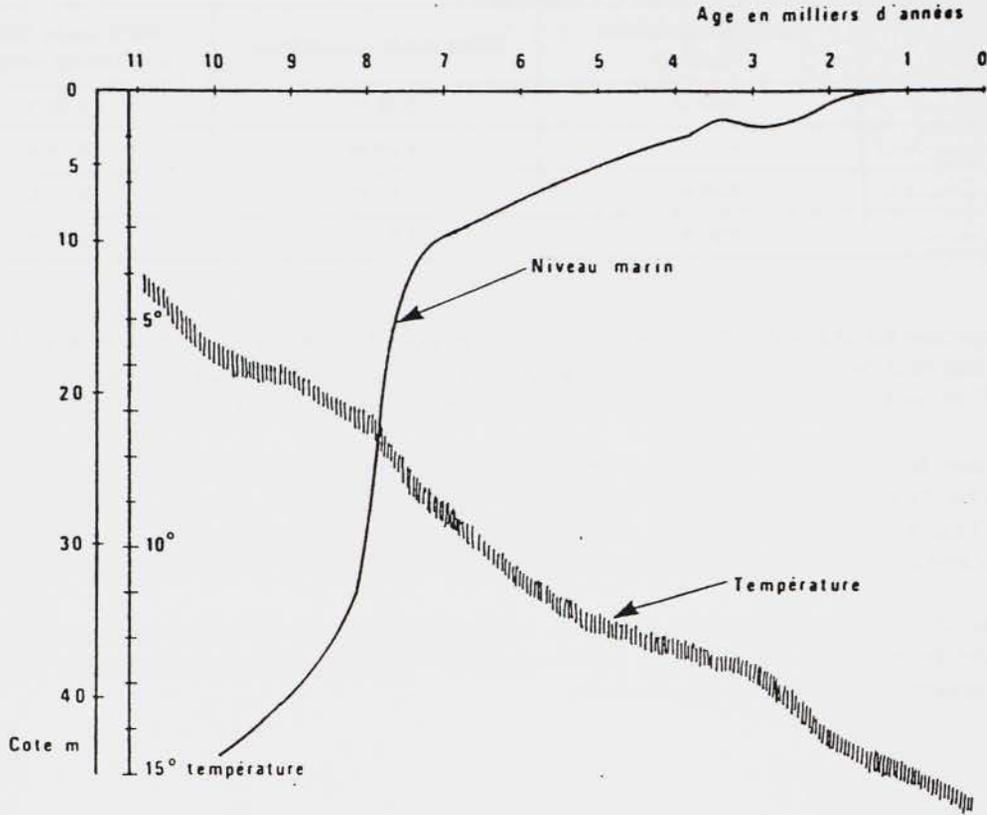
RÉFÉRENCE	ZÉRO BOURDALOUE (ANCIEN)	ZÉRO N.G.F. LALLEMAND	ZÉRO I.G.N. 1969 DIT « ALTITUDE NORMALE »
Saint Malo	5,61 m	6,60 m	6,30 m
Mont Saint Michel	-	7,05 m	6,76 m
Cancale	6,46 m	7,07 m	6,77 m
Granville	5,91 m	6,92 m	6,61 m

Par ailleurs, la concession des polders de l'Ouest a utilisé un plan de comparaison, pour ses levés, situé à 10 m au-dessus des plus hautes mers connues de la baie. Le niveau correspondrait donc à 25 m environ au-dessus du zéro C.M. hydrographique et à une cote voisine de +18,20 m par rapport au zéro I.G.N. 69.

Précisons enfin que la porte de l'avancée du Mont Saint Michel est actuellement à la cote +6,55 m I.G.N. 1969, les anciennes mesures de 1906-1907 la situaient à +13,36 m au-dessus du zéro C.M. des cartes marines... il y aurait donc à cet emplacement une différence de 6,81 m entre le zéro I.G.N. 69 et le zéro hydrographique C.M. utilisé à cette époque, ce qui recoupe à peu près les données disponibles actuellement.

Pour la comparaison des documents topographiques, hydrographiques ou océanographiques (marées), on devra tenir compte de ces différents zéros de référence pour éviter des erreurs d'autant plus appréciables qu'elles se répartissent sur de très grandes étendues.

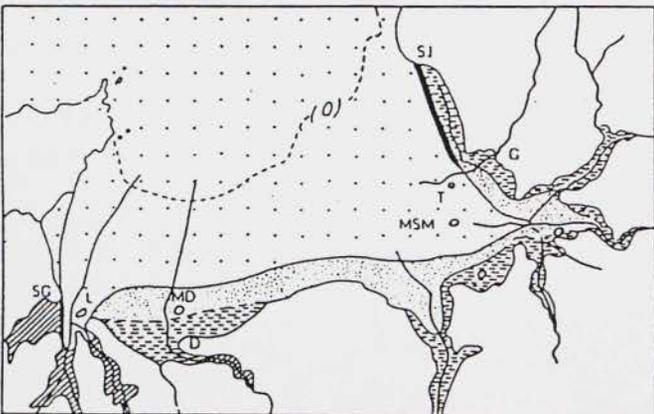
FIGURE N° 2 : VARIATION DU NIVEAU MARIN AU COURS DE L'HOLOCÈNE (-10.000 ANS B.P.)
(transgression flandrienne)



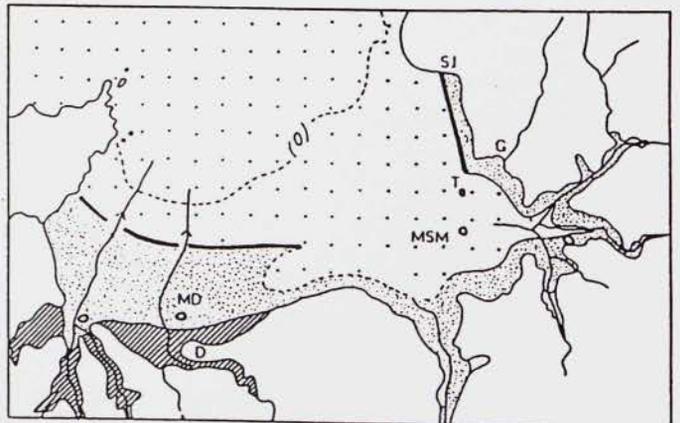
6000 BP

- Les étapes de la transgression holocène dans la Baie du Mont Saint-Michel (jusqu'à 2000 B.P.)

1 : sables et sables silteux marins. 2 : schorre. 3 : marais littoral à cypéracées, limon, argile, tourbe, tourbe sableuse sur sables de couverture (sol podzolique transformé en tourbe par la montée des eaux flandriennes). 4 : cordon littoral. 5 : tourbière
SJ : Saint Jean le Thomas. G : Genêts. T : Tombelaine. MSM : Mont Saint Michel. MD : Mont Dol. D : Dol. SG : Saint Guinoux. L : Lillemer.



4200 - 3500 BP



2000 BP

CHAPITRE I - L'ÉVOLUTION DE LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL AU COURS DU TEMPS – LES INTERVENTIONS HUMAINES DU XIX^{ÈME} SIÈCLE ET DU DÉBUT DU XX^{ÈME} SIÈCLE – LA GRANDE BAIE ET LA PETITE BAIE À LA FIN DU XX^{ÈME} SIÈCLE

Certitudes ou légendes, hypothèses ou rigueurs scientifiques s'appuyant sur des faits incontestables, le problème de l'ensablement des abords du Mont Saint Michel a souvent donné lieu à des controverses sur des détails d'évolution, mais le phénomène essentiel reste indéniable. La baie du Mont Saint Michel se colmate progressivement et continuellement depuis plus de 10.000 ans, modifiant la ligne de rivage qui avance vers le large et les caractéristiques de la petite baie à caractère plus estuarien qui entoure le Mont Saint Michel et Tombelaine.

Les différentes interventions humaines sont venues exacerber un phénomène naturel inéluctable en réduisant les divagations des rivières et ruisseaux dans cette zone et en favorisant les dépôts sédimentaires tant à l'Ouest qu'à l'Est immédiat du Mont, avec des fluctuations dans le temps, et une résultante qui tendrait, à moyen terme, à supprimer, ou tout au moins à réduire considérablement, l'environnement maritime des abords du Mont Saint Michel.

I.1. ÉVOLUTION NATURELLE AU COURS DE LA TRANSGRESSION FLANDRIENNE

I.1.1. La fluctuation du niveau marin et l'évolution de la baie au cours de l'holocène [Figure 2]

À la fin de la dernière période glaciaire (Weichsélien) le niveau de la mer était beaucoup plus bas que dans l'état actuel – à -140 m il y a 18.000 ans B.P., c'est-à-dire par rapport à l'époque actuelle, et le socle de la baie du Mont Saint Michel se trouvait largement au-dessus des mers, entouré par les hauteurs des massifs granitiques cadomiens (massifs de Carolles, Avranches, Saint Broladre) et par les collines schisteuses du briovérien. Ce socle était plus ou moins dégradé par les rivières Sée, Sélune, Couesnon, Biez Jean... [24.d. – 27.e.]

Par suite d'une modification climatique, la fonte des glaciers a entraîné une montée progressive des eaux, d'abord rapide, le niveau de la mer passant à -50 m en l'an 10.000 B.P., puis à -10 m en -7.000 B.P. La mer atteint les reliefs internes dès le Boréal. Le mont Dol et Lillemer forment des îlots au milieu de l'estran. Des schorres apparaissent localement.

Vers 6.500 B.P., la transgression se ralentit – la montée du niveau des eaux atteignant en moyenne 2,5 mm par an – le colmatage de la baie commence avec des dépôts de tangues et à l'Ouest le schorre s'étend progressivement vers le Nord en avant du mont Dol. Des cordons littoraux plus ou moins fragiles se forment et se rompent et des tourbières et marais apparaissent comme on le constate entre 4.200 et 3.500 B.P.

En 2.000 B.P., c'est-à-dire en début de notre ère, la mer a pénétré dans les havres et les vallées. Les sédiments des schorres s'étendent largement atteignant l'altitude des plus hautes mers actuelles.

Dans les havres, une plaine dunaire à niveaux tourbeux vient recouvrir une partie des tangues tandis que le cordon bordant les marais de Dol se forme et, dès le XII^{ème} siècle, des digues sont construites pour renforcer ces cordons (digue de la Duchesse Anne).

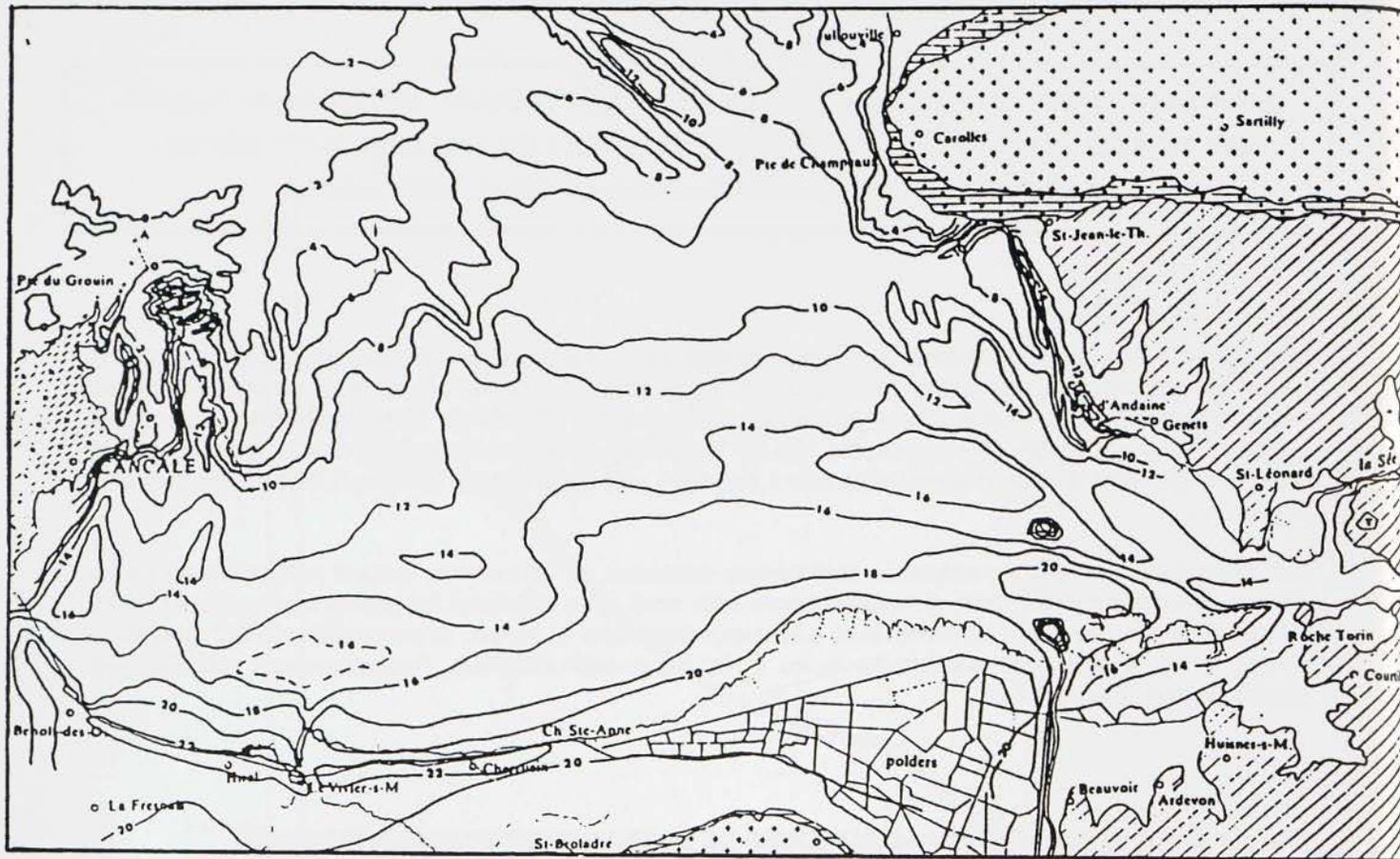
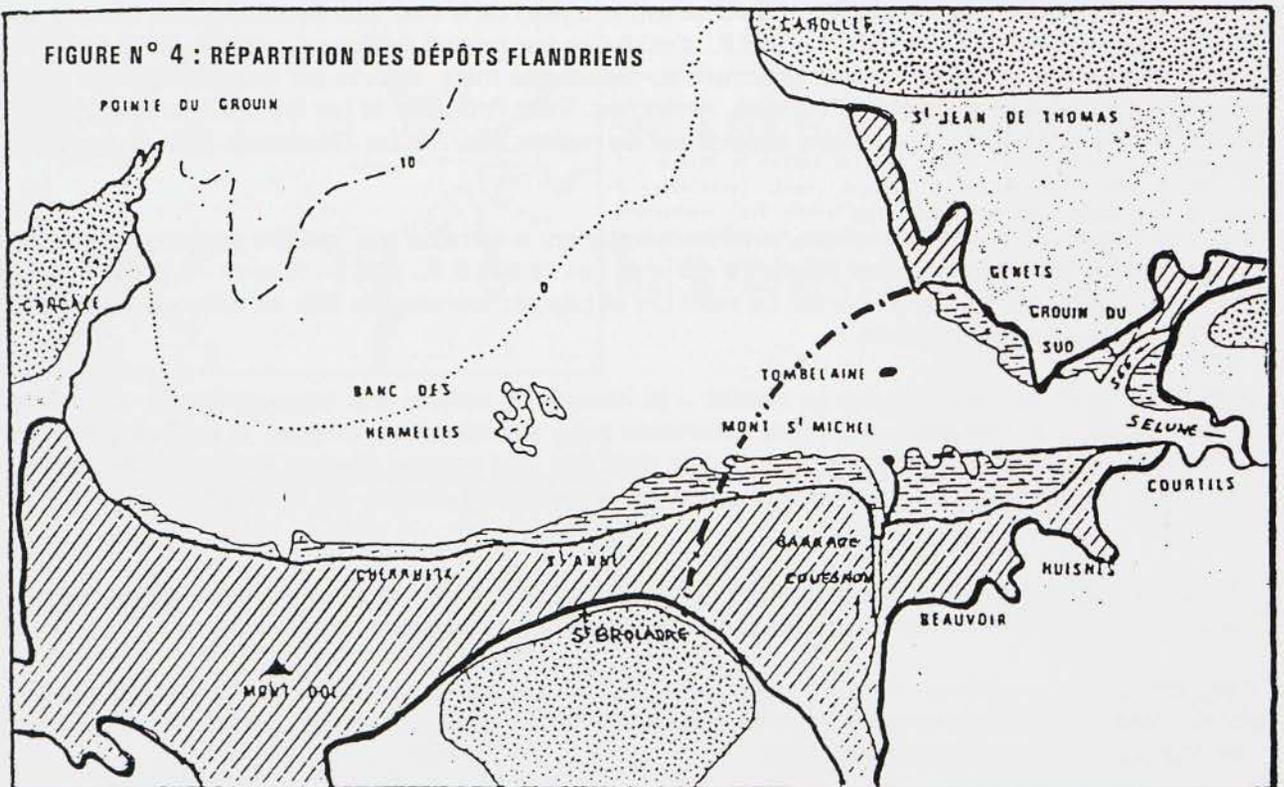


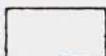
FIGURE N° 3 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES MEUBLES DANS LA BAIE (J.P. AUFFRET)



DÉPÔTS FLANDRIENS (LANCIS TOURBES)



SCHORRI - HERBUS



BRIOVERIEN (SCHISTES)



ROCHES CRISTALLINES

La morphologie de la grande baie du Mont Saint Michel a atteint une configuration voisine de celle que l'on connaît actuellement avec une étendue d'estran couverte et découverte par les marées sur près de 250 km², sillonnée par les rivières Sée, Sélune, Couesnon, Guyoult, Biez Jean... qui, dans leurs divagations, pouvaient remodeler localement les fonds formant, dans certains cas, des interfluves reliés au continent comme cela a pu se passer antérieurement pour la Sélune et le Couesnon donnant naissance à des terrains émergés provisoirement rattachés au continent ; ce qui expliquerait les « pâturages » en bordure du Mont signalés au XVIII^{ème} siècle dans les archives municipales du Mont Saint Michel.

Pour la légende de la forêt de Scissy, détruite en l'an 709 d'après certains écrits du IX^{ème} siècle, le problème est plus complexe et les datations des troncs d'arbres, fossiles, réalisées au carbone 14, n'ont pas permis de les rattacher à ce phénomène. Interfluve solidaire du continent, transgression dunkerquienne, raz-de-marée et fortes tempêtes ont peut-être été à l'origine de cette légende où certains faits ont pu être amplifiés... ou plus simplement certains terrains auraient été défrichés.

I.1.2. Importance des apports sédimentaires dans la baie – Épaisseur et répartition des dépôts anciens

Les dépôts sédimentaires^[1] ont été évalués au cours de l'holocène, et plus particulièrement après 6.000 B.P., à près de 10 milliards de m³, soit un apport moyen annuel de 1,5 à 1,75 millions de m³ pour l'ensemble de la grande baie avec un affinement des sédiments depuis le large jusqu'au fond de la baie où l'on retrouve les marais et les polders [24.a].

Forages et sondages par sismique réflexion en domaine sous-marin et réfraction en domaine intertidal [1] ont permis de dresser une carte donnant la répartition des épaisseurs des dépôts sédimentaires sur le substratum [Figure 3].

Ces épaisseurs augmentent progressivement entre le large et le fond de la baie passant de 4 à 8 m entre la pointe du Grouin de Cancale à la pointe Champeaux de Carolles à près de 20 m entre le Mont Saint Michel et le Vivier sur mer sur toute la face Sud de la baie. Cette même épaisseur de 20 m se retrouve entre le Mont Saint Michel et Tombelaine, mais ne serait que de 8 à 10 m sur la face Est de la baie de Carolles à Genêts.

Les sables fins semblent être le constituant principal du prisme sédimentaire subtidal et intertidal et sont recouverts de vase dans la baie de Cancale et de tanguie là où s'installent les herbues [27.e].

Pour la petite baie du Mont Saint Michel, limitée rappelons-le par un alignement reliant au large le bec d'Andaine à l'Est à Saint Broladre à l'Ouest, passant à 3 km environ au large de Tombelaine et s'appuyant au Sud sur des roches cristallines du massif de Saint Broladre et au Sud-Est sur les schistes qui s'étendent de Pontorson à Avranches, la superficie des zones soumises à l'envahissement de la mer au cours de l'holocène était bien plus grande que dans l'état actuel [Figure 4].

On peut estimer que cette superficie « envahie » par la mer atteignait 150 km² pour la petite baie, soit près du double de la superficie actuelle recouverte par les eaux aux grandes marées d'équinoxe. Le volume des dépôts atteindrait 4 milliards de m³ dans la petite baie représentant une sédimentation moyenne d'environ 0,7 million de m³ par an depuis l'an 6.000 B.P. où l'on admet que le colmatage de la baie a commencé.

Ces volumes de dépôts, bien que très importants, ne représentent en moyenne que 4,5 mm d'épaisseur par an avec, il est vrai, des zones à plus forte sédimentation et d'autres plus stables, notamment dans le lit des rivières qui sillonnent la petite baie, et des fluctuations importantes dans le temps.

^[1] La plus grande prudence doit être faite pour l'estimation du volume des dépôts depuis 6.000 B.P. Aux bilans sédimentologiques classiques, il faut en effet ajouter des raisonnements en terme de géologie du bassin (A. L'HOMER).

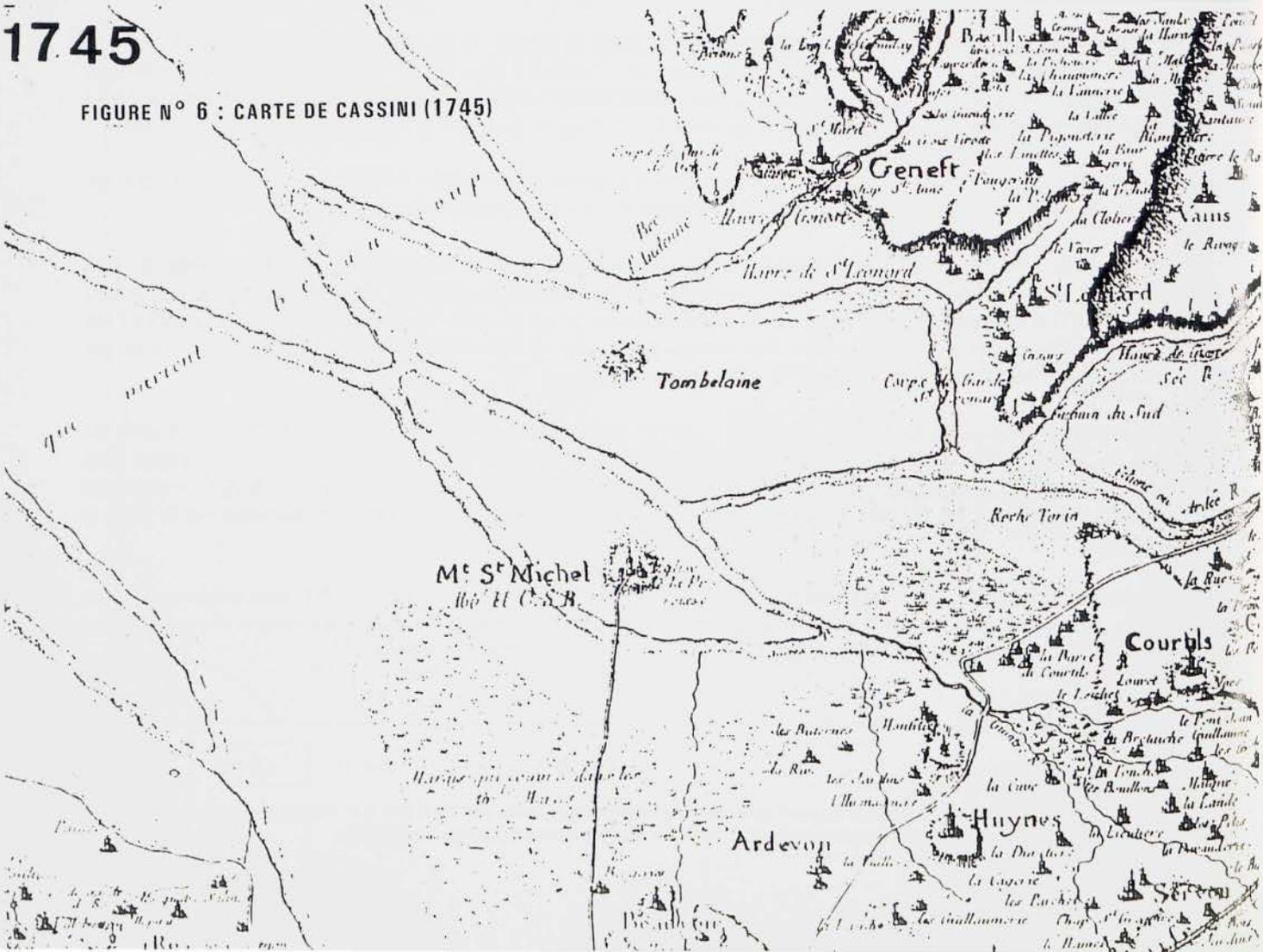
1705



FIGURE N° 5 : CARTE ÉTABLIE EN 1705 PAR N. DE FER

1745

FIGURE N° 6 : CARTE DE CASSINI (1745)



I.1.3. Les divagations des rivières aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles

Avant leur endiguement, les rivières et ruisseaux se jetant dans la baie du Mont Saint Michel subissaient des divagations importantes permettant de « balayer » localement les atterrissements sédimentaires susceptibles de se former aux abords du Mont et s'opposant ainsi au développement de la végétation.

Des images anciennes, empruntées de légendes, montraient le Mont Saint Michel entouré par la mer sillonnée de bateaux vers le XV^{ème} siècle. Le miracle de l'Archange sauvant une femme enceinte que la marée submergeait, conduit à cette même image du Mont au milieu des eaux vers le XIV^{ème} siècle [45].

Une tentative de carte de la baie et du plan du Mont Saint Michel par N. De Fer et datée de 1705 donne la même morphologie marine autour du Mont « enchâssé » par les eaux [Figure 5].

La carte de Cassini (XVIII^{ème} siècle – 1745) dessinait un Mont Saint Michel entouré par la Sélune et la Guintre, tandis que le Couesnon était très infléchi vers l'Ouest venant passer au pied même de Roz-sur-Couesnon [Figure 6].

Au cours de cette période et pendant tout le XIX^{ème} siècle, la Sée et la Sélune, aidées de la Guintre, divaguaient sur toute la zone comprise entre la Côte Nord et la Côte Sud de la petite baie, venant tantôt lécher les rivages de Genêts et du bec d'Andaine, tantôt ceux du littoral de Courtils, Huisnes, Ardevon, Beauvoir, la Sée et la Sélune étant passées de 1856 à 1859 entre le Mont Saint Michel et la terre au lieu-dit la Caserne. Ces divagations se retrouvent d'ailleurs à des époques antérieures et en 1770 la Sée et la Sélune auraient longé la côte à Genêts pour couler au pied du Mont de 1817 à 1824, repasser au Nord en 1830 et venir vers 1856 détruire près de 500 hectares de terrains sur les communes d'Huisnes et d'Ardevon [Figure 7].

Les mêmes divagations sont constatées pour le Couesnon avant sa canalisation. Au cours de la première moitié du XIX^{ème} siècle, le cours du Couesnon variait sur un angle de près de 90° passant d'une orientation Ouest en 1805 le long du littoral breton (en 1769 le Couesnon serait passé à 700 m de l'église de Roz-sur-Couesnon) à une orientation Nord dirigée vers le Mont entre 1820 et 1830 pour revenir vers le Nord-Ouest vers 1850. Cent ans plus tôt vers 1735, le Couesnon serait passé à l'Est entre le Mont et Tombelaine... ce phénomène s'étant reproduit sept fois de suite d'après les récits anciens, bien que les historiens s'accordent pour dire que la tendance naturelle du Couesnon était de s'infléchir vers l'Ouest.

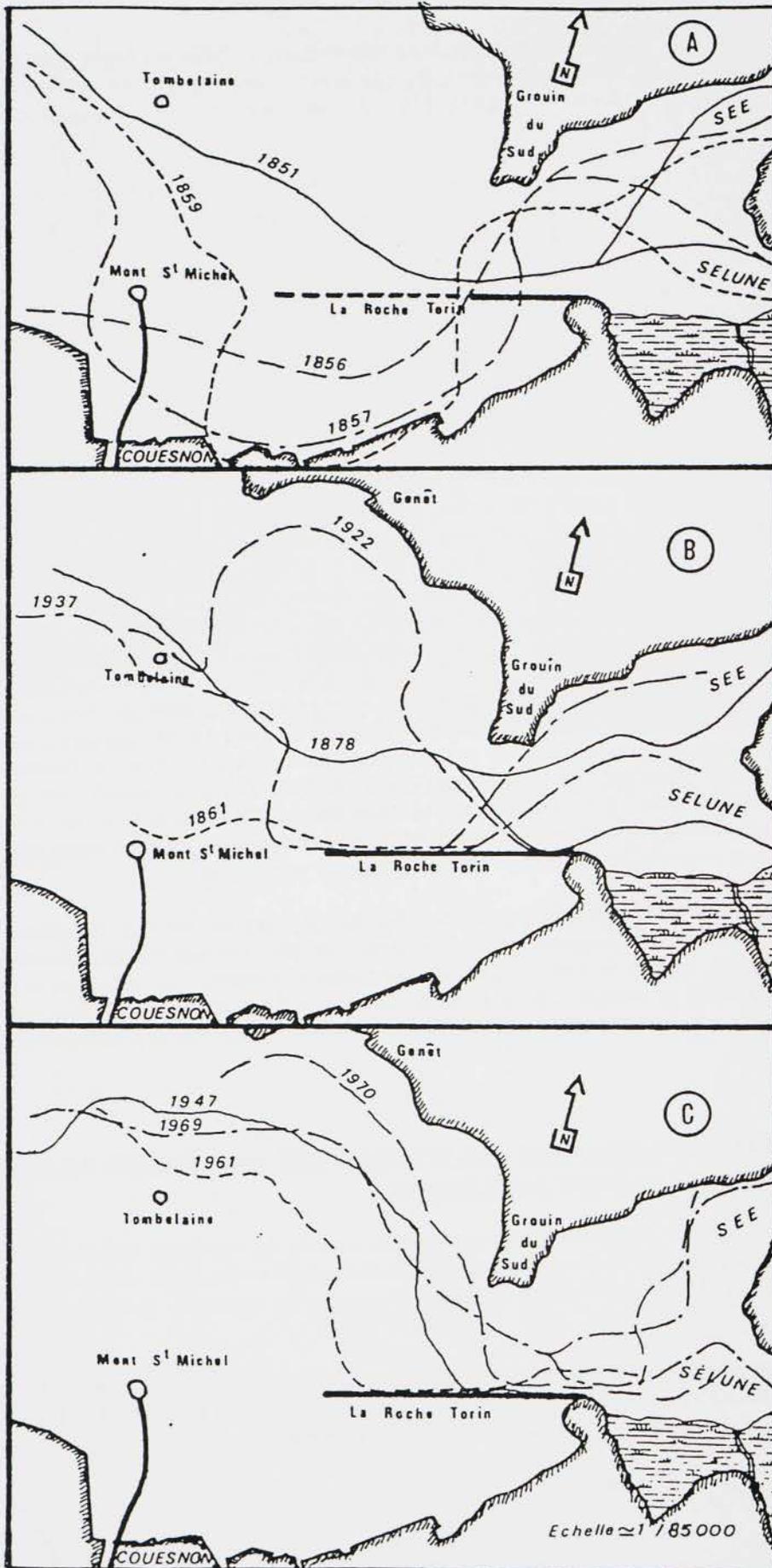
Dans tous ces écrits anciens, on retrouve la puissance dévastatrice, pour les terrains agricoles, des rivières qui se jetaient dans la baie et leurs divagations épisodiques qui venaient balayer les atterrissements susceptibles de se produire dans le fond de la baie. Toutes les interventions humaines auront pour but de s'opposer à cette puissance hydraulique en essayant de la canaliser et de la réduire pour protéger les zones agraires, et gagner du terrain sur la mer faisant perdre progressivement au Mont Saint Michel son caractère maritime.

I.2. LES INTERVENTIONS HUMAINES – LA CANALISATION DES RIVIÈRES ET LES POLDÉRISATIONS – L'ACCÈS AU MONT SAINT MICHEL

Les interventions humaines ont concentré et fixé les apports marins au voisinage du Mont en mettant en place des solutions de poldérisation, le Mont Saint Michel étant situé en avant-garde entre les terres susceptibles d'être conquises par l'homme à des fins agricoles et les vastes étendues marines soumises au jeu continu des marées.

Par ailleurs, la nécessité de faciliter l'accès au Mont pour les pèlerins et les touristes, attirés par un engouement spirituel et par la beauté du site, allait conduire à la réalisation d'une digue d'accès insubmersible et à des parkings répondant aux nécessités croissantes du nombre de visiteurs.

FIG.7^A : DIVAGATIONS DES COURS DES RIVIERES SEE ET SELUNE AVANT ET APRES CONSTRUCTION DE LA DIGUE ROCHE-TORIN



I.2.1. Les travaux antérieurs à 1856 – Concession accordée à Quinette de la Hogue

Dès le XI^{ème} siècle, des travaux furent entrepris pour consolider le cordon littoral qui protégeait les marais de Dol, transformés ultérieurement en une digue d'une trentaine de kilomètres de longueur. Le Guyoult fut canalisé, un réseau de drainage et des exutoires aménagés permettant de dénoyer les terrains situés au-dessus du niveau des plus hautes mers.

À partir de 1769, une concession de 2.500 hectares fut accordée à Quinette de la Hogue le long des rivages de Moidrey, Beauvoir, Ardevon et Huisnes englobant le schorre ou « herbus » qui existait déjà à cette époque [Figure 8].

En 1810, près de 950 hectares de terrains étaient enclos et cultivés, mais trente ans plus tard les 2/3 de ces terrains étaient détruits et, au milieu du XIX^{ème} siècle, les enclos d'Huisnes et d'Ardevon devaient être emportés par une divagation vers l'Ouest de la Sée et de la Sélune réunies en un seul cours d'eau venant longer le littoral et passer entre le Mont Saint Michel et le continent.

I.2.2. La conquête des terres sur la mer dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle et la première moitié du XX^{ème} siècle – Concession accordée à la Compagnie Mosselmann – La suppression des divagations des rivières et les poldérisations [24.a. – 27.e et 45]

En 1856, la Compagnie hollandaise Mosselmann, qui s'appellera ultérieurement Compagnie des Polders de l'Ouest, obtint la concession des terrains compris entre la terre ferme et une ligne de près de 20 kilomètres de longueur joignant la Chapelle Sainte Anne, le Mont Saint Michel et Roche Torin.

Les premiers travaux porteront sur la protection de la concession contre les divagations des rivières Couesnon, puis Sée – Sélune, ainsi que des ruisseaux Guintre, d'Huisnes et de Beauvoir qui se jetaient sur le littoral entre le Mont et Roche Torin.

I.2.2.1. CANALISATION DU COUESNON (1858 à 1863)

Réalisée entre 1858 et 1863, la canalisation du Couesnon a été effectuée sur une longueur de 5.600 m entre l'amont de l'anse de Moidrey et le Mont Saint Michel. Le nouveau lit du Couesnon est creusé sur 4.000 m dans les enclos de Beauvoir et sur les 1.600 m restants dans les grèves.

Entre l'anse de Moidrey et la Caserne, le canal est bordé par des digues en tangué insubmersibles.

À son débouché sur le littoral, en aval de la Caserne et jusqu'au Mont, l'endigage est assuré par deux cordons d'enrochements submersibles arasés à la cote +4 à +4,50 m I.G.N. 69, délimitant un chenal de largeur croissante de 70 à 120 m jusqu'au Mont avec une profondeur initiale de 6 à 7 m sous le niveau des plus hautes mers d'équinoxe, soit environ entre +1 et +2 m I.G.N. 69. Le cordon d'enrochement est prolongé de 100 m au-delà du Mont sur la rive gauche. Dans l'état actuel, ces cordons sont enfouis sous les dépôts sédimentaires, sur presque toute leur étendue, et ne se voient pratiquement plus.

Le chenal du Couesnon dans sa partie aval se serait creusé en grande partie naturellement par auto-dragage après déviation du cours de la rivière en 1858 à l'aide d'une levée insubmersible (barrage du Pas aux Bœufs) [Figure 7.b], ce qui tendrait à montrer à cette époque la puissance de la rivière soumise aux jeux des courants de marées qui se réduira progressivement au fur et à mesure que la partie estuarienne du Couesnon se sédimentera [28.a.].

De même, on constatera les difficultés de maintenir le Couesnon à sa sortie en mer entre les digues submersibles qui seront franchies à plusieurs reprises.

FIGURE N° 7^B: DIVAGATIONS DES RIVIÈRES DANS LA PETITE BAIE - COUESNON

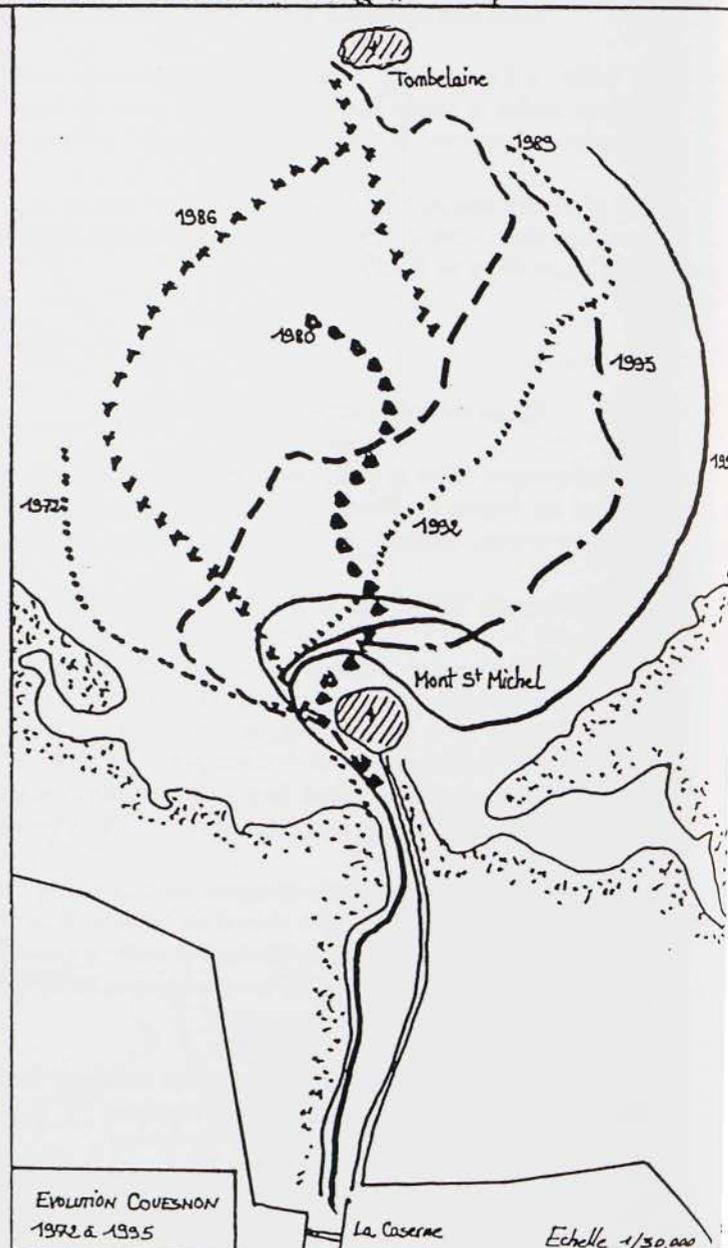
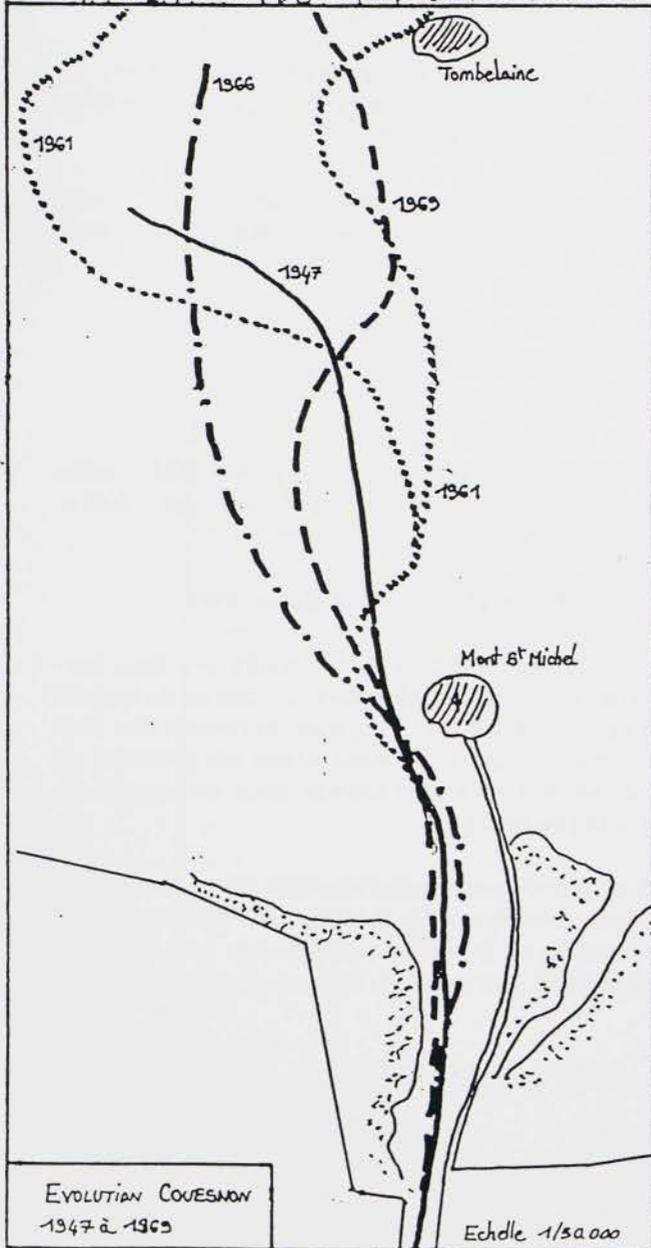
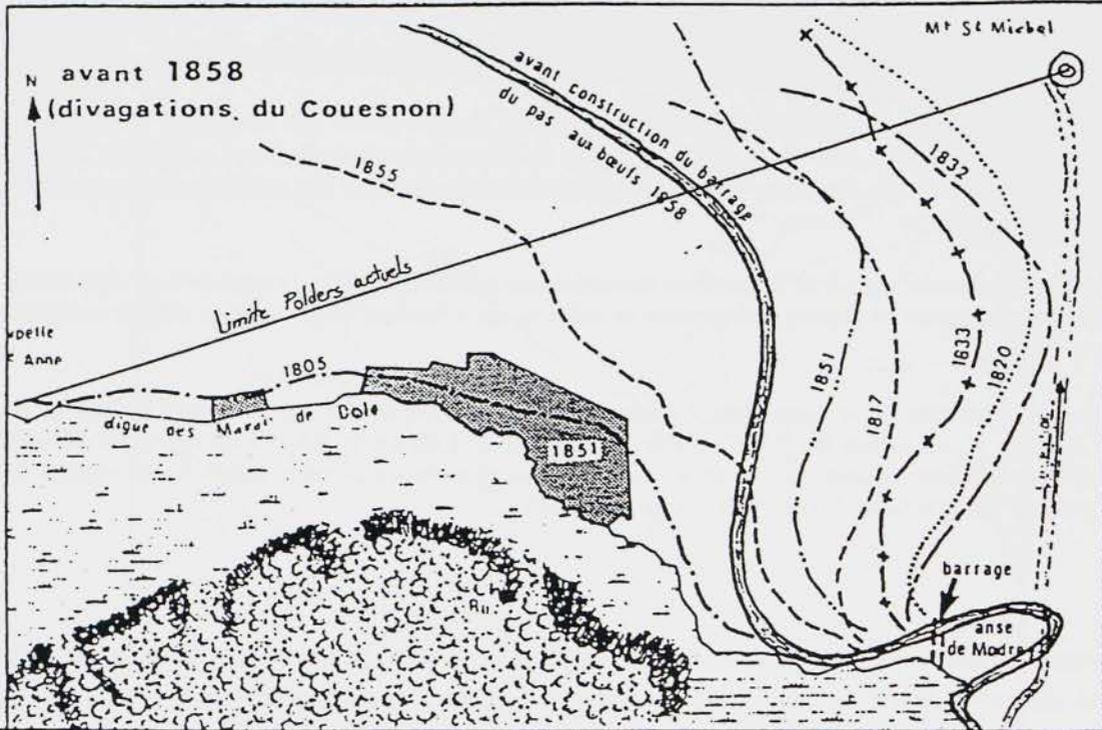
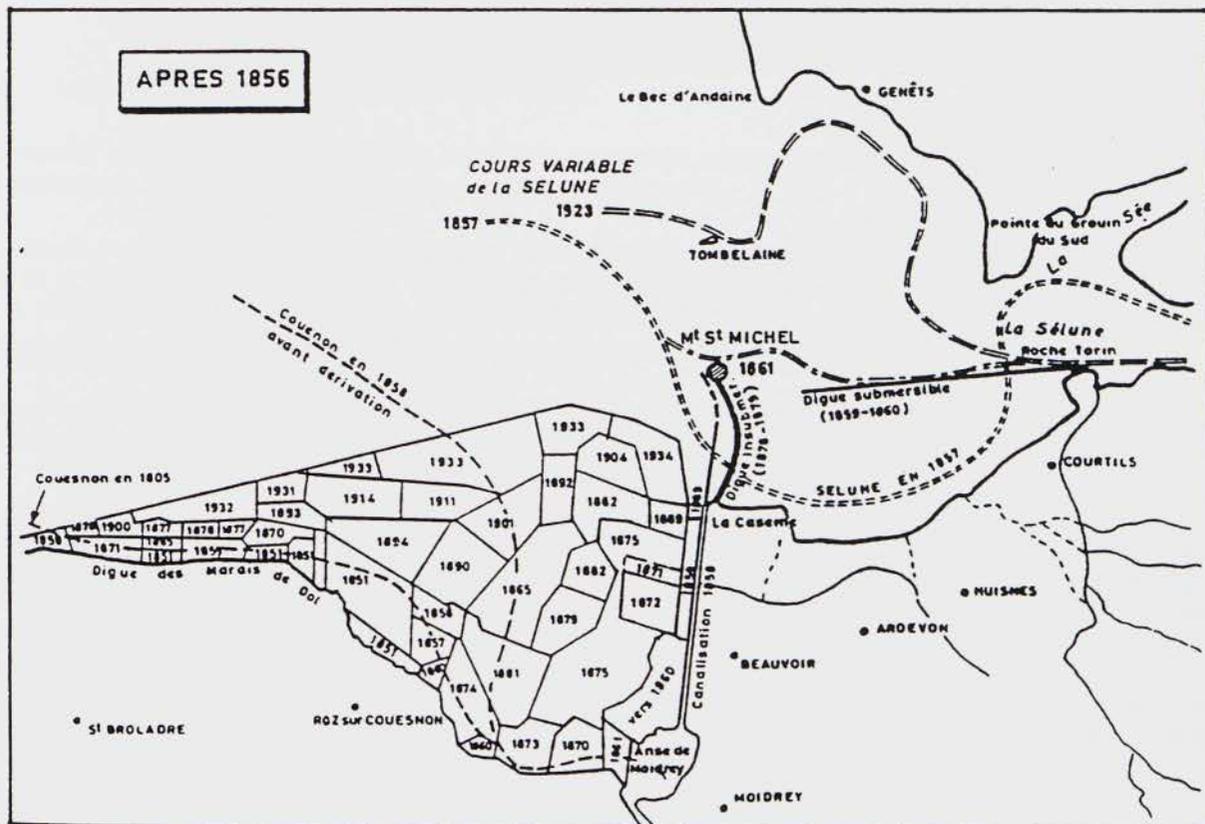
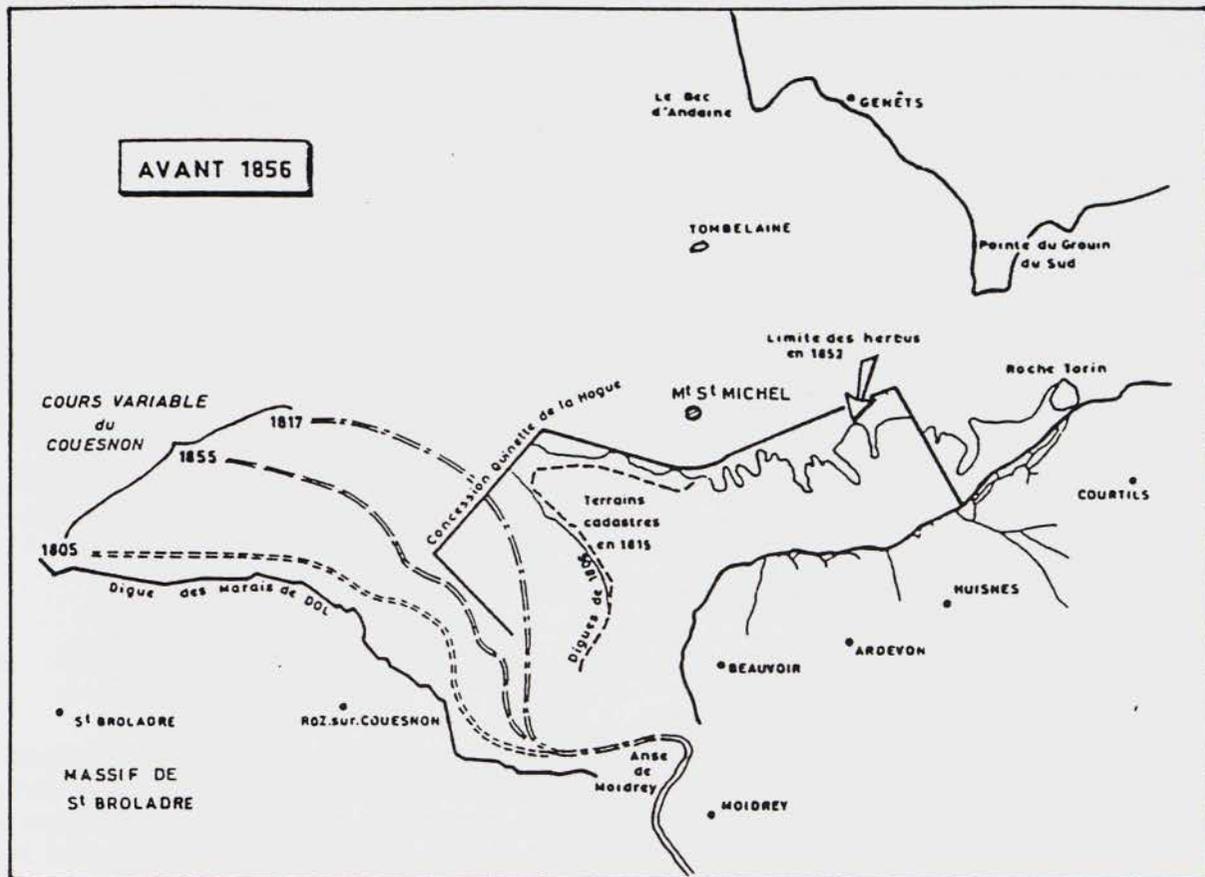
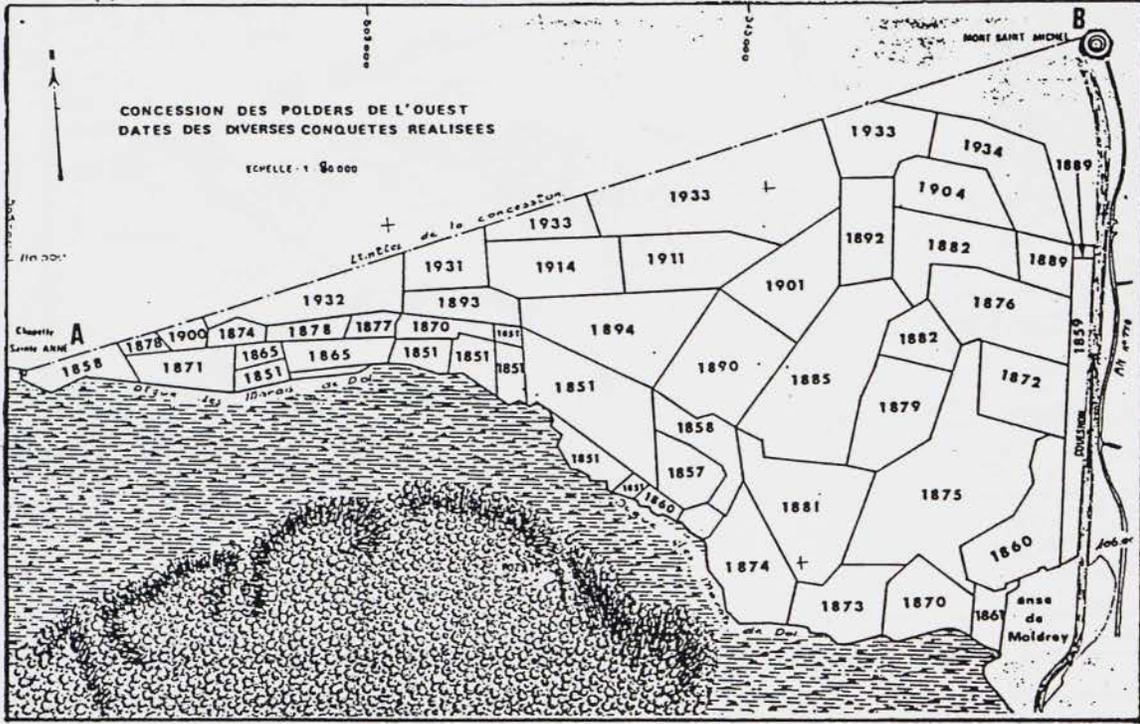


FIGURE N° 8 : INTERVENTIONS HUMAINES : CANALISATIONS DES RIVIÈRES ET POLDÉRISATION



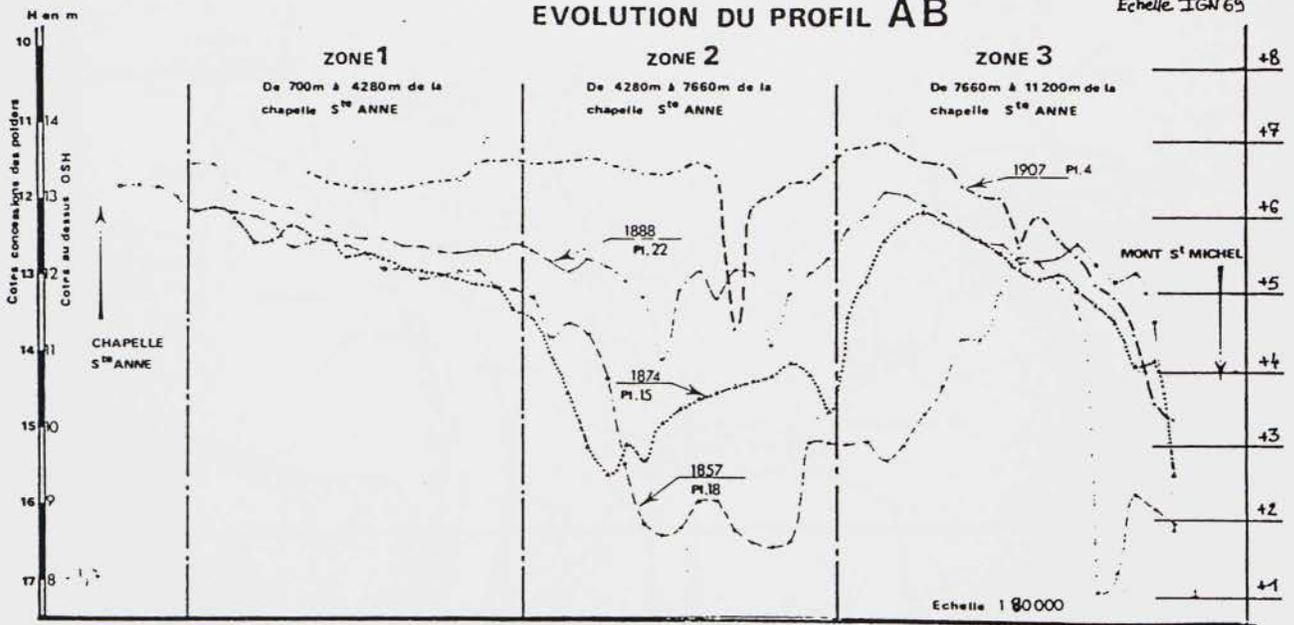
Mont-Saint-Michel. Principales interventions humaines aux abords du Mont-Saint-Michel.

FIGURE N° 9 : POLDÉRISATION À L'OUEST DU MONT SAINT MICHEL



ÉVOLUTION DU PROFIL AB

Echelle IGN 69



I.2.2.2. CONSTRUCTION DE LA DIGUE DE ROCHE TORIN (1861-1862) POUR S'OPPOSER À LA DIVAGATION VERS LE SUD DE LA SÉE ET DE LA SÉLUNE

Pour éviter la divagation des rivières Sée et Sélune vers le Sud, une digue submersible devant relier la pointe de Roche Torin au Mont Saint Michel fut entreprise entre 1861 et 1862.

Par suite de difficultés résultant de l'instabilité des fonds, cette digue ne put être réalisée que sur une longueur de 4.900 m sur les 6.300 m qui séparaient le Mont Saint Michel de la pointe de Roche Torin.

Cette longueur a été suffisante pour s'opposer à la divagation des rivières vers le Sud, les divagations étant reportées vers le Nord, leur cours ayant tendance à se fixer entre Genêts et Tombelaine depuis 1930 alors qu'il passait au Sud de Tombelaine avant la fin du XIX^{ème} siècle [Figure 7].

Cette digue de Roche Torin sera partiellement arasée en 1983-1984 ; des vestiges restant encore à des cotes voisines de +6 m I.G.N. 69 alors qu'il avait été envisagé de l'araser entre +2,50 et +1,50 m [41].

I.2.2.3. DÉVIATION DU COURS DE LA GUINTRE ET DES RUISSEAUX DE L'HUISNES ET DE BEAUVOIR (RUISSEAUX LANDAIS ET D'ARDEVON) (1879 À 1884)

Pour favoriser le colmatage des fonds situés à l'Est du Mont et protégés par la digue de la Roche Torin, les petits ruisseaux qui se jetaient le long de cette partie du littoral, en sillonnant les grèves, ont été détournés par le creusement de deux canaux débouchant respectivement à l'Est de Roche Torin dans la Sélune pour la Guintre, et dans le Couesnon entre la Caserne et Beauvoir pour les ruisseaux Landais et d'Ardevon.

I.2.2.4. LA POLDÉRISATION À L'OUEST DU MONT SAINT MICHEL

Les premiers polders furent enclos dès le début des travaux de canalisation des rivières en 1858 et les derniers réalisés en 1934 avec l'échelonnement donné sur la Figure 9.

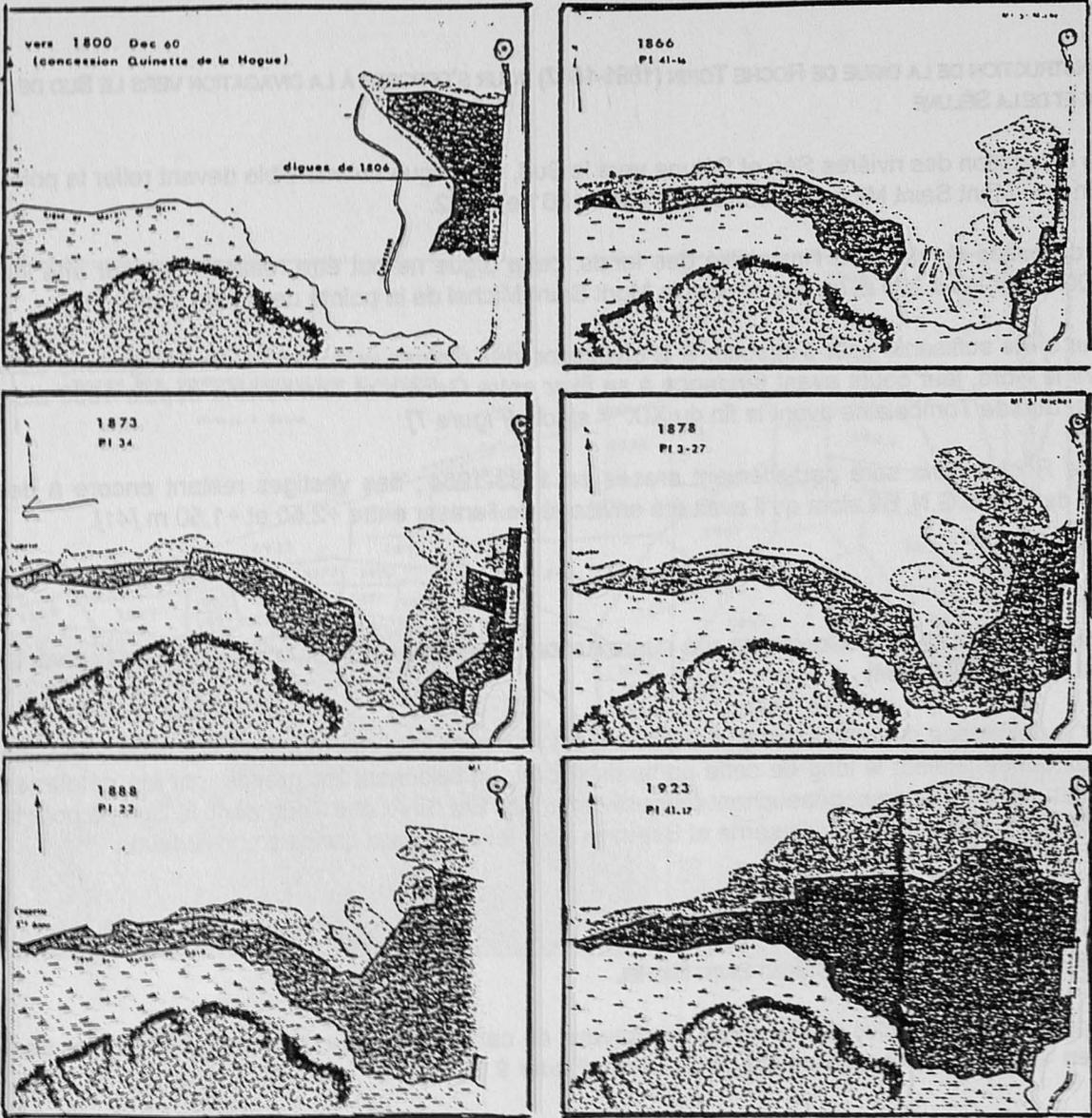
Ces polders étaient aménagés par enclôture du schorre lorsque leur niveau atteignait environ la cote +6,5 m I.G.N. 69 et que l'herbu l'avait colonisé. L'enclôture était faite au moyen d'une digue en tangué dépassant de 1,50 m environ le niveau des plus hautes mers avec une largeur en crête de l'ordre de 2 m. Les enclôtures suivaient donc, en pratique, la progression naturelle des herbous.

La comparaison des profils en travers réalisés dans cette zone depuis 1857 tend à montrer que l'épaisseur des dépôts dans la zone des polders a pu atteindre 3 à 5 m dans cette partie Ouest du Mont Saint Michel [Figure 10].

Des estimations des dépôts dans ces polders de l'Ouest, limités au large par un alignement Mont Saint Michel – Chapelle Sainte Anne et à l'Est par le Couesnon canalisé, et atteignant une superficie de 35 km² environ, conduiraient à un volume total de 45 à 50 millions de m³ entre 1857 et 1934, soit 0,6 à 0,65 million de m³ par an et une épaisseur moyenne des dépôts de 18 mm par an [24.a].

À l'extérieur de cette concession, les documents disponibles ne permettent pas d'avancer une valeur des dépôts au cours de cette période, mais les quelques profils réalisés montrent qu'ils sont loin d'être négligeables.

FIGURE N° 10 : ÉPAISSEUR DES DÉPÔTS DANS LES POLDERS DE L'OUEST



Km² EVOLUTION DANS LE TEMPS DES SURFACES ENCLOSSES OU RECOUVERTES D'HERBUS

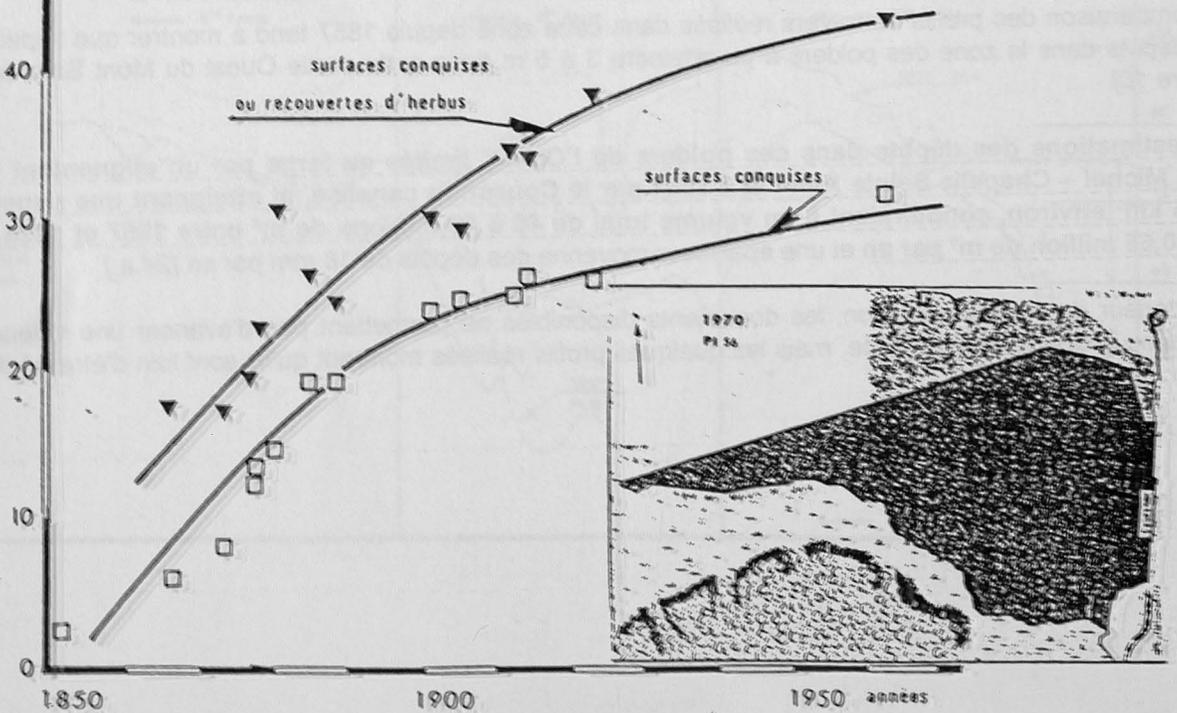


FIGURE N° 11 : ÉVOLUTION DES DÉPÔTS À L'EST DU MONT SAINT MICHEL

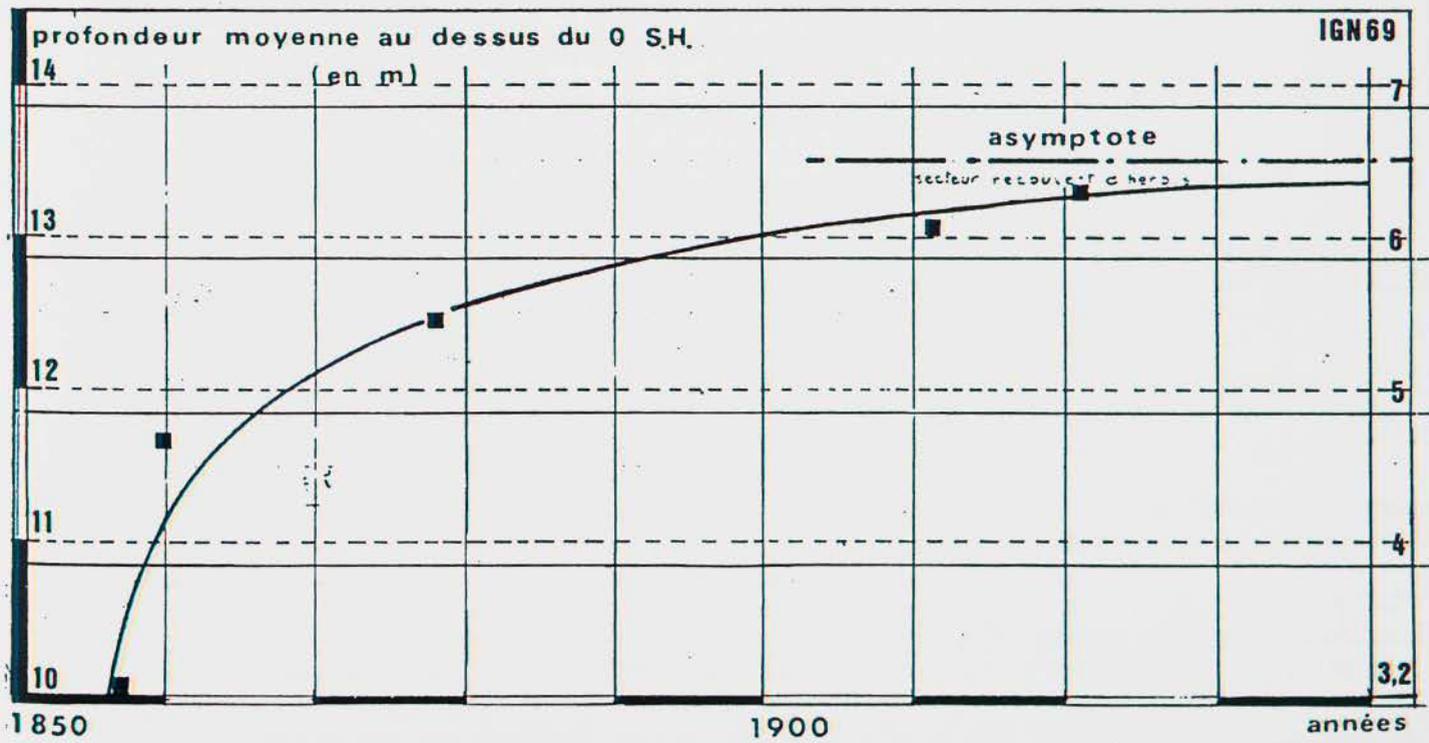
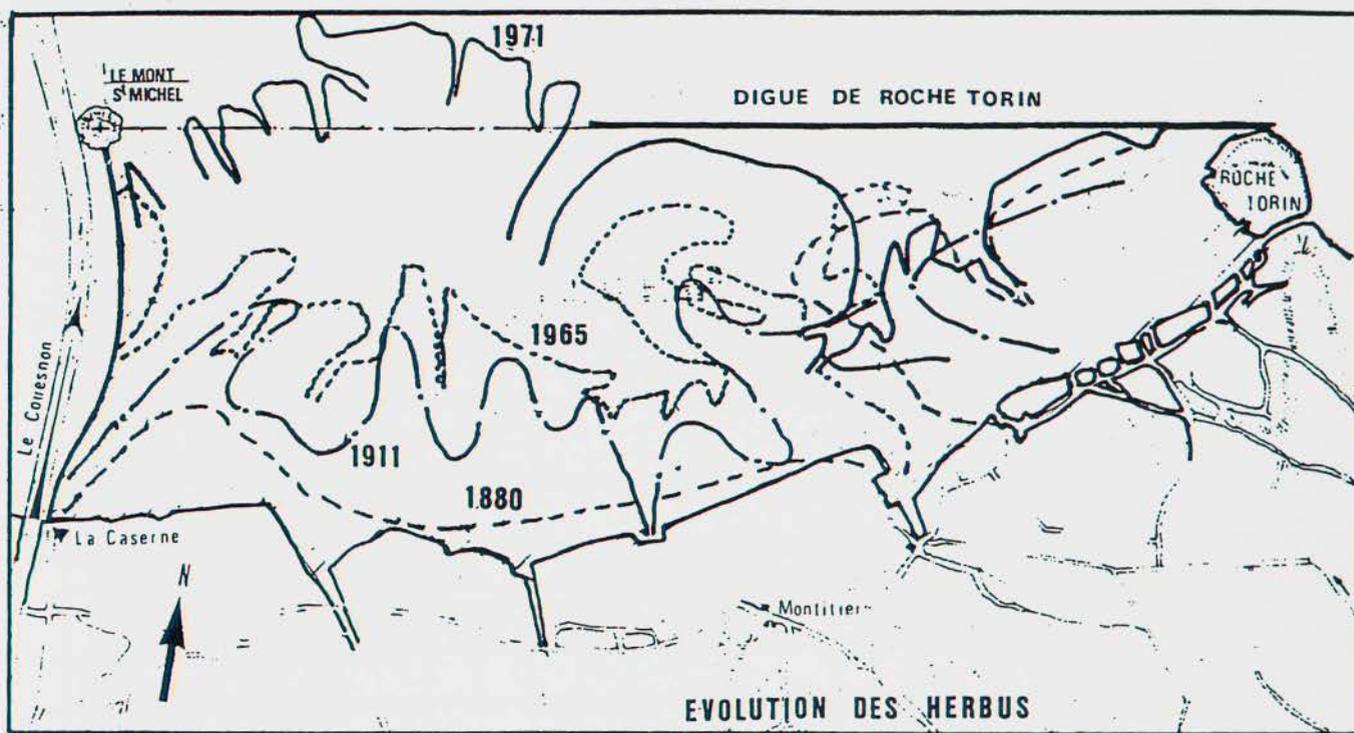
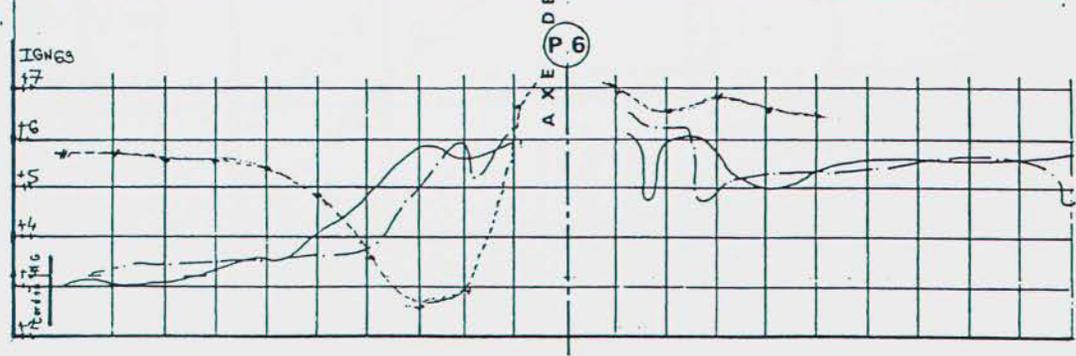
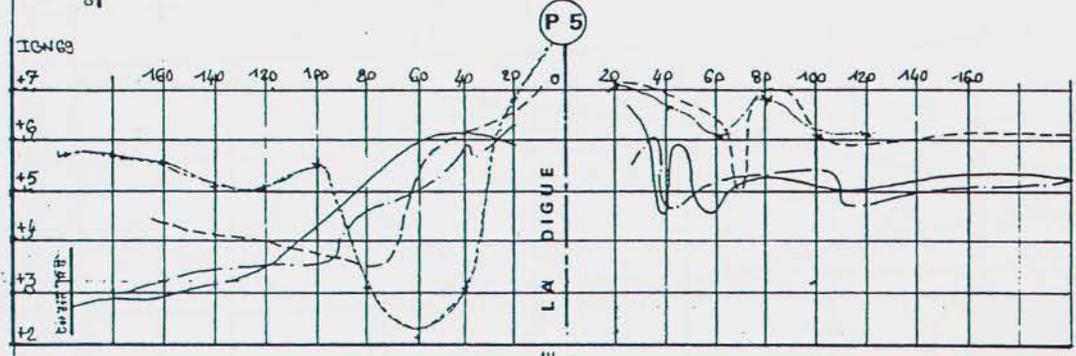
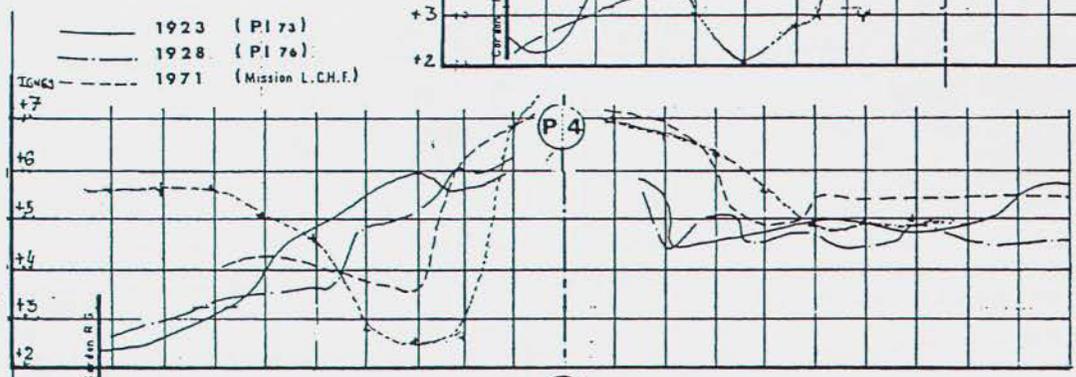
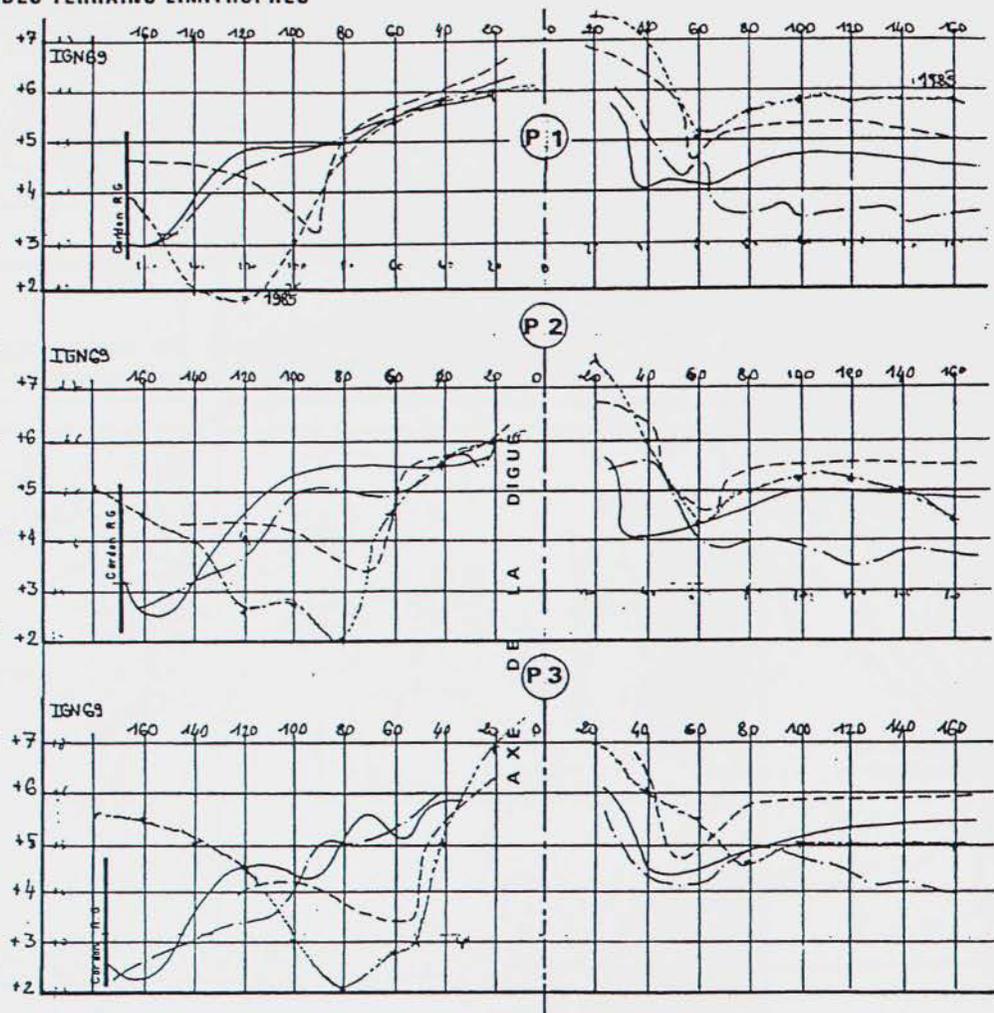
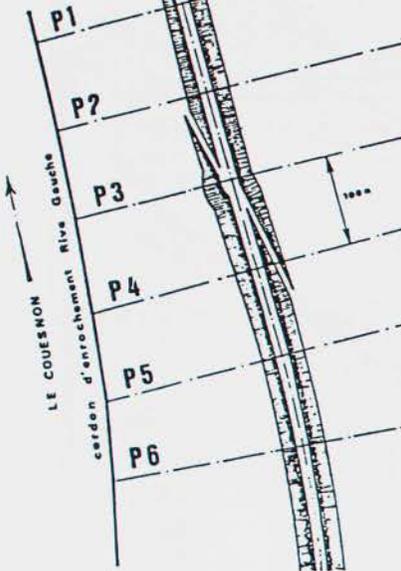


FIGURE N° 12 : LA DIGUE D'ACCÈS AU MONT SAINT MICHEL -

PROFILS EN TRAVERS DES TERRAINS LIMITOPHES



I.2.2.5. LA POLDÉRISATION À L'EST DU MONT SAINT MICHEL

Si les fonds se sont exhaussés dans la zone comprise au Sud de l'alignement Mont Saint Michel – Roche Torin, délimitée partiellement par la digue du même nom réalisée en 1861-1862, on ne peut pas parler à proprement parler de « poldérisation », mais d'une avancée appréciable du trait de côte avec envahissement par les herbues.

Sur une superficie de 12,5 km² que représente cette zone Est, des levés partiels de 1860, 1878, 1911 et 1921 permettent d'évaluer la variation des dépôts dans le temps avec une valeur de l'ordre de 20 à 30 millions de m³, soit de 0,35 à 0,50 million de m³ par an. L'épaisseur moyenne des dépôts atteindrait 30 mm par an [Figure 11].

Au Nord de la digue de la Roche Torin et jusqu'à Tombelaine et Genêts, il est difficile d'évaluer l'importance des dépôts au cours de la même période. La comparaison de quelques profils permet d'admettre que les fonds ont tendance à s'exhausser sans que l'on puisse préciser les volumes d'apports au cours de la fin du XIX^{ème} siècle et du début du XX^{ème} siècle.

I.2.2.6. ÉVALUATION GLOBALE DES DÉPÔTS DANS LES POLDERS DE L'OUEST ET DE L'EST ENTRE 1860 ET 1930

Uniquement dans le secteur limité au large par un alignement la Chapelle Sainte Anne – Mont Saint Michel – pointe de Roche Torin, les dépôts auraient atteint, sur une superficie de 45 à 50 km², un volume de 65 à 80 millions de m³ au cours de la période de 1860 à 1930, soit une sédimentation moyenne annuelle de 0,95 à 1,15 millions de m³ par an ou plus simplement de 1 million de m³ par an.

Cette période qui correspond à des interventions humaines importantes avec la canalisation du Couesnon, la déviation de la Sée et de la Sélune vers le Nord et l'Est, la suppression des petits ruisseaux Guintre, Ardevon... qui se jetaient sur le littoral Est, conduit à une sédimentation aux abords du Mont Saint Michel nettement plus importante que celle que l'on a pu estimer au cours des 6.000 dernières années que représente l'holocène (0,7 million de m³ par an pour la petite baie).

En tenant compte des apports possibles, mais non chiffrables, sur le reste de la petite baie du Mont Saint Michel, non pris en compte dans les zones poldérisées, il est probable que le taux de sédimentation de cette fin du XIX^{ème} siècle et début du XX^{ème} siècle a été 1,5 à 2 fois supérieur à la moyenne des dépôts de l'holocène ; les interventions humaines ayant concentré les dépôts plus près du Mont Saint Michel.

I.2.3. La digue insubmersible d'accès au Mont Saint Michel (1878-1879)

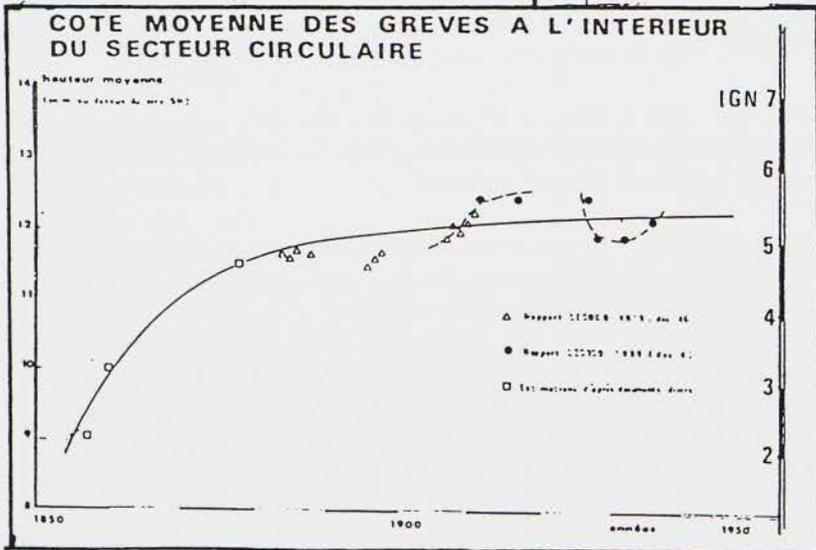
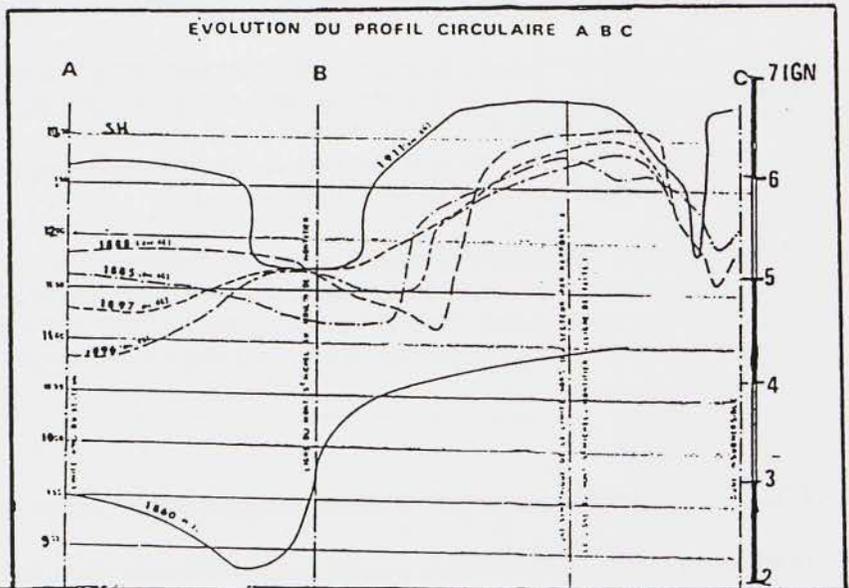
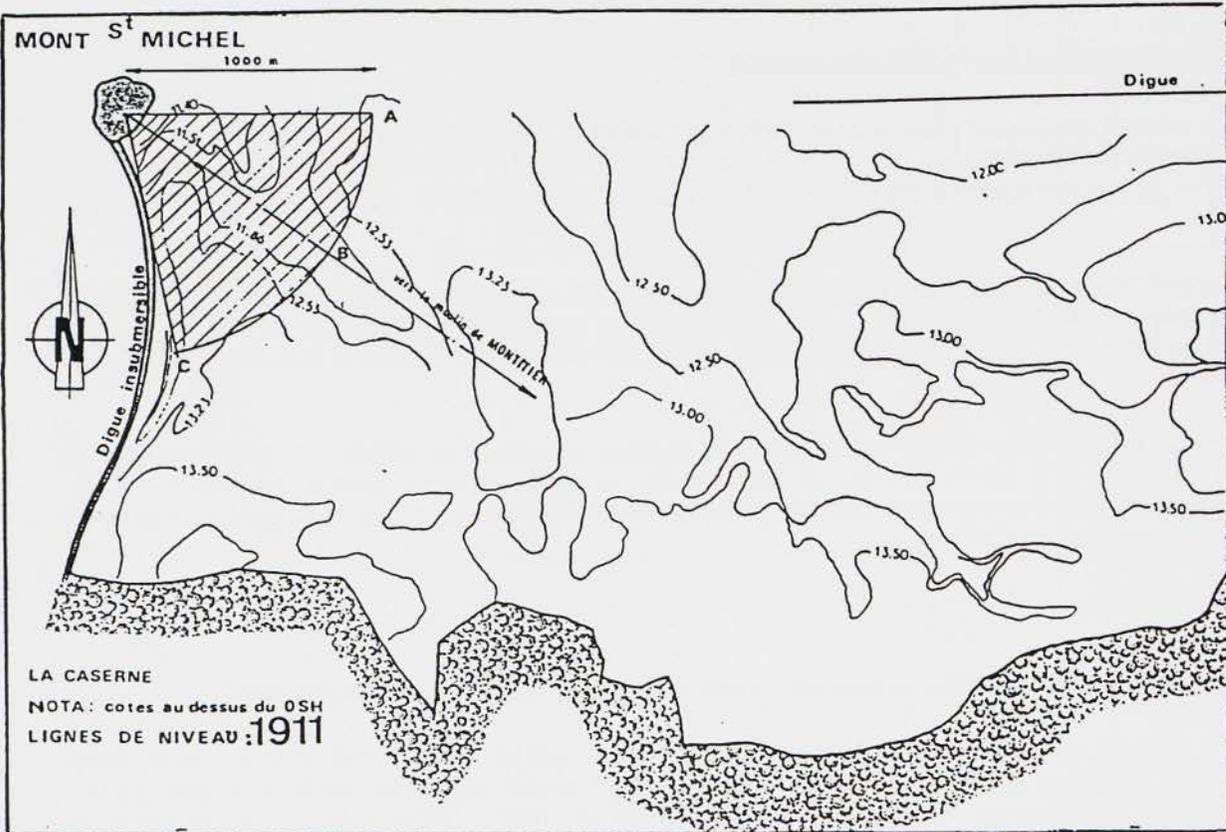
Construite en 1878-1879, la digue insubmersible reliant le Mont Saint Michel au rivage déchaîné, même avant la fin de sa construction, les critiques ou les défenses les plus passionnées. Son but était non seulement de permettre l'accès au Mont par tous les temps, mais de faciliter la navigation dans le Couesnon.

Réalisée sur une longueur totale de près de 2.000 m – entre le Mont et le lieu-dit la Caserne – cette digue a une largeur à la base variant, actuellement, entre 100 m à son origine et 150 m aux abords du Mont avec des cotes d'arasement comprises entre +9,50 m et +9,25 m sur son tronçon terminal.

Les profils en travers levés en 1988 montrent qu'au voisinage de son enracinement cette digue d'accès est bordée de terrains situés à des cotes voisines de +7 m I.G.N. 69 sur sa face Est et à +6,5 à +7 m sur sa face Ouest. Les berges du Couesnon se situant dans cette zone à 70 m de l'axe de la digue.

À 450 m du Mont, le Couesnon vient longer la digue pour s'en éloigner à une centaine de mètres laissant un emplacement semi-submersible à l'Ouest entre les cotes +6 et +5 m sur une cinquantaine de mètres de large ; tandis qu'à l'Est les fonds varient entre +6 et +7 m sur plus de 70 m de largeur permettant à des parkings de s'y installer avec une protection contre la mer par une levée de terre [Figure 12].

FIGURE N° 13 : ÉVOLUTION DU NIVEAU DES GRÈVES AU SUD-EST DU MONT SAINT MICHEL



Utilisée tout d'abord comme accès pédestre, cette digue fut aménagée pour recevoir le train assurant la liaison avec Pontorson pour connaître, après la dernière guerre, un accès sans cesse croissant de voitures regroupées dans les parkings réalisés aux abords du Mont de part et d'autre de la digue d'accès.

L'influence de cette digue d'accès sur le colmatage des fonds aux abords du Mont est difficile à apprécier.

Dès 1883, le Maire du Mont Saint Michel se fait le défenseur de cet ouvrage qui non seulement facilite l'accès au Mont des riverains et pèlerins en tous temps sans encourir les risques d'une traversée à pied sur les grèves, mais aurait facilité les conditions de navigation autour du Mont et vers le port de Pontorson en supprimant notamment les violents courants traversiers. Parallèlement, cette digue protège les terrains situés à l'Est du Mont Saint Michel des vents d'Ouest et atténue les vagues évitant ainsi le désastre survenu en 1856 et 1859 aux enclos d'Huisnes et d'Ardevon... L'influence de la digue insubmersible pour favoriser le colmatage des terrains à l'Est du Mont apparaît.

Certains défenseurs de la digue, par contre, n'hésitent pas à prétendre que cet ouvrage participe au maintien des profondeurs au voisinage immédiat du Mont et que « loin de contribuer à l'ensablement du Mont, en a dégagé les abords immédiats » (délibération Conseil Municipal du 22 Juin 1928)...

Il est difficile de prendre une position précise sur l'influence exacte de la digue d'accès sur l'évolution des fonds aux abords immédiats du Mont Saint Michel.

Il apparaît, d'après des mesures faites en nature par le L.C.H.F. en 1975, que des différences du niveau des eaux existent au moment du flot entre l'Est et l'Ouest de la digue, ce qui pourrait entraîner des courants appréciables pour dégager les sables entre le Mont et la terre si la digue route était perméable sur une partie de son trajet.

Encore faut-il que les terrains limitrophes de la digue – tout au moins sur ses 500 mètres avant le Mont Saint Michel – n'aient pas atteint une cote telle que les eaux marines ne puissent les recouvrir suffisamment permettant les échanges alternatifs entre l'Ouest et l'Est de la digue.

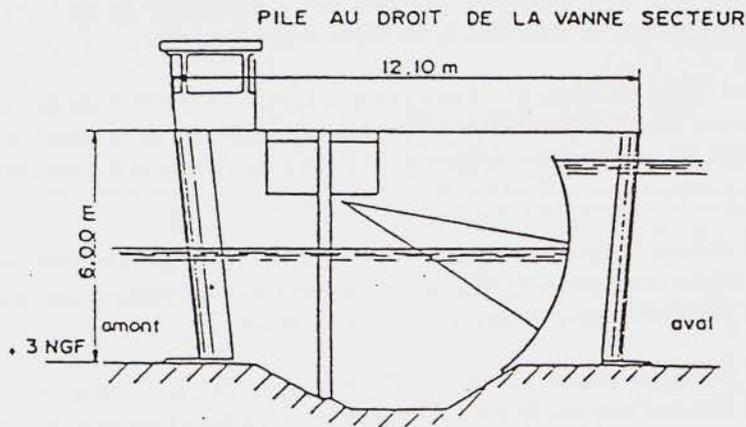
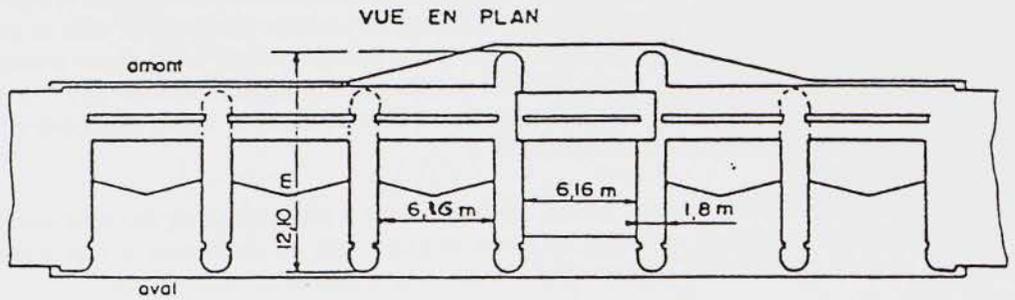
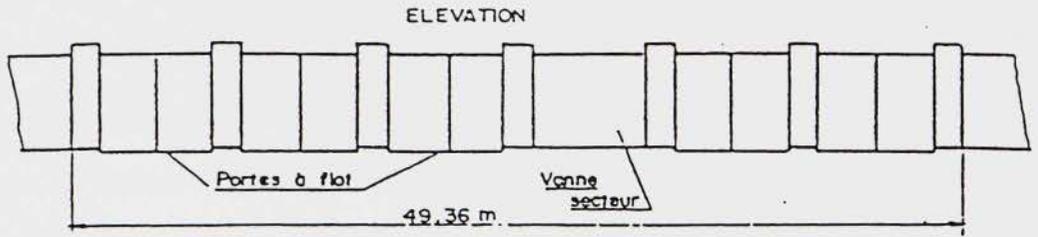
La comparaison des profils en travers de part et d'autre de la digue d'accès, sur ses 600 derniers mètres avant le Mont, tend à montrer que les fonds à l'Est immédiat du Mont seraient à des cotes voisines de +5 à +6 m avec une certaine stabilité ou une légère tendance à un exhaussement depuis 1923. À l'Ouest, le Couesnon étant repoussé vers la digue d'accès par suite de la forte poussée des herbues vers l'Est, les fonds se seraient approfondis à proximité immédiat de la digue et se seraient surélevés de près de 2 m à une centaine de mètres entre 1923 et 1985.

En examinant un secteur semi-circulaire situé à une distance de 1.000 m au Sud-Est du Mont Saint Michel, on constate des fluctuations des profondeurs au voisinage du Mont, mais avec un résultante qui montre que les profondeurs sont passées de +2,5 à +3 m I.G.N. en 1860 à +4,5 m en 1885 pour atteindre près de +5,5 m en 1911 [24.a. – 28]. Par contre, au Sud du Mont, les fonds atteignent déjà +5,5 m entre 1885 et 1896 et passent à +6,5 m en 1911. Dans ce secteur circulaire de 0,7 km², les cotes moyennes des grèves seraient passées de +2,2 m I.G.N. 69 en 1860 à +5,4 m en 1930, soit une surélévation moyenne de 45 mm par an, les phénomènes tendant à se ralentir, voire s'annuler depuis cette époque [Figure 13].

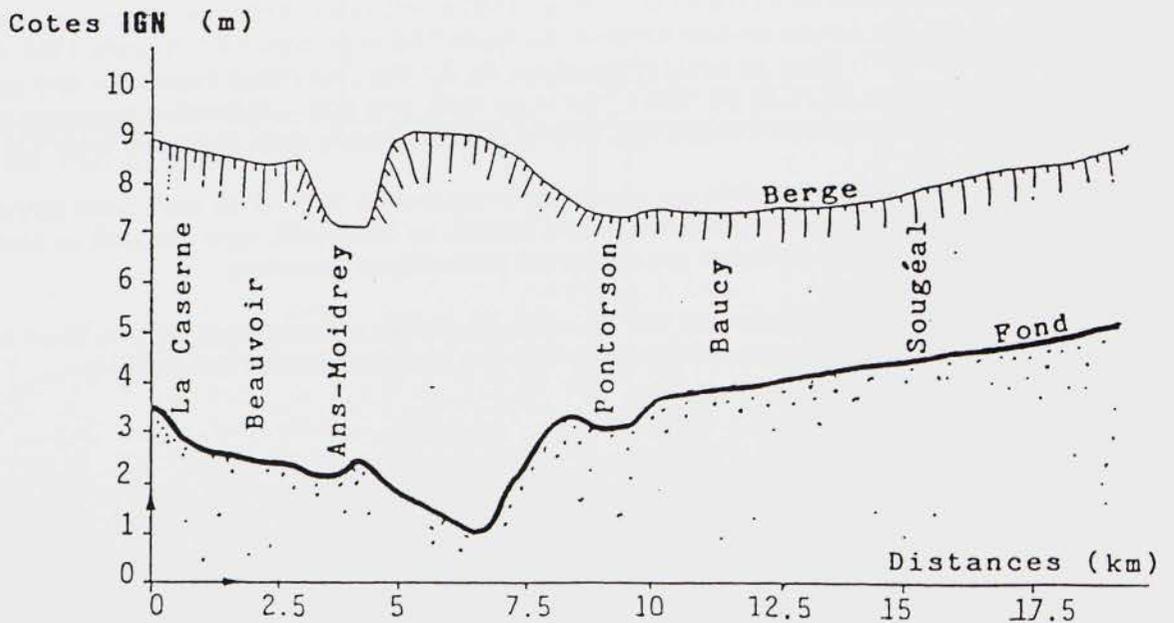
Précisons que ces évolutions des fonds aux abords de la digue et au Sud-Est du Mont Saint Michel ne sont pas entièrement à attribuer à la réalisation de la digue d'accès en 1878-1879, mais intègrent un ensemble de phénomènes tant naturels que tributaires des différentes interventions humaines.

Il reste vraisemblable que la suppression des courants traversiers qui passaient entre le Mont et la terre avant 1878 est responsable pour une part appréciable de ces évolutions locales des fonds.

FIGURE N° 14 : LE BARRAGE DE LA CASERNE



PROFIL EN LONG DU COUESNON ET DES BERGES



I.2.4. La construction du barrage sur le Couesnon au lieu-dit « La Caserne » (1966 à 1969) [24.h.-i.]

Réalisé en aval du Couesnon, entre Août 1966 et Juin 1969, le barrage de la Caserne était initialement prévu pour répondre aux objectifs suivants :

- soustraire à l'action de la mer, en vue de leur mise en valeur, 125 hectares de terrains situés dans l'Anse de Moidrey,
- stopper le comblement du lit du Couesnon et des canaux et favoriser ainsi l'écoulement des eaux de la rivière et le drainage à l'amont des marais à partir de Pontorson,
- éventuellement disposer d'un vaste plan d'eau pour le nautisme et permettre le stockage d'un grand volume d'eau douce susceptible d'être utilisé pour effectuer des chasses. En fait, ce dernier objectif n'a pas été retenu lorsque l'on a réalisé le barrage.

Mis en service en 1969, ce barrage est situé à 2 km au Sud du Mont Saint Michel. Il a une largeur totale entre bajoyers de 49 m environ et comporte cinq passes de 6,36 m munies de portes à flot et une vanne secteur de 6,16 m de largeur. Les piles qui séparent les différentes passes ont une épaisseur de 1,80 m et la cote des radiers des passes est à +2,80 m, celle au droit de la vanne secteur (vanne escamotable) est à +3 m I.G.N. 69.

Le schéma de ce barrage est donné sur la *figure 14*. Précisons que la vanne secteur n'a pas fonctionné pendant plusieurs années et que la largeur utile d'écoulement des passes atteint une valeur cumulée de 32 m environ et de 38 m avec la vanne secteur.

En principe, ce barrage se ferme dès qu'arrive le flot, les portes s'ouvrant dès que les cotes d'eau en amont du barrage, par suite des apports d'eau douce, sont supérieures à celles de l'aval soumises au jeu des marées.

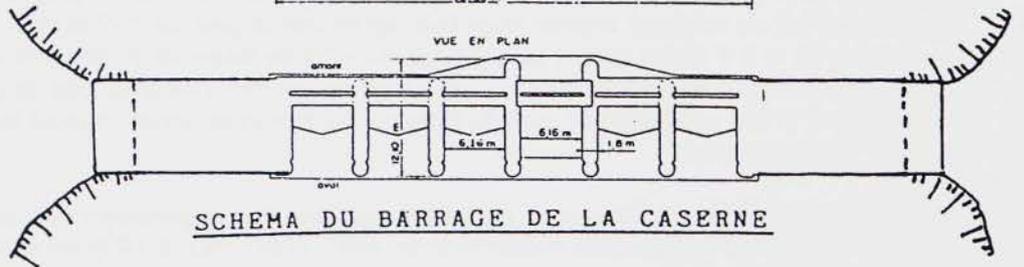
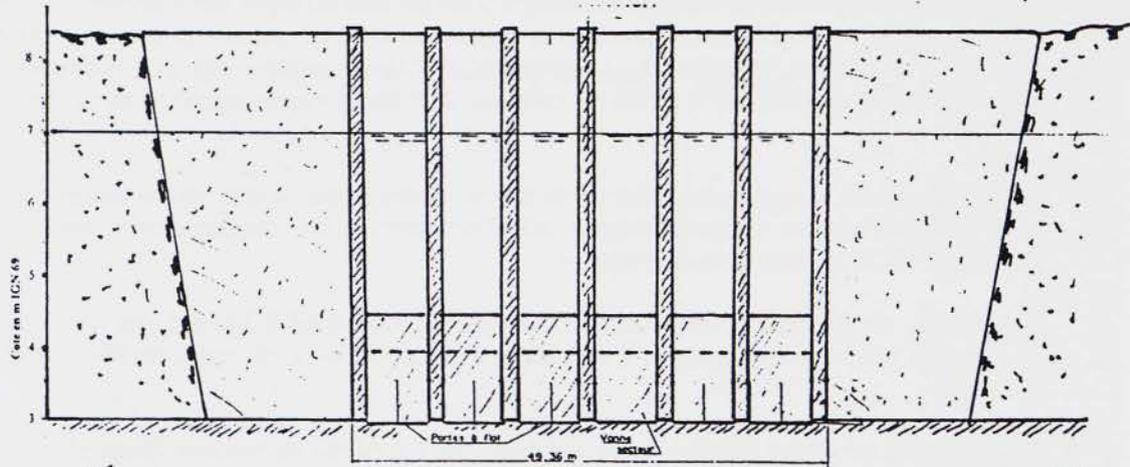
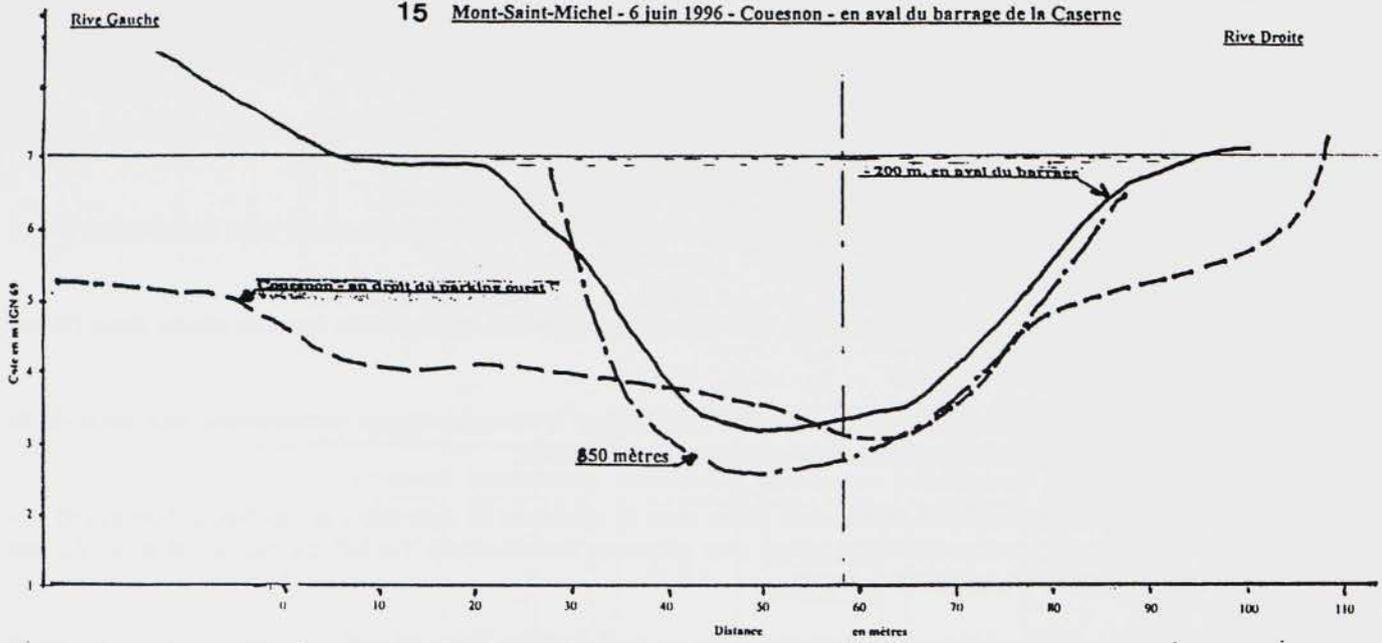
Le Couesnon en amont du barrage se présente jusqu'à l'Anse de Moidrey (aval d'Île d'Aucy) sous forme d'un canal de 4,5 km de longueur orienté Nord-Sud, ayant une largeur de 100 m environ entre digues au droit du barrage, de 80 m à 2 km en amont au voisinage du Pont de Beauvoir et de 70 m à 4 km (PK 4). En amont de l'Anse de Moidrey et jusqu'à Pontorson, le Couesnon est canalisé avec des largeurs de 35 m au PK 5, de 30 m au PK 7 à 250 m environ en aval du Pont de Pontorson en amont duquel la rivière n'est plus canalisée et forme des méandres.

Les marais qui bordent le Couesnon ont une importance très appréciable non seulement pour l'agriculture, mais pour l'influence qu'ils peuvent avoir lors des fortes crues pour écrêter les débits de pointe par expansion dans les zones inondables.

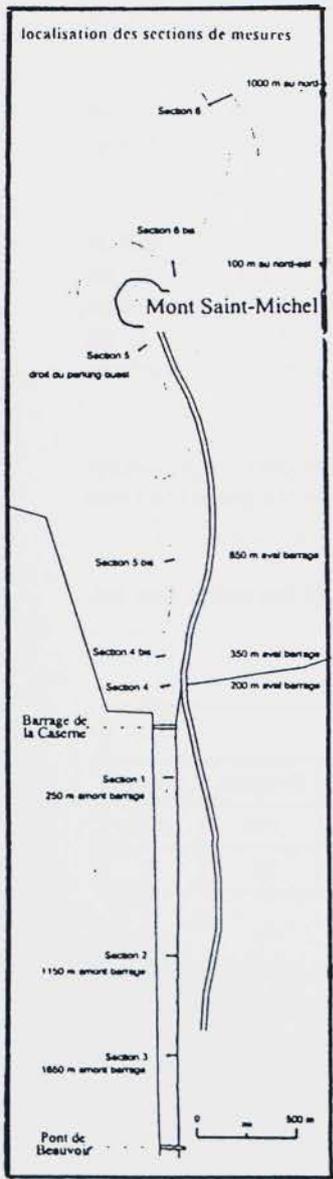
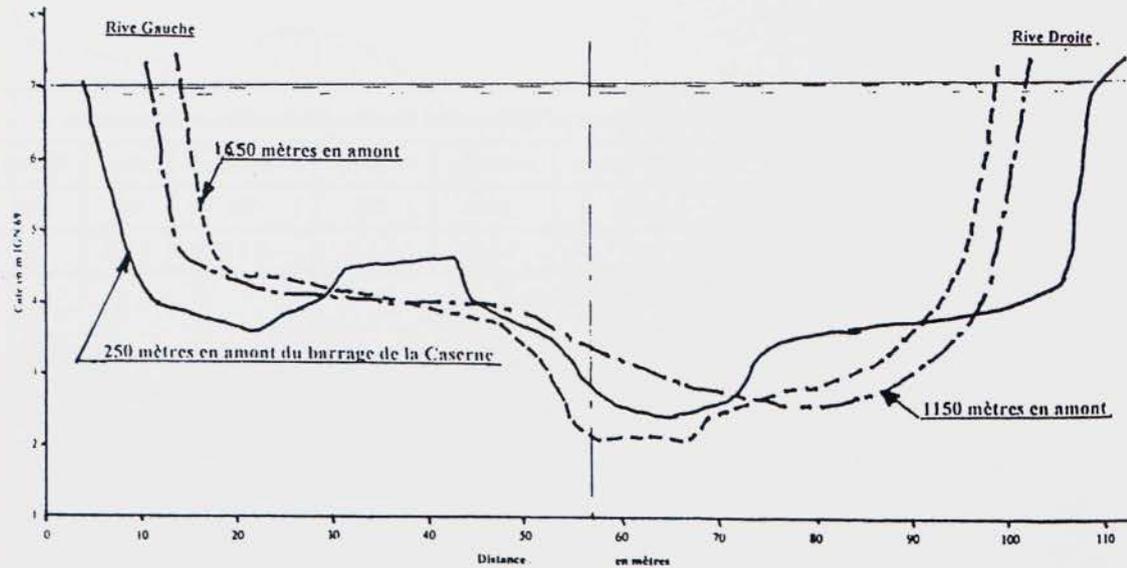
Le tableau ci-après donne la superficie de ces marais (dont certains ont été poldérisés) et les cotes des terrains naturels :

SUPERFICIES ET COTES DES MARAIS BORDANT LE COUESNON								
Marais	Polder Ouest	Ardevon	Moidrey	Pontorson	Roz	Mesnil	Sougeal	Boucy
Superficie (en hectares)	2.500	600	125	90	140	100	310	320
Cote du terrain (en m)	6 à 7	6 à 7	6 à 7	6 à 7	6 à 7	6	6	6

Les cotes moyennes dans le Couesnon étaient, en Mars 1985, voisines de +3,50 m I.G.N. 69 immédiatement en amont du barrage et sur une longueur de 200 à 300 m par suite des dépôts de sédiments, ces cotes étaient ensuite voisines de +2,50 m à +2,80 m dans le lit du Couesnon jusqu'au voisinage de Pontorson où un surcreusement à +1 m était observé localement.



Mont-Saint-Michel - juin 1996 - Couesnon - en amont du barrage de la Caserne



Les cotes des digues et talus de protection du Couesnon sont, en général, supérieures à +8 m jusqu'à l'Anse de Moidrey où des cotes sensiblement plus basses apparaissent dans certains secteurs.

En bordure même du Couesnon, ou en retrait des rives, d'anciens marais ont vu leur drainage amélioré à la suite de la mise en service du barrage de la Caserne. Il s'agit en particulier de l'Anse de Moidrey (40 ha) où la cote moyenne est de +7 à +7,30 m (dépressions à +6), la zone des grèves et de l'hippodrome (20 ha) avec des cotes de +7 à +8 m, les marais de Pontorson (80 ha) qui communiquent avec le Couesnon par des fossés agricoles.

Le long du Couesnon, différents types d'ouvrages de drainage (déversoirs, portes à flot, buses et fossés) existent à des cotes variant entre +5,50 et +7 m pour les déversoirs, +4,50 et +7 m pour les buses, +4 à +6 m pour les fossés et +3,50 m environ pour les exutoires aval des polders de l'Ouest et du Canal d'Ardevon.

La *figure 15* qui donne, à une même échelle, les profils en travers des fonds du chenal du Couesnon à l'aval du barrage et en amont, ainsi que la section mouillée au barrage, montre bien la réduction brutale des sections provoquée par la mise en place du barrage. Cet étranglement local des fonds entraînera une perte de charge importante qui pourra être préjudiciable au remplissage du Couesnon, après ouverture du barrage, nécessitant d'approfondir les fonds entre le barrage et le Mont Saint Michel pour faciliter l'introduction des eaux marines dans le Couesnon.

L'influence de la réalisation du barrage de la Caserne sera étudiée plus spécialement dans le chapitre relatif à l'évolution des fonds au cours des dernières décennies. On peut toutefois avancer **que la suppression des volumes d'eau oscillants qui pénétraient et sortaient du Couesnon à chaque marée, atteignant près de 1,3 millions de m³ d'eau par marée de vive eau, a entraîné une sédimentation rapide du Couesnon en aval du barrage.**

Il faut également rappeler – comme l'a montré A. L'HOMER en 1989 – que la puissance hydraulique du Couesnon sous le jeu des marées s'était considérablement détériorée depuis 1863 par suite de la réduction des capacités d'accumulation des eaux à la suite des colmatages des zones submersibles situées à l'amont. Ce colmatage a été évalué à 2,5 millions de m³ entre 1863 et 1934, ce qui a entraîné à cette époque, en association avec la sédimentation marine, une réduction appréciable des profondeurs du Couesnon à son débouché en mer [*Figure 16*].

1.2.5. L'extraction des tangues

Parmi les interventions humaines du XIX^{ème} siècle, on ne peut passer sous silence l'extraction des tangues [27.e.].

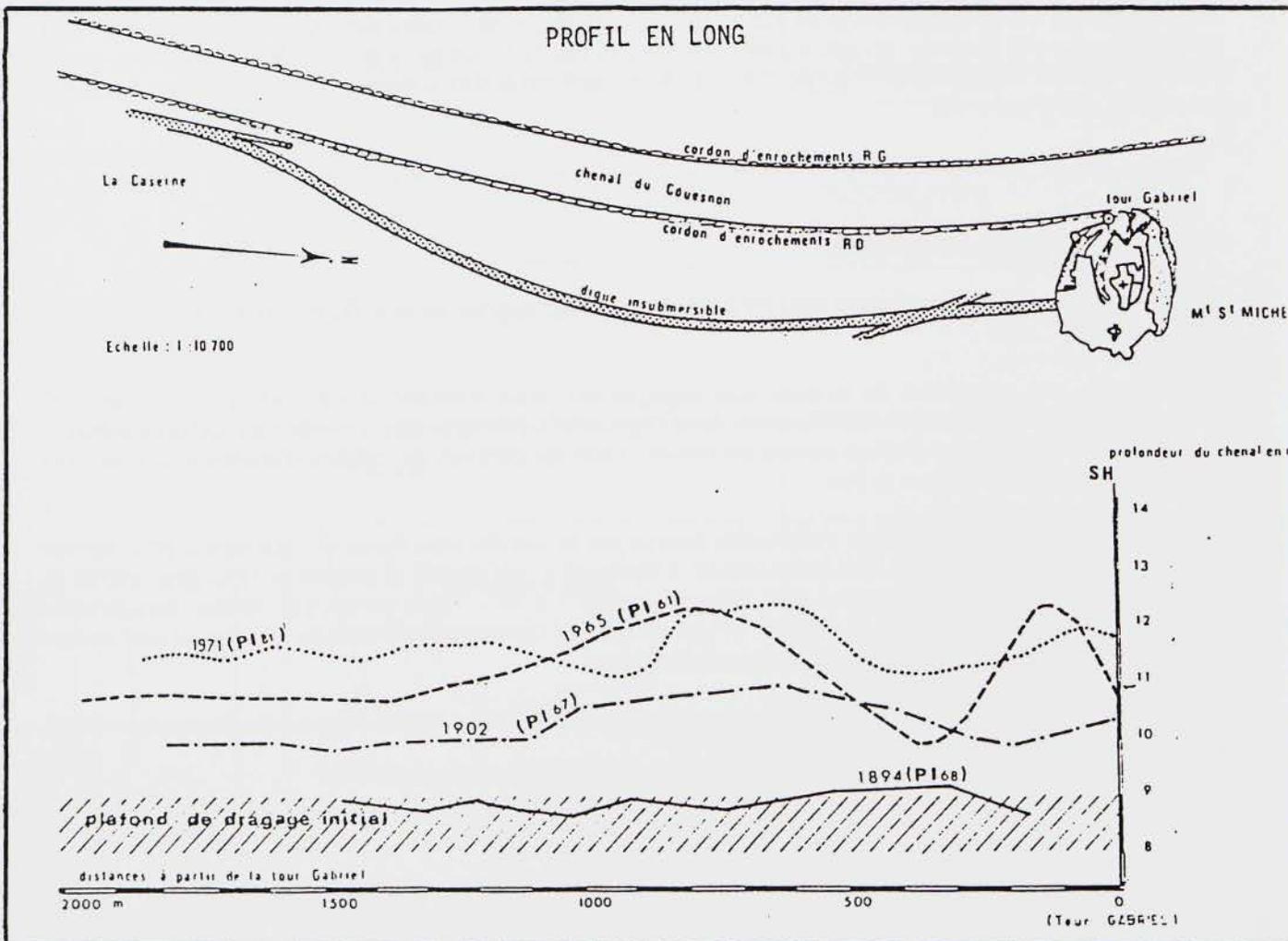
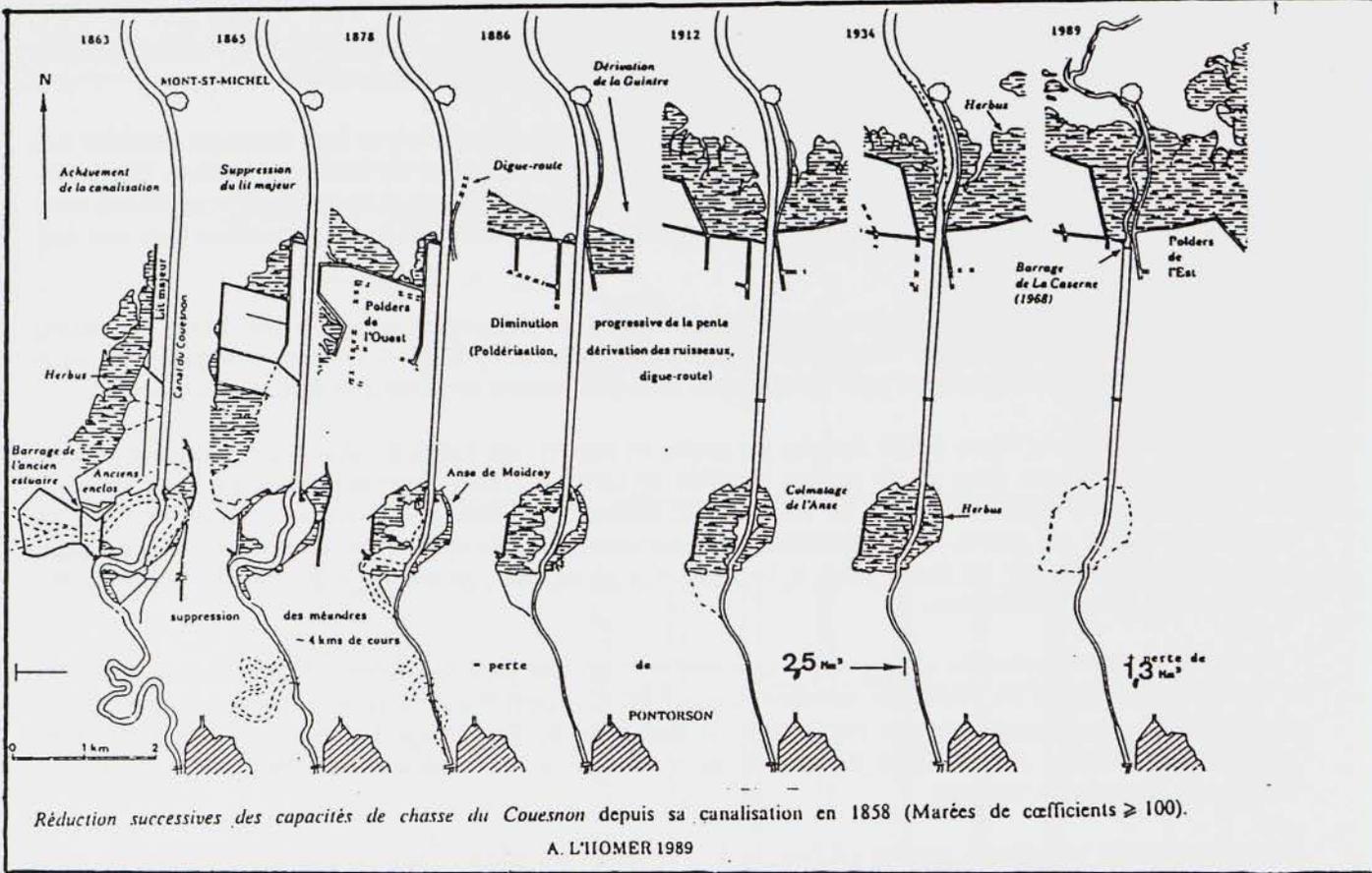
Actuellement, ces extractions de tangues sont négligeables, mais autrefois ce sédiment utilisé comme engrais et amendement a joué un rôle important dans l'agriculture. Les quantités enlevées annuellement étaient considérables et les écrits anciens parlent de milliers, voire de dizaines de milliers, d'attelages utilisés pour enlever les précieux engrais à la mer.

Pour la baie du Mont Saint Michel, l'estimation fournie par le Service des Ponts et Chaussées pour l'année 1834 donne une valeur de 500.000 à 600.000 m³. L'étude de J. JACQUET (à propos de la tange, extrait du 55^{ème} volume de la Société d'Archive de la Manche, pages 1 à 19 – 1944) donne des chiffres comparables avec des prélèvements annuels de 250.000 m³ par an dans le Couesnon et l'Anse de Moidrey et des valeurs analogues dans les autres rivières aboutissant dans la baie.

L'étude récente faite par F. DE BEAULIEU pour la Mission Mont Saint Michel (rapport de Septembre 1998), conduit aux volumes d'extractions suivants :

- XVIII^{ème} siècle (1700 à 1800) : 20 millions de m³ (200.000 m³/an),
- XIX^{ème} siècle (1800 à 1900) : 30 millions de m³,

FIGURE N° 16 : RÉDUCTION DE LA CAPACITÉ D'EMMAGASINEMENT DU COUESNON ET INFLUENCE SUR SES PROFONDEURS À SON DÉBOUCHÉ EN MER



avec une augmentation progressive de 1800 (200.000 m³/an) à 1820 (375.000 m³/an), une stabilité à 375.000 m³/an de 1820 à 1870 et une réduction progressive entre 1870 et 1920 où les extractions de tange deviennent très faibles.

La moyenne des extractions entre 1870 et 1920 auraient été de 190.000 m³ par an avec une décroissance, pour s'annuler en 1920.

L'anse de Moidrey aurait été le principal site d'extraction et le seul à avoir été exploité d'une façon continue.

D'après cette étude, les possibilités d'utiliser la tange en agriculture serait marginale, mais un débouché pour l'amélioration des pistes des centres équestres est à envisager. Un chiffre de 100.000 m³ par an d'exploitation est avancé...

I.2.6. Le développement de l'ostréiculture et de la mytiliculture

Bien que développées en dehors de la petite baie du Mont Saint Michel, et plus particulièrement localisées dans la partie occidentale de la grande baie, les activités conchyloles ne peuvent être sous-estimées [27.e.].

Actuellement, la surface totale des concessions ostréicoles dans la zone intertidale atteint 325 hectares avec une production dépassant 1.500 tonnes par an.

La mytiliculture, qui relaie vers l'Est les parcs ostréicoles, se développe en bas estran sur une quinzaine de kilomètres entre Saint Benoît des Ondes et le banc des Hermelles situé à une dizaine de kilomètres du Mont Saint Michel. L'ensemble de cette concession représente près de 240 km de lignes de bouchots avec une production annuelle de l'ordre de 10.000 tonnes.

Sur le plan morphologique et sédimentaire, le banc des Hermelles forme une certaine discontinuité entre la partie occidentale de la grande baie, soumise à des phénomènes à caractère plus maritime, et la petite baie environnant le Mont Saint Michel où le caractère estuarien est plus prononcé, ce qui réduit fortement les interconnexions entre ces deux milieux bien qu'ils se situent dans l'ensemble de la grande baie du Mont Saint Michel.

I.3. CONCLUSIONS SUR L'ÉVOLUTION DE LA BAIE AU COURS DES TEMPS ET LES INTERVENTIONS HUMAINES

Le colmatage de la baie du Mont Saint Michel remonte à plusieurs millénaires et la transgression marine de l'holocène a entraîné, au cours des 6.000 dernières années, des apports sédimentaires évalués à près de 10 milliards de m³ d'éléments silto-vaseux et de tanges.

Ces apports anciens représentent, pour l'ensemble des 400 km² à 500 km² de la grande baie, une sédimentation annuelle de 1,5 à 1,75 millions de m³, l'épaisseur des dépôts étant croissante du large vers la côte où ils atteindraient 20 m d'épaisseur.

Dans cet ensemble de la grande baie, la petite baie du Mont Saint Michel, délimitée par une ligne courbe joignant le bec d'Andaine à l'Est à un point situé à Saint Broladre à l'Ouest, a un caractère plus estuarien par suite des rivières Sée – Sélune – Couesnon et des petits ruisseaux qui s'y déversaient. Au cours de la même époque de l'holocène, le comblement de cette petite baie atteignait en moyenne 0,7 million de m³ par an depuis l'an 6.000 B.P. avec des fluctuations dans le temps.

Les interventions humaines ont modifié sensiblement la répartition de ces dépôts en supprimant localement les divagations aléatoires des rivières qui s'opposaient à l'exhaussement des fonds et à leur colonisation par des végétaux, et en fixant les matériaux de part et d'autre du Mont Saint Michel par poldérisation suivant un alignement Sainte Anne – Mont Saint Michel – pointe Roche Torin.

Ces travaux ont permis d'accumuler au cours de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle et de la première moitié du XX^{ème} siècle (1857 à 1934) 45 à 50 millions de m³ dans les polders de l'Ouest et 20 à 30 millions de m³ à l'Est du Mont dans la zone protégée par la digue de Roche Torin.

Au total, les dépôts dans ce secteur littoral de la petite baie ont atteint environ 1 million de m³ par an, valeur à laquelle il convient d'ajouter les dépôts sur le reste de la petite baie et les extractions de tange, ce qui conduirait à un volume global de 1,5 millions de m³ par an au cours du XIX^{ème} siècle pour l'ensemble de la petite baie.

On peut estimer qu'au cours de ce siècle, les accumulations des sédiments dans la petite baie ont été 1,5 à 2 fois supérieures à la moyenne des dépôts de l'holocène, les interventions humaines ayant permis de fixer ces dépôts dans des zones plus proches du Mont Saint Michel et de gagner ainsi des terrains sur la mer à des fins agricoles.

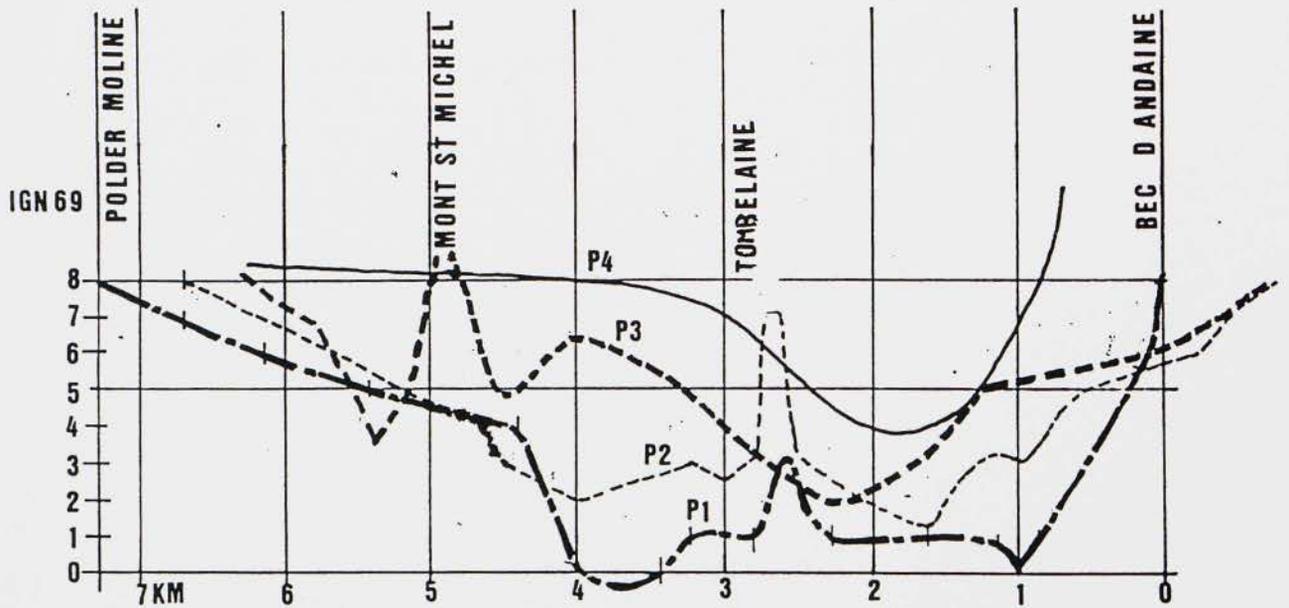
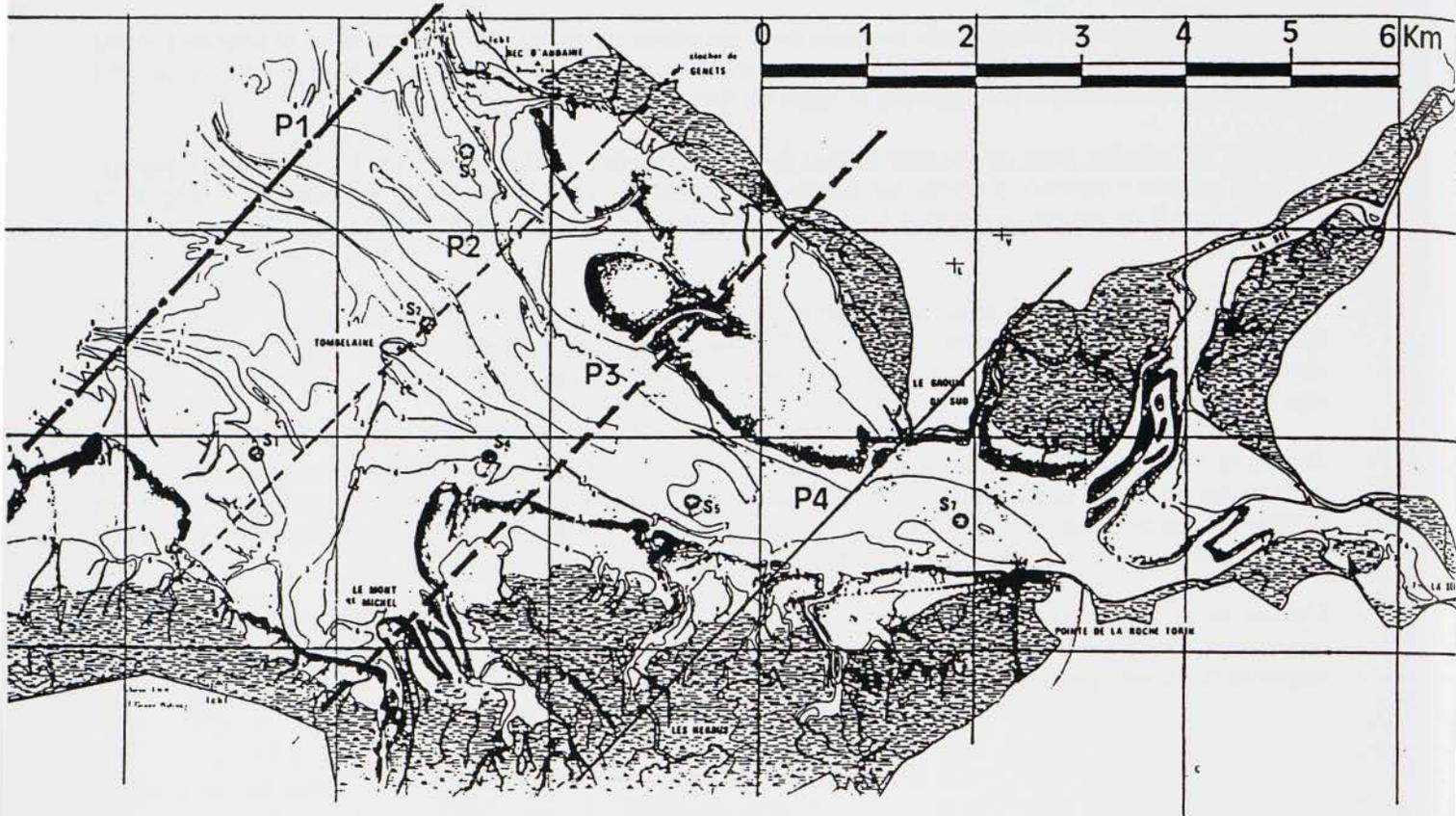
Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, la poldérisation du littoral de la petite baie étant pratiquement arrêtée, on peut se demander si l'évolution du littoral n'a pas été modifiée tout au moins dans la répartition des zones de dépôts, les apports sédimentaires d'origine marine restant toujours à peu près les mêmes et correspondant à des possibilités de dépôts de l'ordre de 1 million de m³ par an.

L'étude de l'évolution des fonds au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle et les recherches réalisées sur les prévisions d'évolution de la petite baie au cours des prochaines années, sans modification des aménagements actuels, permettront de répondre à cette question.



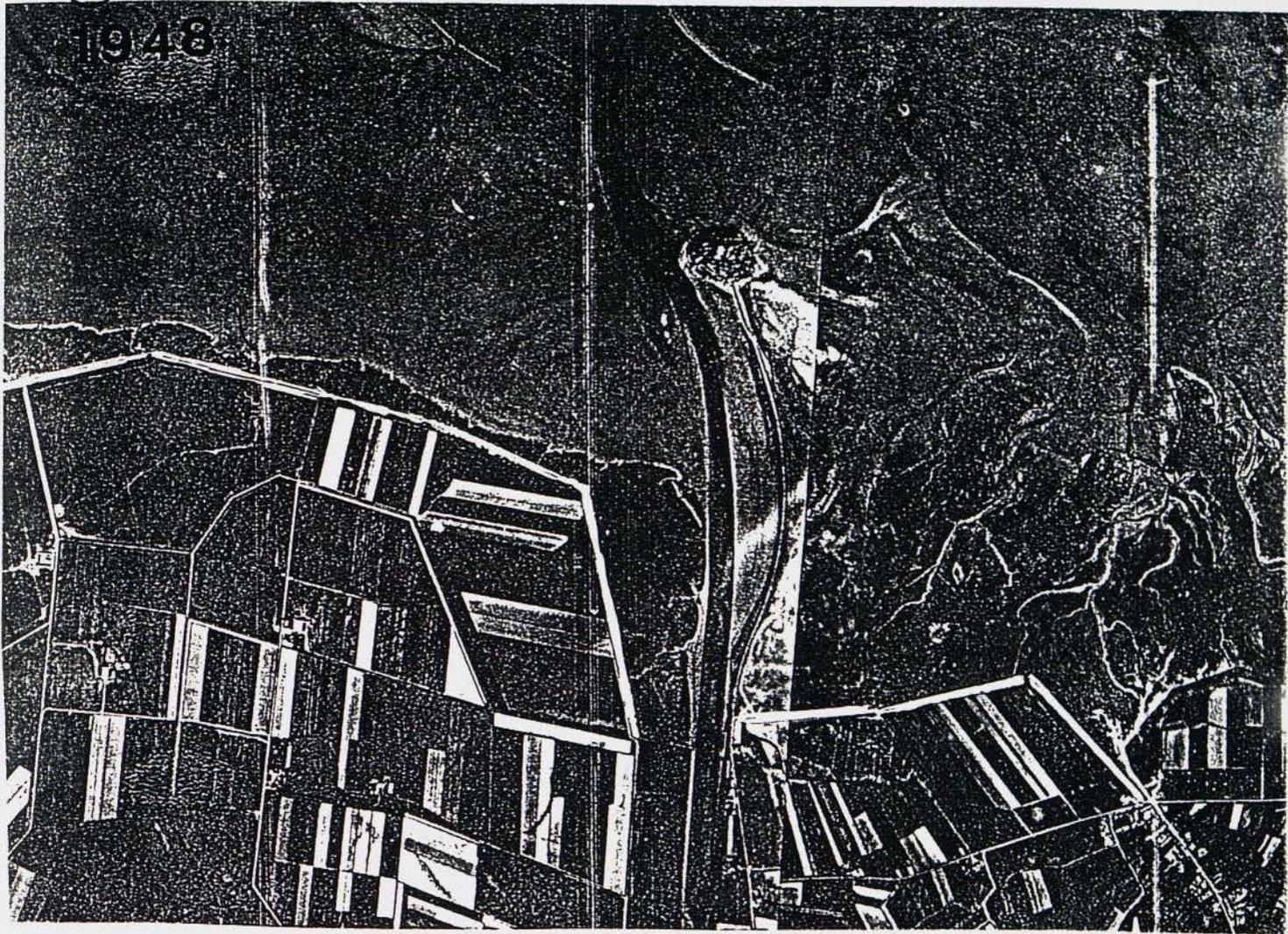
FIGURE N° 18A: LA PETITE BAIE DU MONT SAINT MICHEL EN 1975

PROFILS EN TRAVERS



(17)A

1948



1986



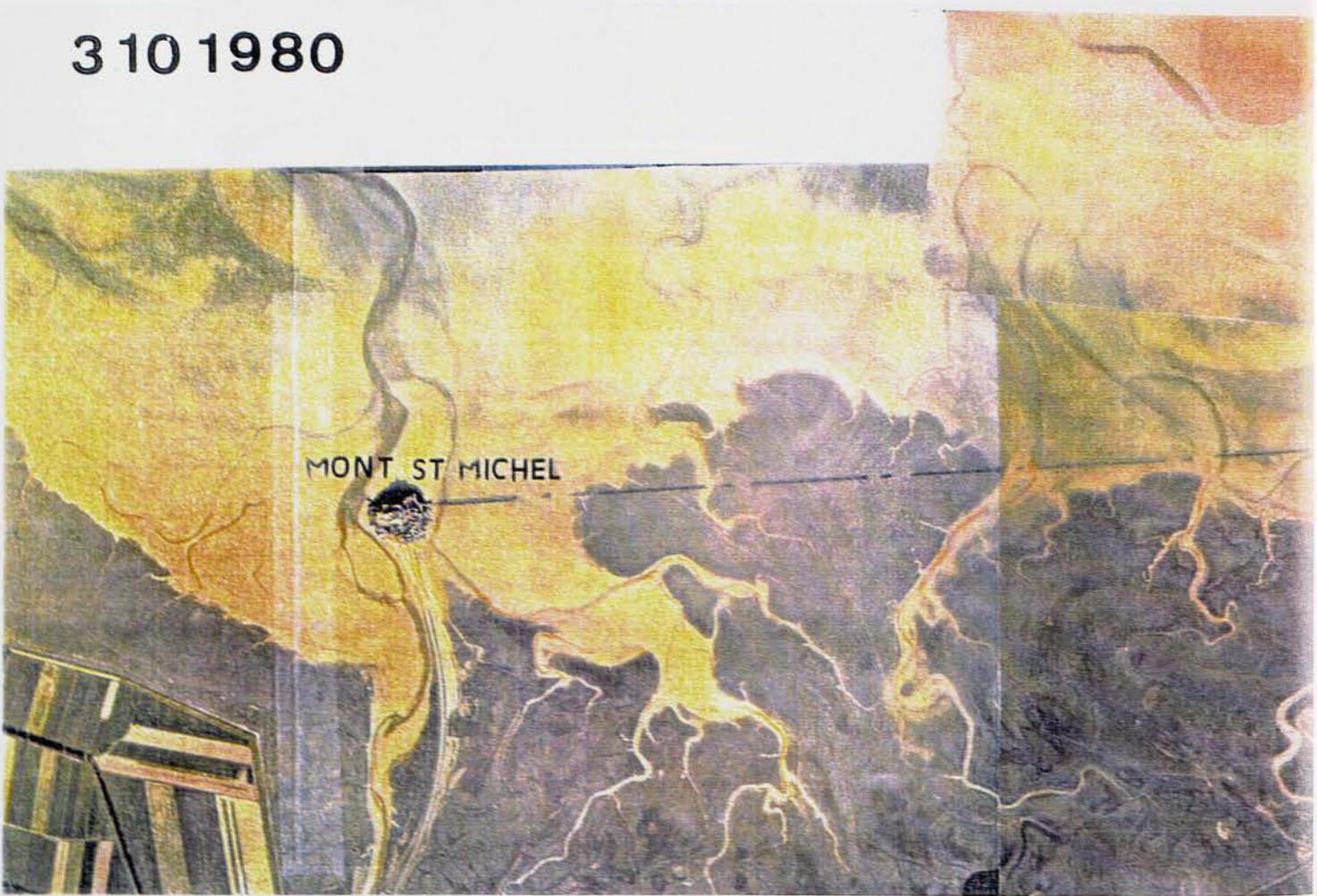
FIGURE
17

PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

23.3.1995



3 10 1980



À partir des fonds de -5 m, les fonds sont beaucoup plus tourmentés notamment au droit de la petite baie avec des figures d'étirement et des fosses peu profondes orientées Sud-Est – Nord-Ouest. La pente moyenne de ce bas estran – situé entre les fonds de -5 m et 0 m I.G.N. – est d'environ 2/1.000 à l'Ouest et de 1/1.000 au centre. Le banc des Hermelles, à l'Ouest du Mont Saint Michel, fait une délimitation entre un régime à caractère maritime de la baie à l'Ouest – vers la Bretagne – et à caractère plus estuarien à l'Est dans le secteur où débouchent pratiquement toutes les rivières de la baie : le Couesnon, la Sée et la Sélune ainsi que les petits ruisseaux qui se jetaient à l'Est du Mont.

II.1.2. La petite baie

Le levé stéréophotographique de Juillet 1975 donne une bonne image de l'état de la petite baie à cette époque [Figure 18.A] et la Figure 18.B l'évolution de quelques profils entre 1860 et 1975.

On constate, sur les 70 km² délimités par les parois rocheuses du littoral du Cotentin et par les enclôtures réalisées au XIX^{ème} siècle, qu'une grande partie a été envahie par les « herbus ».

Sur l'alignement semi-circulaire qui passe à 3 km au large de Tombelaine, les profondeurs (I.G.N. 69) sont voisines de +1 m dans la partie centrale – sur une largeur de 3 km environ – et remontent rapidement vers l'Est, c'est-à-dire vers le bec d'Andaine passant sur 750 m de +1 m à +10 m avec une pente moyenne de 1,5/100, proche d'un estran maritime, tandis que vers l'Ouest les fonds présentent une pente dix fois plus faible atteignant 1,3/1.000 entre les cotes +3 m et +8 m I.G.N.

Dès que l'on pénètre dans la petite baie, en amont du bec d'Andaine, on retrouve un régime « estuarien » avec les sillons (+1 à +3 m) de l'estuaire de la Sée – Sélune à l'Est et du Couesnon à l'Ouest du grand banc qui s'est formé entre ces rivières, avec des cotes de +6 à +7 m.

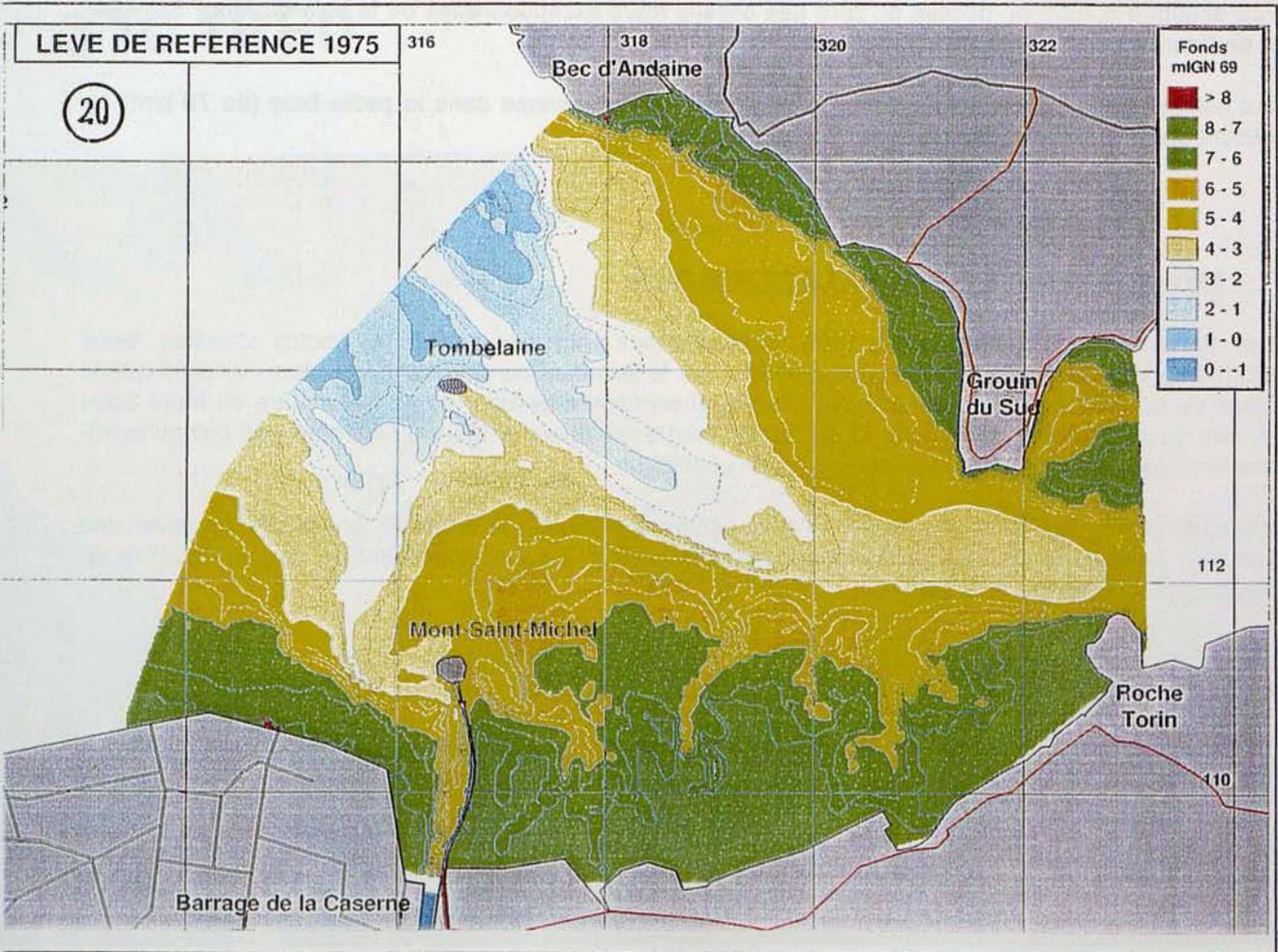
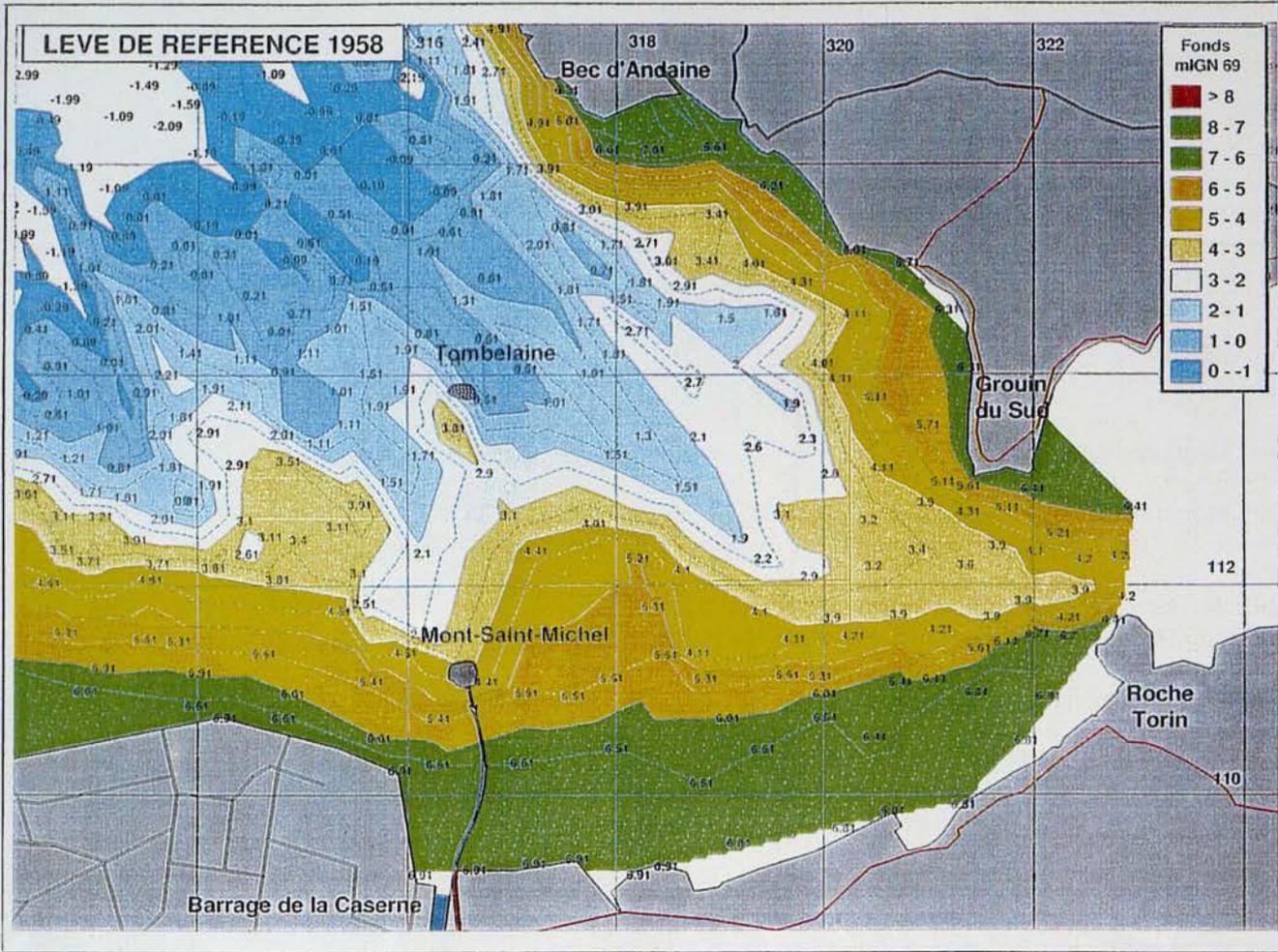
Les eaux marines qui peuvent pénétrer dans la petite baie ne correspondent donc qu'à une partie de la marée puisque la limite extérieure se situe déjà au-dessus du niveau moyen de la marée (le zéro I.G.N. utilisé se situant à 6,76 m au-dessus du zéro des basses mers exceptionnelles de la baie du Mont Saint Michel et de Granville ou du zéro hydrographique).

On peut estimer que la capacité d'emmagasinement des eaux marines dans la petite baie (de 70 km²) ne représentait que 4 à 5 % de celle de la grande baie (de 500 km²).

II.2. L'ÉVOLUTION DES FONDS DE LA PETITE BAIE

Tous les documents disponibles depuis 1950 : photographies aériennes de l'I.G.N., photos satellites, levés topographiques et photogrammétriques, observations sur le terrain et constatations visuelles montrent que le colmatage de la petite baie se poursuit et que le littoral continue d'avancer de part et d'autre du Mont Saint Michel, tant du côté breton que normand, enclavant progressivement le Mont à l'intérieur des limites extrêmes des terrains émergés et couverts ou non par la végétation.

La réalisation du barrage de la Caserne, à l'embouchure du Couesnon en 1969, n'a fait qu'aggraver une situation déjà préoccupante en supprimant les volumes oscillants qui maintenaient un certain équilibre du Couesnon entre la Caserne et le Mont.



CHAPITRE II - L'ÉVOLUTION DE LA PETITE BAIE ET DES ABORDS DU MONT SAINT MICHEL AU COURS DES DERNIÈRES DÉCENNIES (1958 À 1997)

Au cours des dernières décennies, on dispose de nombreuses photographies aériennes – prises par l'Institut Géographique National I.G.N. – pour suivre l'évolution morphologique des fonds de la petite baie, mettant en évidence l'avancée des herbues vers le large et la dégradation progressive de l'environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel [Figure 17].

Par ailleurs, différents levés topographiques d'ensemble de la petite baie, ou partiels des abords du Mont, fournissent des éléments permettant de quantifier les évolutions des fonds dans les différentes zones et d'évaluer avec une bonne précision les apports sédimentaires et les réductions des volumes d'eaux susceptibles d'atteindre les abords du Mont Saint Michel.

Ces levés, réalisés par des méthodes différentes telles que stéréophographiques, topographiques ou hydrographiques, nécessitent toutefois d'être interprétés avec prudence ; une erreur altimétrique de 10 cm pouvant entraîner des écarts volumétriques de plus de 5 millions de m³ pour l'ensemble de la petite baie. Ce travail de comparaison, réalisé conjointement par la Société RIVAGES, SOGREAH Ingénierie et le Service Technique Central des Ports Maritimes, a permis d'éliminer les erreurs inhérentes à de tels levés et de proposer des estimations d'évolution des fonds présentant le maximum de précision.

Dans cette deuxième partie, après avoir rappelé la limite de la petite baie du Mont Saint Michel dans la grande baie, précédemment étudiée, son évolution détaillée sera donnée au cours des dernières décennies entre 1958 et 1998.

II.1. SITUATION DE LA PETITE BAIE DANS LA GRANDE BAIE DU MONT SAINT MICHEL

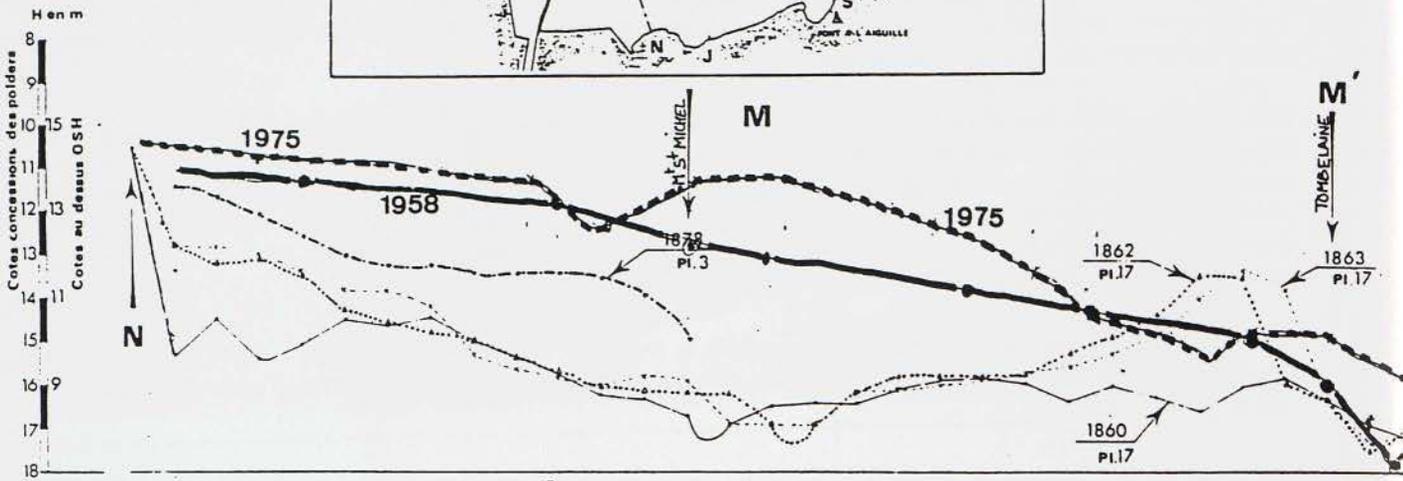
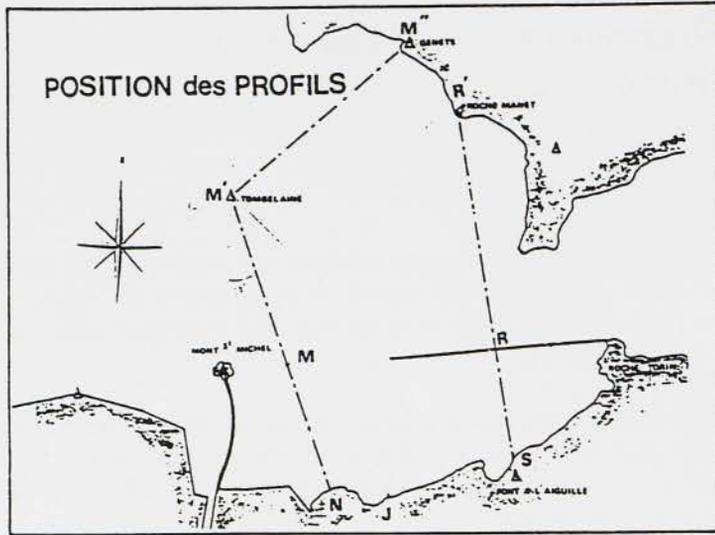
II.1.1. La grande baie

S'étendant sur près de 500 km² au Sud-Est d'un alignement joignant la pointe du Roc de Granville à la pointe du Grouin de Cancale, la « grande baie » du Mont Saint Michel forme un vaste entonnoir qui englobe, à son extrémité, la « petite baie » délimitée par un alignement semi-circulaire passant à 3 km au large de Tombe-laine, venant s'appuyer à l'Est sur le bec d'Andaine, et présentant une superficie de 60 à 70 km² à caractère estuarien [Figure 1].

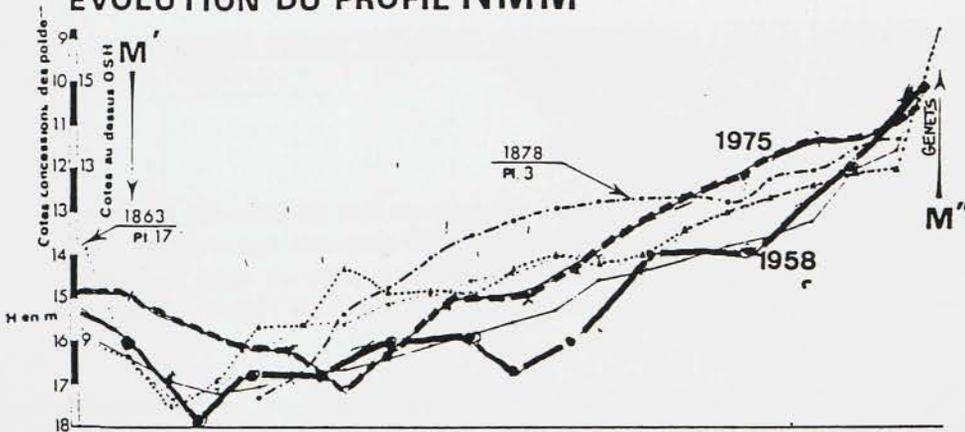
À l'entrée de cette grande baie, les profondeurs atteignent 15 à 20 m dans la partie Ouest, de la pointe du Grouin de Cancale au centre de la limite envisagée, et 10 à 5 m dans la partie Est en se rapprochant de Granville.

Entre le large et les profondeurs de -5 m (I.G.N. 69) qui se situent sensiblement sur un alignement Nord-Ouest – Sud-Est passant par la pointe de Champeaux, les isobathes ont un tracé assez régulier avec une pente moyenne faible vers le large de 2/1.000 environ qui s'adoucit à 1,5/1.000 entre les fonds de -10 à -15 m.

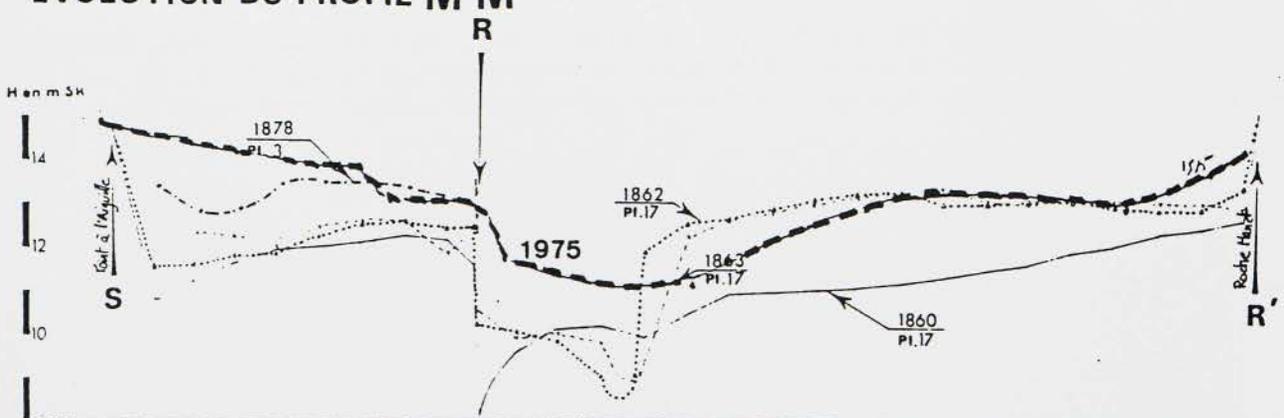
FIGURE N°18B: ÉVOLUTION DE QUELQUES PROFILS EN TRAVERS DE LA BAIE



EVOLUTION DU PROFIL NMM'



EVOLUTION DU PROFIL M'M''



EVOLUTION DU PROFIL SRR'

II.2.1. Documents disponibles pour suivre l'évolution des fonds

Les documents topographiques utilisés pour suivre l'évolution de la petite baie portent sur [24.b – 41 – 49.c] :

□ Pour l'ensemble de la petite baie :

- ✓ Levé de 1958 provenant d'un assemblage de données bathymétriques du S.H.O.M., de l'E.D.F. et de la D.D.E., associées aux photographies aériennes de l'époque.
- ✓ Levé de 1975 qui correspond à un levé stéréo-topographique réalisé pour la D.D.E. complété par des profils de sondages levés par le L.C.H.F. à la même époque.
- ✓ Levé de 1997 réalisé en Juillet 1997 par système G.P.S. (I.G.N.) et complété en tenant compte de la morphologie des chenaux en 1996 et des profils levés à cette date.

□ Pour les abords du Mont :

- ✓ Profils en travers dans la baie et autour du Mont levés par le L.C.H.F. en Juillet 1975.
- ✓ Levé de 1985 par photogrammétrie sur une surface de 12 km² le long du littoral.
- ✓ Levé de 1988 par photogrammétrie locale à l'Ouest du Mont (chenal du Couesnon).
- ✓ Différents profils en travers réalisés en 1996 par l'E.N.S.G. autour du Mont, par Bunel, dans les chenaux de la Sée – Sélune et dans le Couesnon, et par le laboratoire de Dinard (E.P.H.E.) dans les herbous.

Tous ces documents ont été ramenés au même zéro de référence (I.G.N. 1969).

Ces levés d'ensemble sont donnés sur les figures 19 – 20 et 21 pour les états des fonds de 1958 – 1975 et 1997.

II.2.2. Évolution des fonds sur l'ensemble de la petite baie – Répartition des dépôts et des érosions

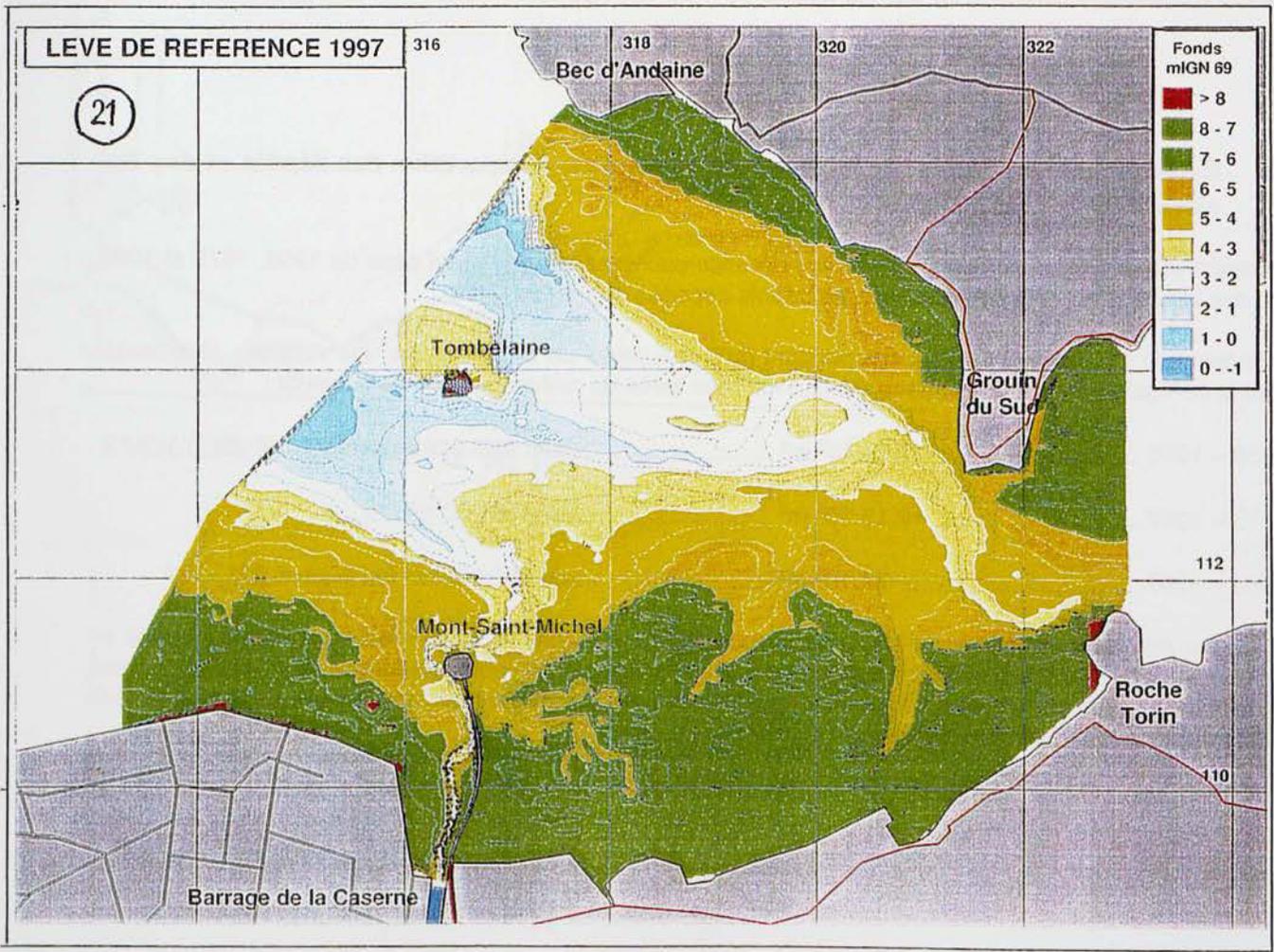
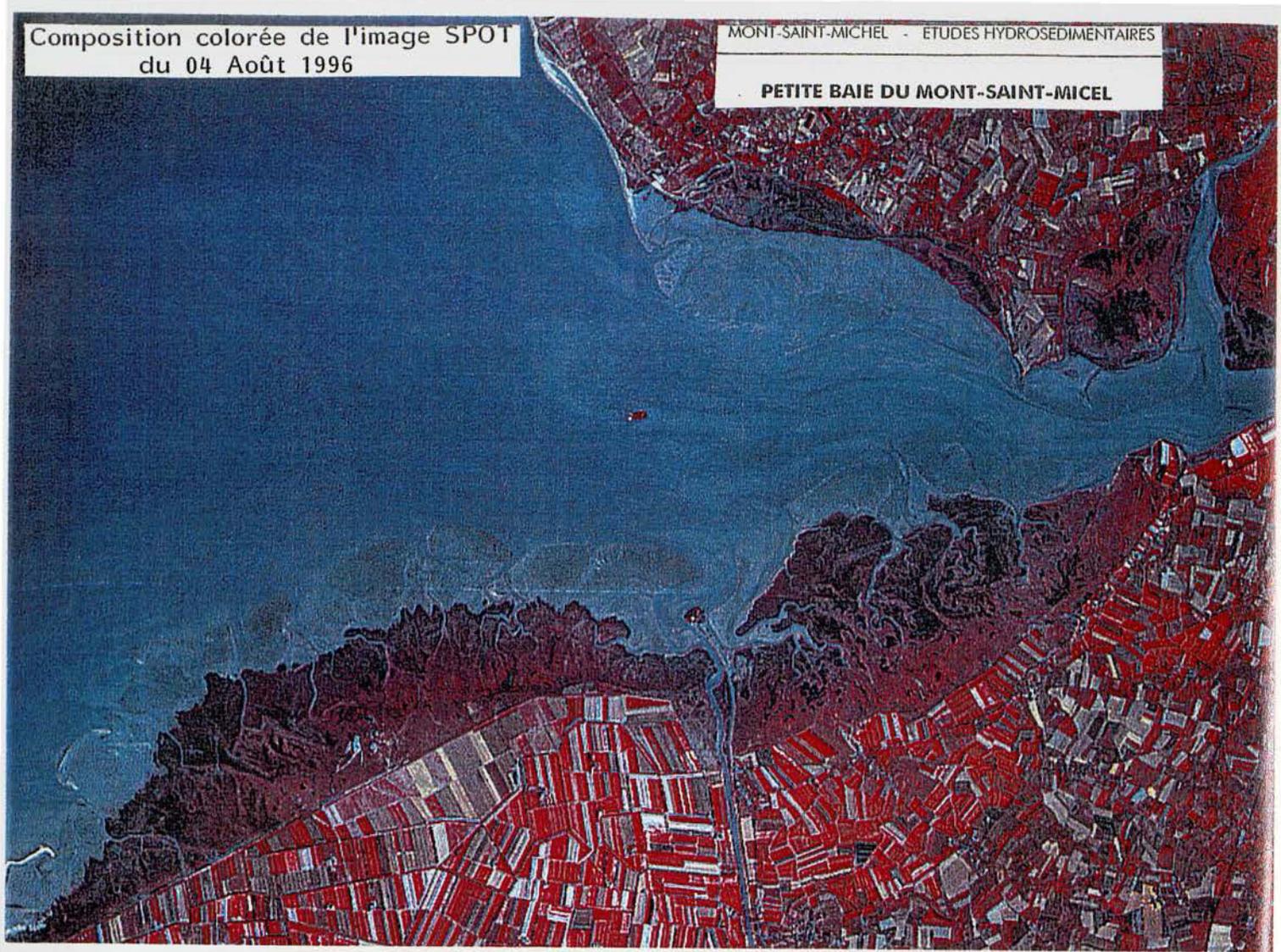
La comparaison des altitudes sur les levés de référence successifs, notamment ceux de 1958, 1975 et 1997, donne des indications sur les volumes de sédiments déposés ou érodés [26.f].

Pour l'ensemble du secteur, et ne correspondant qu'à une partie de la petite baie, les volumes sédimentés tirés de la comparaison sur une surface de 42,6 km² des levés de référence sont les suivants :

- 1958 – 1975 +17,96.10⁶ m³ soit 1.056.000 m³ /an [Figure 22].
- 1975 – 1997 +9,13.10⁶ m³ soit 415.000 m³ /an.
- 1958 – 1997 +27.10⁶ m³ soit 692.000 m³ /an [Figure 23].

Alors qu'aux environs immédiats du Mont, les herbous de l'Ouest (dont seule une faible partie est ici prise en compte) et ceux de l'Est apparaissent toujours en forte croissance, l'éventail deltaïque de jusant du Couesnon constitue un secteur en voie d'érosion et continue de fournir d'importantes quantités de matériel sédimentaire aux zones internes de la baie.

PETITE BAIE DU MONT-SAINT-MICHEL



En étendant les cubatures à l'ensemble de la petite baie (70 km²) et en prenant en compte notamment les dépôts sur le banc de l'Ouest jusqu'à 5 km du Mont, au débouché des rivières Sée – Sélune en amont de Roche Torin, et ceux situés au large de Tombelaine jusqu'à 3 km, on obtiendrait une sédimentation moyenne annuelle nettement plus importante que celle donnée sur la surface précédente de 43 km² environ. Au cours des quarante dernières années (1958 à 1997), un ordre de grandeur de 1.100.000 m³ par an d'apports peut être donné, avec vraisemblablement une décroissance dans le temps pour passer de 1.300.000 m³ /an en 1958 à 800.000 m³ actuellement.

On constate également, d'après les différences altimétriques, que les dépôts sur le banc de l'Ouest (schorre et slikke) qui s'effectuaient entre 1958 et 1975 à plus de 3 km à l'Ouest du Mont, se situent à moins de 1 km entre 1975 et 1997, forçant le Couesnon à se dévier de plus en plus vers l'Est, notamment au cours des années de faible hydraulicité.

Sur une période de près de 40 ans (1958 – 1997), les dépôts au Sud de la petite baie, sur les bancs Ouest et Est, seraient, en étendant les dépôts jusqu'à 5 km à l'Ouest du Mont :

DÉPÔTS SUR LES BANCS EST ET OUEST ENTRE 1958 ET 1997		
	BANC OUEST (SUR 5 KM)	BANC EST
Dépôts en m ³	13.000.000 (dont 6,6.10 ⁶ m ³ sur 2,5 km à l'Ouest du Mont)	11.000.000 m ³ (en majorité dans la partie centrale et au Nord)
Total	24.000.000 m ³ , soit 600.000 m ³ /an	

Ces dépôts représentent 55 à 60 % de ceux de la totalité de la petite baie au cours de la même époque.

Les autres zones de dépôts se répartissent au voisinage de Tombelaine (apparition d'un banc à +4 m) et en extrémité Nord de la baie entre le bec d'Andaine et Genêts (près de 10 millions de m³).

Les érosions se situent au Nord-Est du Mont où le déplacement du chenal du Couesnon vers l'Est, par suite de la poussée du banc de l'Ouest, entraîne des approfondissements importants des fonds et érode partiellement la face Ouest du banc de l'Est (érosion de 2,8 millions de m³).

De même, des érosions apparaissent à l'Ouest du Grouin du Sud où la Sée – Sélune viennent s'appuyer sur la face Nord de leur chenal (érosion de 1,7 millions de m³ environ).

II.2.3. Évolution des capacités d'accumulation des eaux marines dans la petite baie – Volumes d'eau oscillants entre 1958 et 1997

Pour avoir un ordre de grandeur des capacités d'emménagement des eaux marines dans la petite baie aux différentes hauteurs de la marée, les surfaces délimitées au large par la courbe passant à 3 km de Tombelaine et en amont par un alignement Roche Torin – Grouin du Sud, ont été évaluées par planimétrie pour chaque ligne de niveau.

Par ailleurs, connaissant la probabilité d'atteindre ces différentes cotes pendant les 705 marées qui se succèdent au cours d'une année, une estimation a pu être faite sur les volumes d'eau oscillants qui pénètrent et sortent chaque année de la petite baie.

PETITE BAIE DU MONT-SAINT-MICHEL
DIFFERENCES ALTIMETRIQUES ET VOLUMETRIQUES

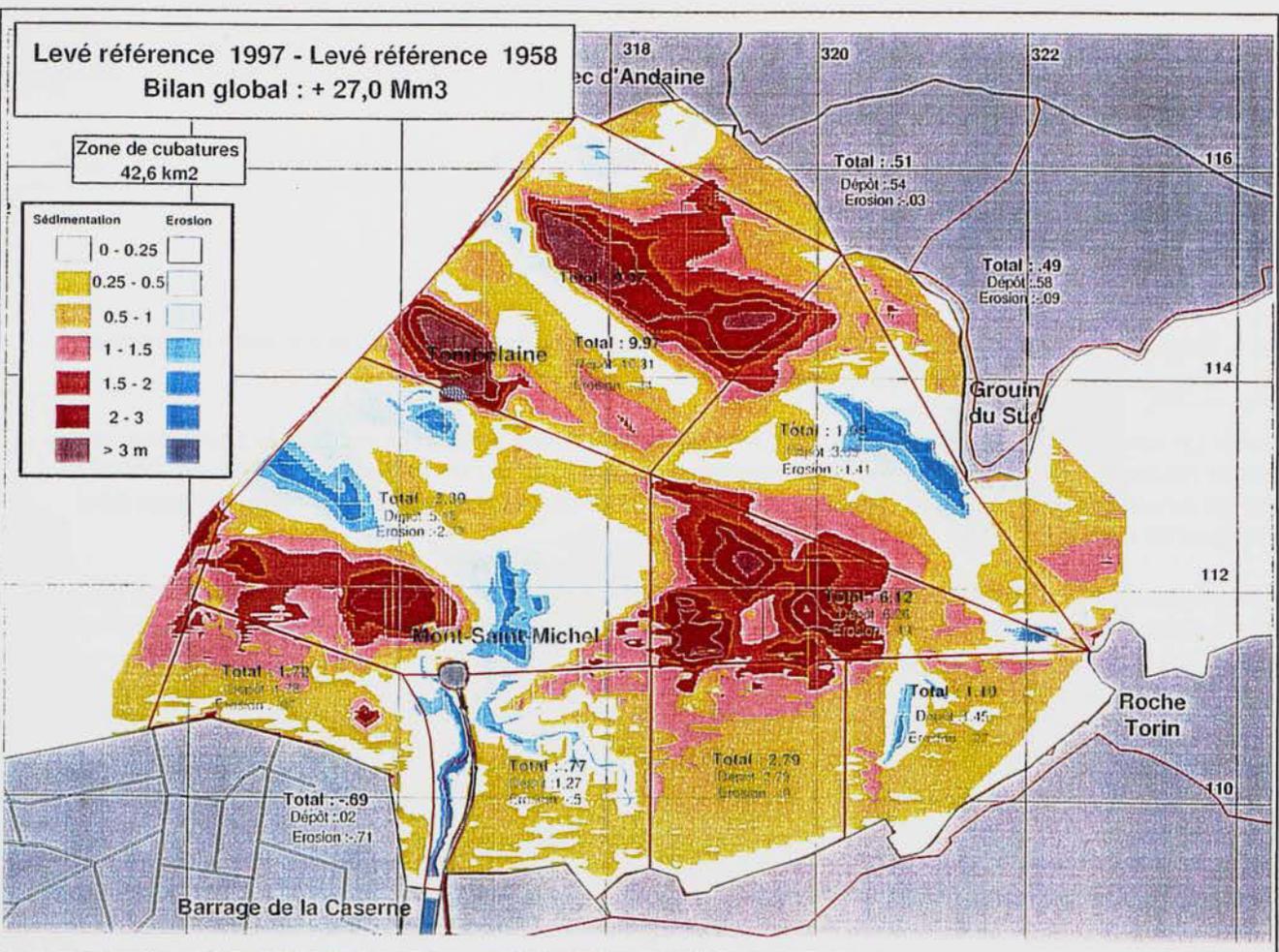
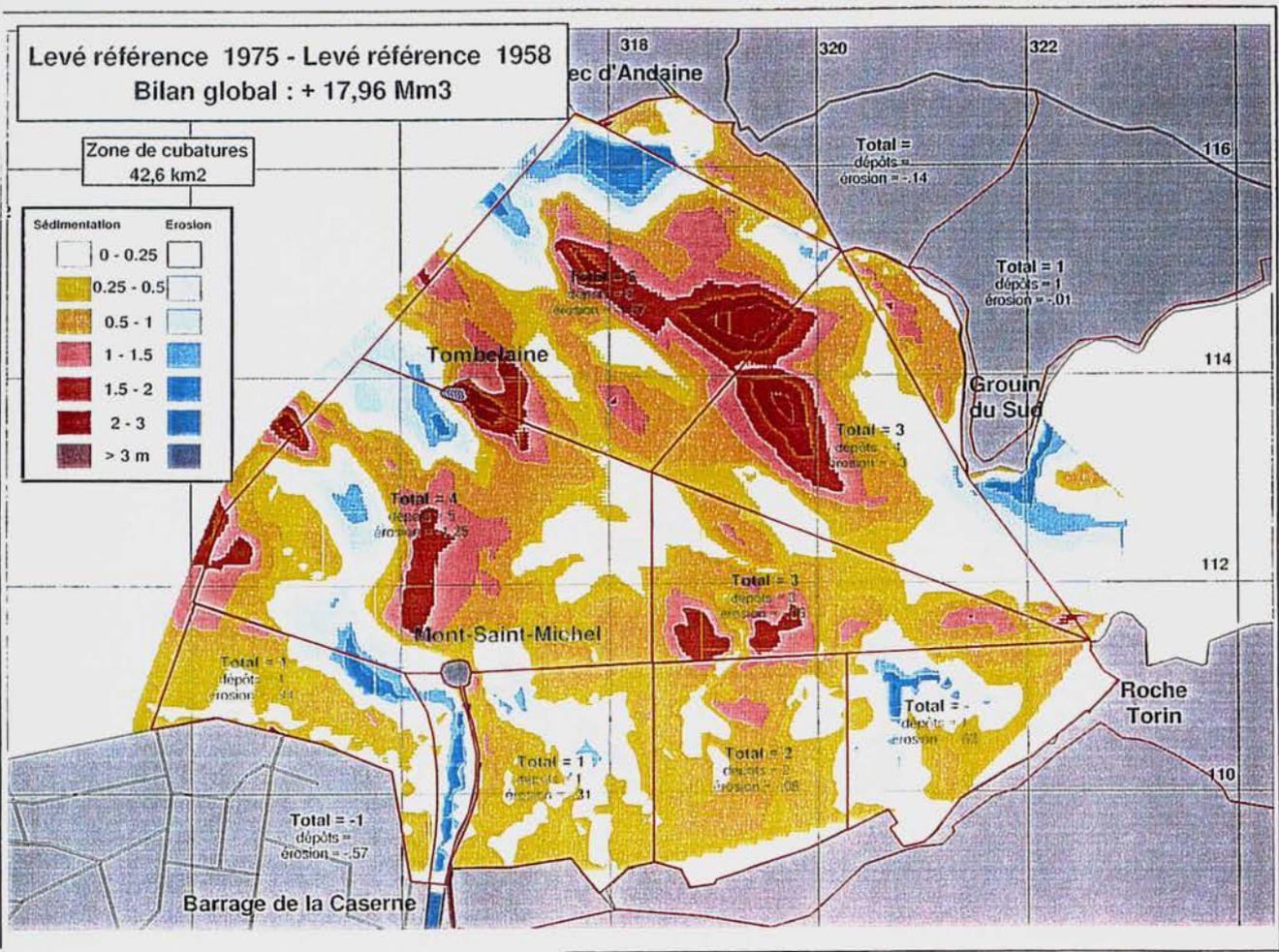


FIGURE 24 :
 VARIATION DES SURFACES DÉLIMITÉES PAR LES DIFFÉRENTES
 LIGNES DE NIVEAU EN 1958 ET 1997 ET DES VOLUMES D'EAU OSCILLANTS
 PÉNÉTRANT ET SORTANT DE LA PETITE BAIE

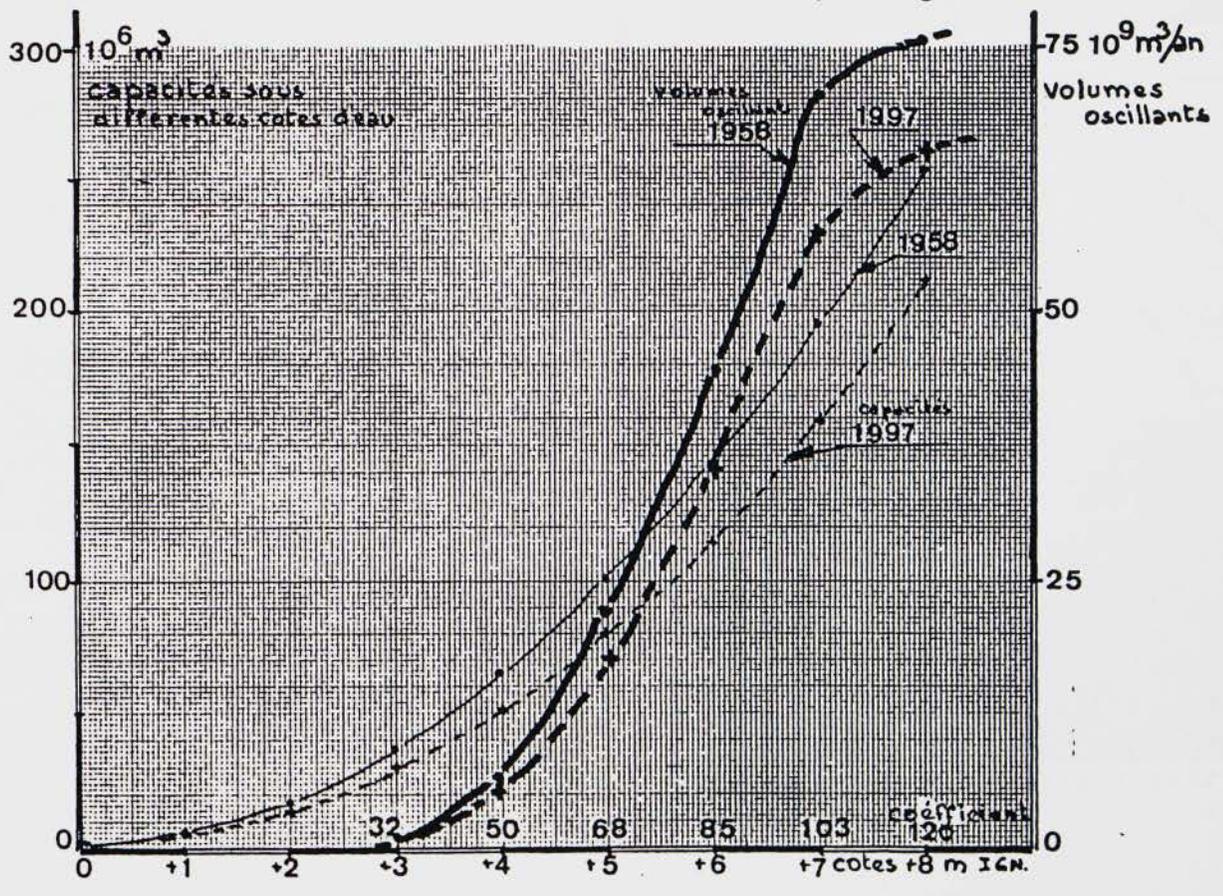
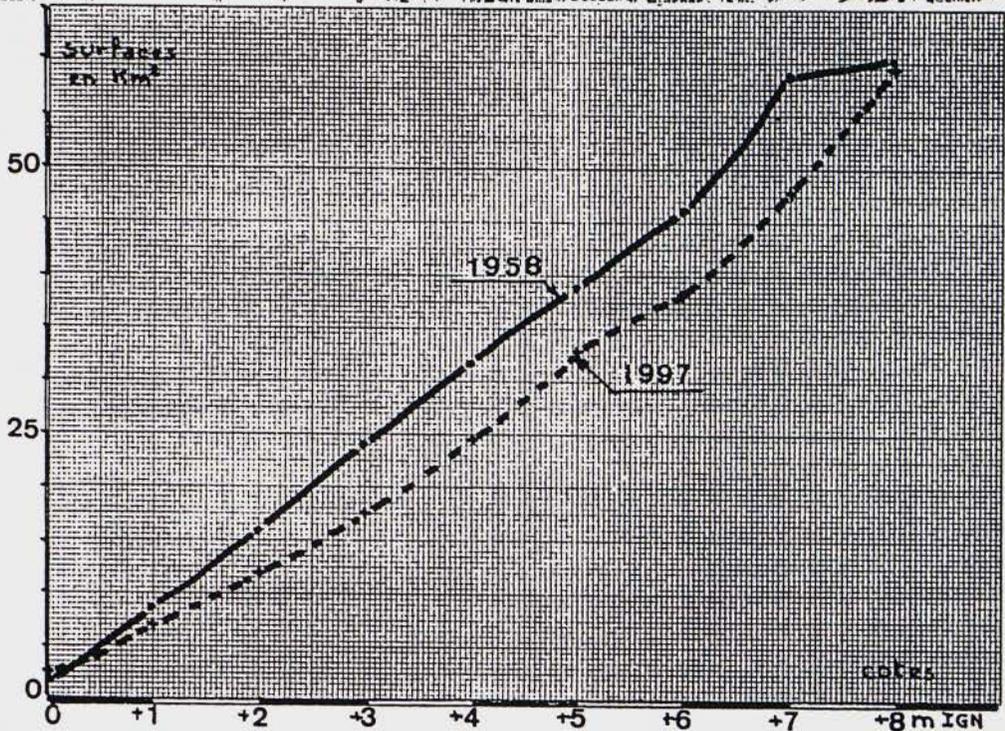
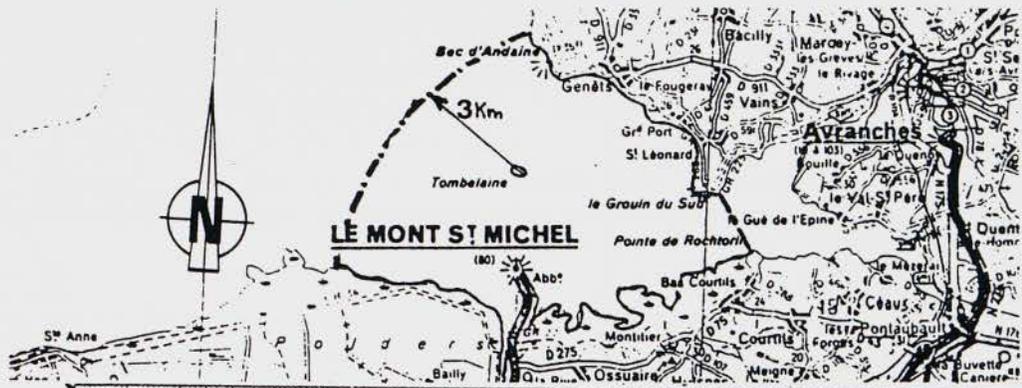
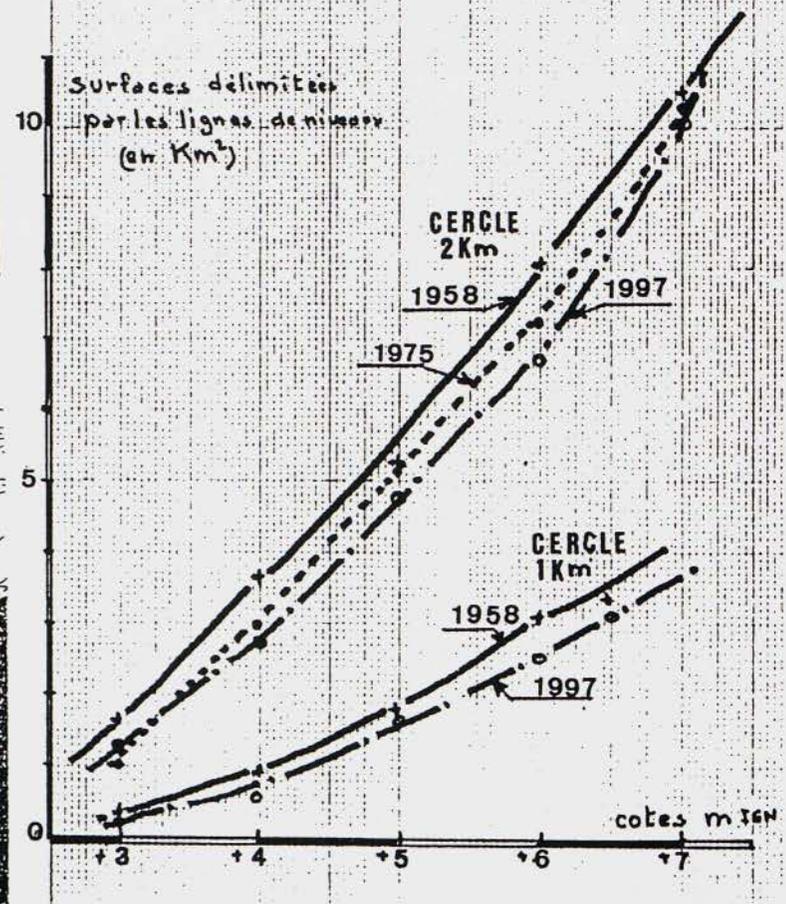
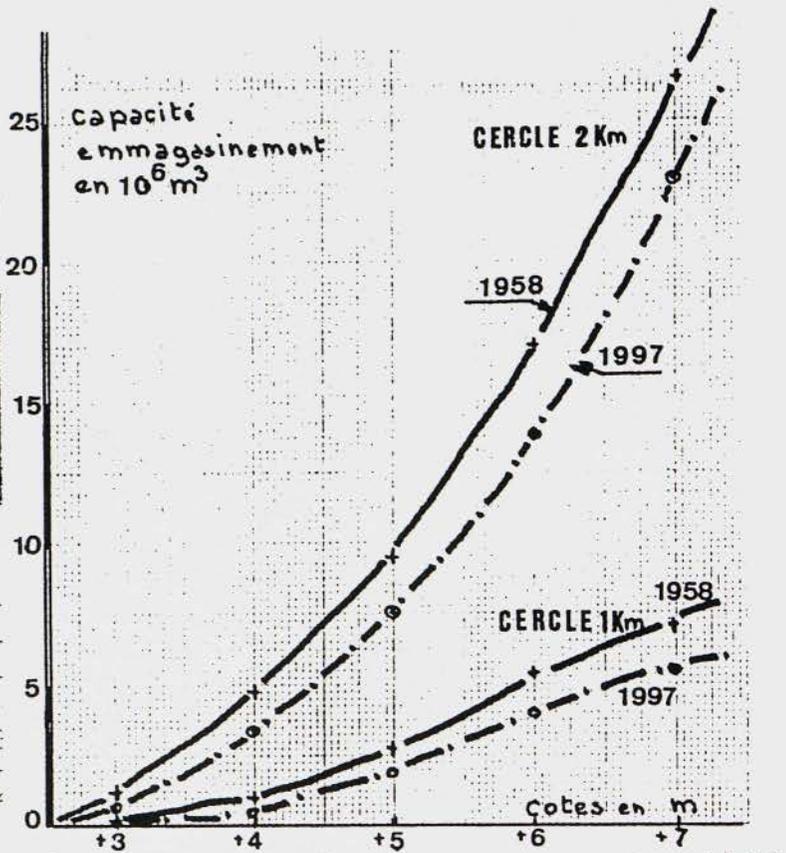
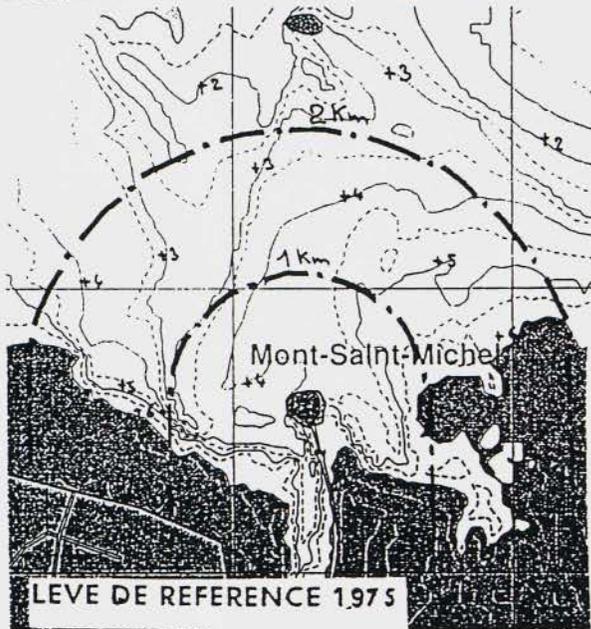
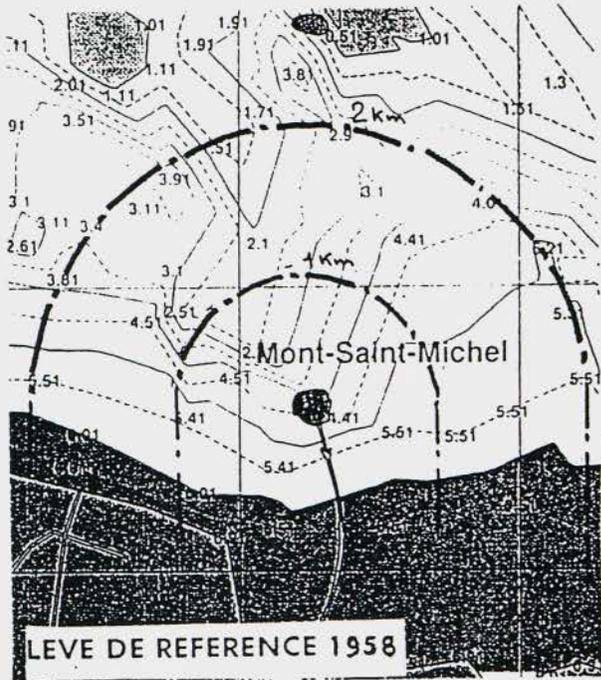


FIGURE 25 :
ÉVOLUTION DES FONDS AUX ABORDS IMMÉDIATS DU MONT



Le tableau ci-après donne, d'une part, les variations de ces capacités pour différentes cotes d'eau et, d'autre part, les volumes d'eau oscillants annuels en 1958 et en 1997 [Figure 24] :

CAPACITÉS D'EMMAGASINEMENT DES EAUX MARINES POUR DIFFÉRENTES COTES D'EAU DANS LA PETITE BAIE (EN MILLIONS DE M ³)									
Cotes en m I.G.N.....	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8
1958 (en 10 ⁶ m ³).....	0,8	5,7	17,6	37,5	65,4	100,5	142,65	195,9	254
1997 (en 10 ⁶ m ³).....	1,3	6,1	15,7	30,6	51,8	80,9	116,9	160,5	213
VOLUMES D'EAU OSCILLANTS CUMULÉS ANNUELS (EN MILLIARDS DE M ³ PAR AN)									
Coefficient de marée pour atteindre cette cote	-	-	(16)	32	50	68	85	103	120
Probabilité en %	100	100	100	97	80	54	28	6	0
1958 (en 10 ⁹ m ³ /an).....	-	-	-	0,6	6,75	22	44,2	70,5	75,3
1997 (en 10 ⁹ m ³ /an).....	-	-	-	0,5	5,4	17,6	35,7	57,2	65

À titre indicatif, le volume d'eau oscillant annuel qui pénètre et sort de la Sée – Sélune en amont de Roche Torin, serait de $2,15 \cdot 10^9$ m³/an.

Entre 1958 et 1997, la capacité maximale d'accumulation des eaux dans la petite baie, au cours d'une marée (cote +7 m), serait passée de 196.000.000 m³ à 160.000.000 m³, soit une diminution de 19 % en 40 ans environ ; cette valeur étant plus faible si l'on prend les capacités à +8 m (16 %).

Pour les volumes d'eau oscillants annuels, on retrouve une réduction comparable, les volumes oscillants en 1997 (65 milliards de m³/an) étant de 86 % de ceux correspondant aux fonds de 1958 (75 milliards de m³/an).

Sur cette période de 40 ans, la décroissance moyenne des capacités d'emménagement – tributaire des dépôts sédimentaires – serait de 0,5 % par an.

Précisons que ce volume d'eau oscillant annuel, qui atteint environ 65 milliards de m³ d'eau pour la petite baie, est 30 fois plus faible que celui qui pénètre dans la grande baie entre la pointe de Cancale et la pointe de Carolles (1.800 milliards de m³ par an).

Il est par contre 60 fois plus fort que la totalité des apports d'eau douce qui s'écoulent dans la petite baie par les rivières Sée – Sélune et Couesnon (1 milliard de m³ par an environ).

II.3. ÉVOLUTION DES FONDS AUX ABORDS IMMÉDIATS DU MONT SAINT MICHEL

Le colmatage progressif de la petite baie du Mont Saint Michel étant un phénomène inéluctable que l'on retrouve au cours du dernier siècle avec une légère réduction d'intensité au fur et à mesure que la petite baie se comble et que les volumes d'eau qui y pénètrent se réduisent, une attention particulière a été portée sur les abords immédiats du Mont Saint Michel.

L'évolution des fonds dans cette zone, que l'on peut arbitrairement délimiter par un cercle passant à 1 km ou à 2 km au large du Mont [Figure 25.j] et enclavée entre les bancs de l'Ouest et de l'Est, est tributaire en grande partie des débits du Couesnon et, pour une moindre part, du maintien de la criche Est.

Des fluctuations appréciables pourront être observées suivant que le Couesnon subira des périodes de sécheresse ou de forte pluviosité et qu'il s'opposera plus ou moins au développement du banc de l'Ouest vers l'Est avec des divagations importantes du tracé de son chenal au Nord du Mont.

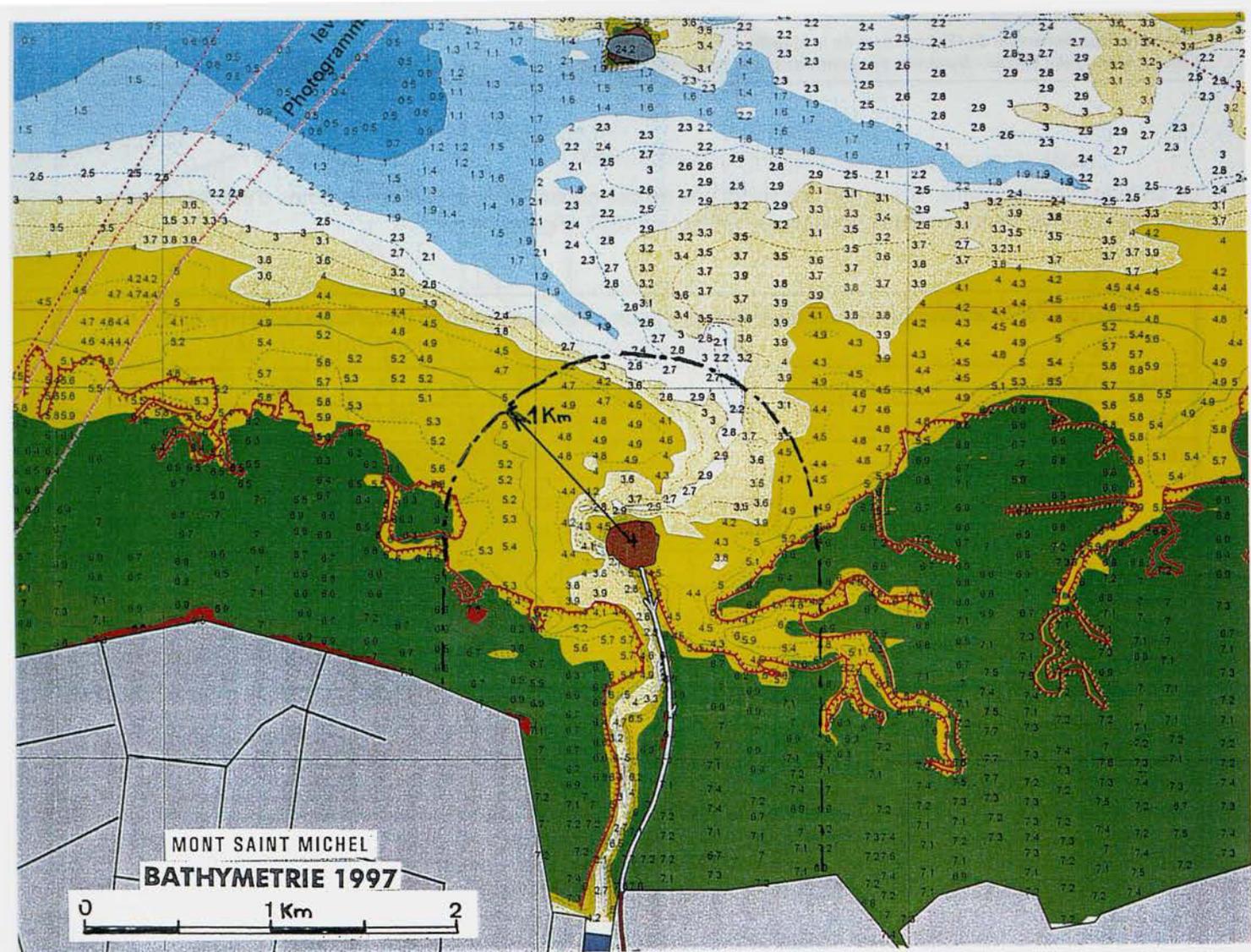
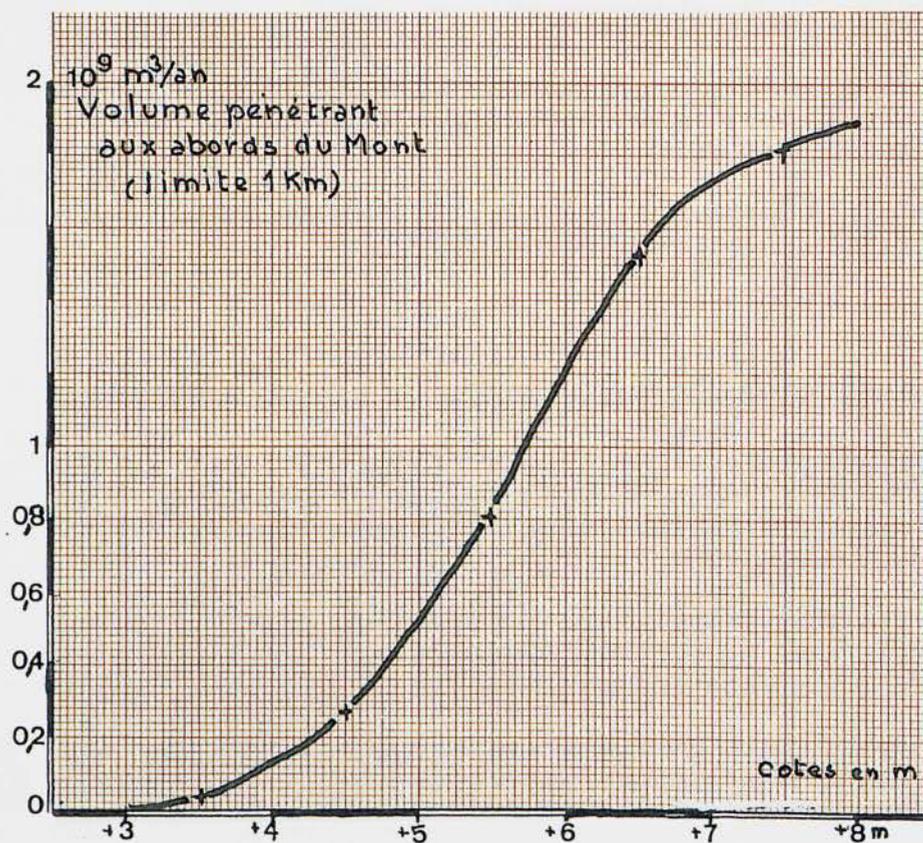


FIGURE 26 :
CAPACITÉS D'EMMAGASINEMENT DES EAUX (VEO) AUX ABORDS DU MONT



II.3.1. Évolution des superficies des zones atteintes par les eaux

Dans ces deux secteurs, de 2 km et de 1 km de rayon, les superficies des zones recouvertes par les eaux marines à différentes cotes, sont données dans le tableau ci-après pour les levés de 1958, 1975 et 1997.

SUPERFICIES DES ZONES DÉLIMITÉES PAR UN CERCLE PASSANT À 2 KM DU MONT ET LES DIFFÉRENTES LIGNES DE NIVEAUX (EN KM²)					
Date	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m	+7 m
1958	1,66	3,65	5,25	8,1	10,5
1975	1,0	3,0	5,3	7,2	10,3
1997	1,37	2,78	4,85	6,75	10,2
SUPERFICIES DES ZONES DÉLIMITÉES PAR UN CERCLE DE 1 KM					
1958	0,34	0,94	1,82	3,1	3,35 ^[1]
1975	0,13	0,75	1,78	2,97	3,15
1997	0,21	0,55	1,71	2,5	3,15

[1] Cote +6,5 m au lieu de +7 m.

On notera que ces zones, primordiales pour l'environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel, ne représentent respectivement que 20 % et 6 à 7 % de la superficie de la petite baie limitée à l'Ouest par un alignement Grouin du Sud – Roche Torin.

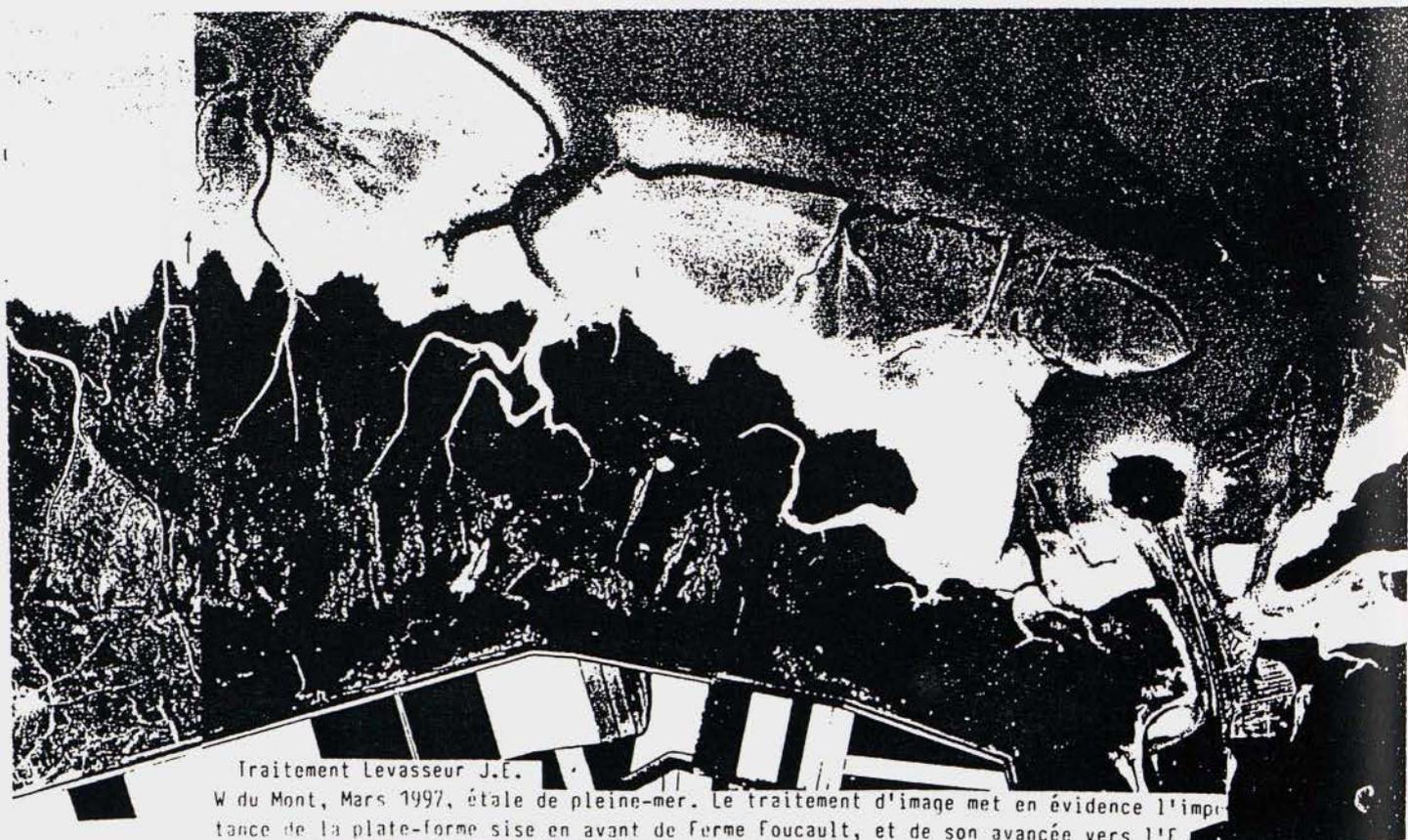
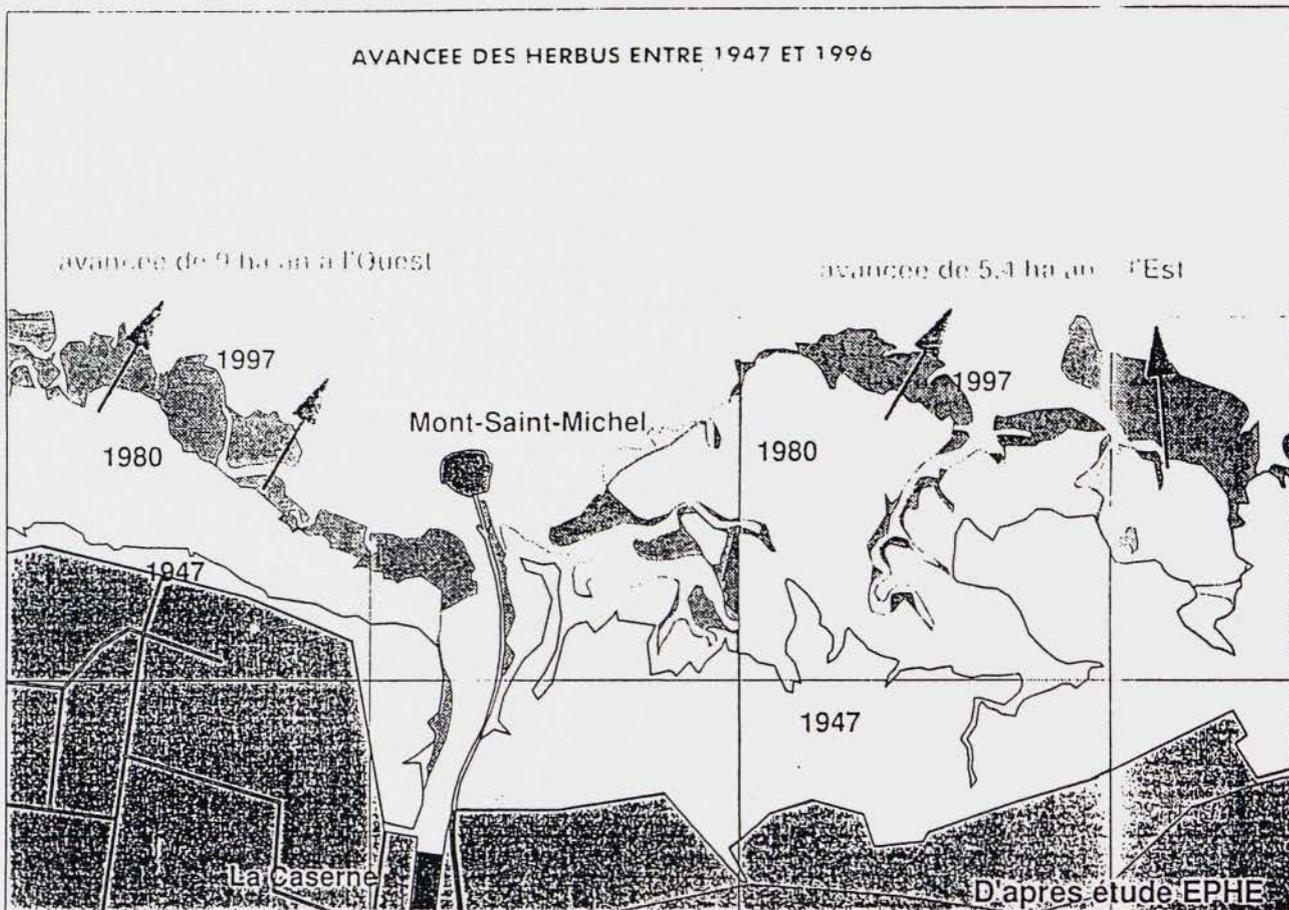
II.3.2. Évolution des capacités d'emménagement et des volumes oscillants

Pour les états des fonds de 1958 et de 1997, les capacités d'emménagement des eaux marines dans ces deux mêmes zones sont données ci-après [Figure 26].

CAPACITÉS D'EMMAGASINEMENT DES EAUX MARINES POUR DIFFÉRENTES COTES D'EAU (EN MILLIONS DE M³)					
Cotes d'eau (en m)	+3 m	+4 m	+5 m	+6 m	+7 m
ZONES DÉLIMITÉES PAR UN CERCLE DE 2 KM					
1958	1,20	4,8	9,5	17	26,6
1997	0,7	3,4	7,5	13,85	23
ZONES DÉLIMITÉES PAR UN CERCLE DE 1 KM					
1958	0,17	0,92	2,52	5,3	6,95
1997	0,11	0,56	1,92	4,06	5,6
1975					6,25

Par rapport à l'ensemble de la petite baie, les zones situées aux abords immédiats du Mont Saint Michel n'ont que des capacités d'emménagement des eaux à pleines mers de vives eaux (cote +7 à +8 m) que de 14 à 15 % pour les zones délimitées par un cercle de 2 km et 3,5 % environ pour celles délimitées par un cercle de 1 km.

En 40 ans environ (1958 à 1997), les capacités d'emménagement à pleines mers (+7 m) ont été réduites de 14 % pour les zones délimitées à 2 km et de près de 20 % pour celles délimitées par un cercle de 1 km.



On retrouve localement des réductions comparables à celles de l'ensemble de la petite baie (0,5 % par an en moyenne).

Au cours d'une année, les volumes d'eau oscillants qui pénètrent et sortent de la zone délimitée par un cercle de 1 km au large du Mont, représentent environ 1,8 milliards de m³ d'eau dans l'état actuel de la baie (1997) alors que ce volume oscillant atteint 60 milliards de m³/an dans la petite baie (3 %). Pour une limite plus grande correspondant à un cercle de 2 km de rayon, passant au large du Mont, ce rapport atteindrait 12 % bien qu'en surface ces deux mêmes zones représentent 20 % et 6,5 % (10,2 et 3,15 km²) de la surface de la petite baie ; ce qui tend à montrer que le colmatage des fonds s'effectue principalement aux abords du Mont sur la slikke et le schorre à des cotes relativement élevées.

En rapprochant ces volumes oscillants annuels aux abords du Mont, des volumes d'eau fluviaux susceptibles d'être apportés par le Couesnon au cours d'une année moyenne et qui atteignent 320 millions de m³ par an (260 millions de m³ en année « sèche » et 400 millions de m³ en année « pluvieuse »), on voit que ces apports prennent de plus en plus d'importance lorsque l'on aborde une zone proche du Mont (20 à 25 % des volumes oscillants d'eau de mer).

II.4. ÉVOLUTION DES HERBUS DE 1947 À 1997

Les herbues se développent d'une façon préférentielle sur le schorre à partir d'une cote moyenne de +5,50 m I.G.N., mais pouvant être légèrement supérieures dans les zones soumises à des actions hydrodynamiques importantes (+6,50 m devant Genêts) ou plus basses dans les secteurs relativement calmes (+5 m au Vivier-sur-mer).

Différentes études ont été réalisées pour définir la progression du schorre et des « herbues » qui le recouvrent depuis 1947 jusqu'à nos jours [20 – 27.e – 30 – 34].

Sur la totalité de la petite baie, les études de J. LE RHUN puis du L.C.H.F., basées sur l'exploitation des photographies aériennes de 1947 à 1975, donnent les évolutions suivantes de la superficie des herbues.

SUPERFICIE DES HERBUS EN HECTARES				
Années	1947	1961	1969	1975
Surface (en ha)	640	920	1.080	1.350
Progression moyenne (ha/an)	25			

Une étude récente (Octobre 1997), réalisée par le Laboratoire de Géomorphologie de l'École Pratique des Hautes Études (Dinard), apporte une plus grande précision sur l'évolution géomorphologique des herbues entre la Chapelle Sainte-Anne et l'Ouest de la pointe de Roche Torin à l'Est [20].

Au cours des dernières années (1980 à 1996) [Figure 27], on constate que :

- À l'Ouest du Mont Saint Michel, les herbues se sont étendus vers le large sur 250 à 450 m jusqu'à une distance de 4,5 km du Mont. Au-delà, les variations récentes sont plus faibles, voire négligeables, alors qu'elles étaient très appréciables entre 1947 et 1980.
- À l'Est du Mont, jusqu'à la pointe de Roche Torin, les évolutions récentes se localisent principalement dans la partie centrale du banc à des distances comprises entre 1 et 4 km du Mont. Au-delà, la destruction de la digue de la Roche Torin aurait entraîné un recul du schorre.

Par rapport à ces avancées du schorre et des herbues, tant à l'Ouest qu'à l'Est, le Mont Saint Michel se situe maintenant en retrait de 750 m environ.

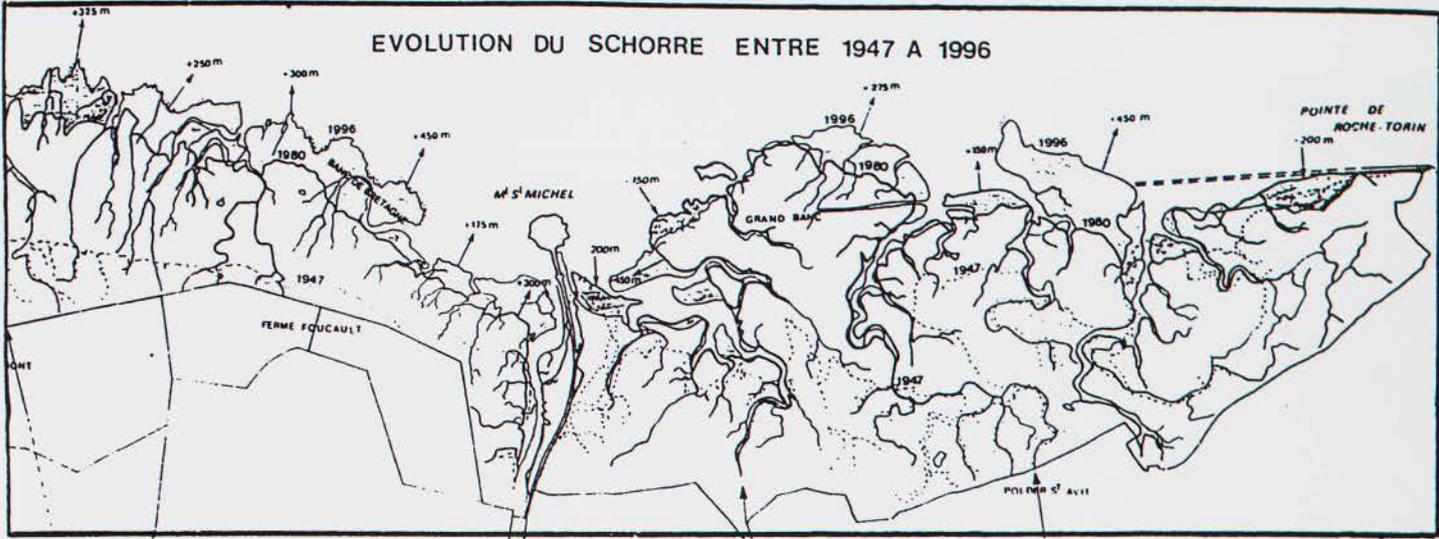
FIGURE
27 B

: VUES AERIENNES (I.G.N.) AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL



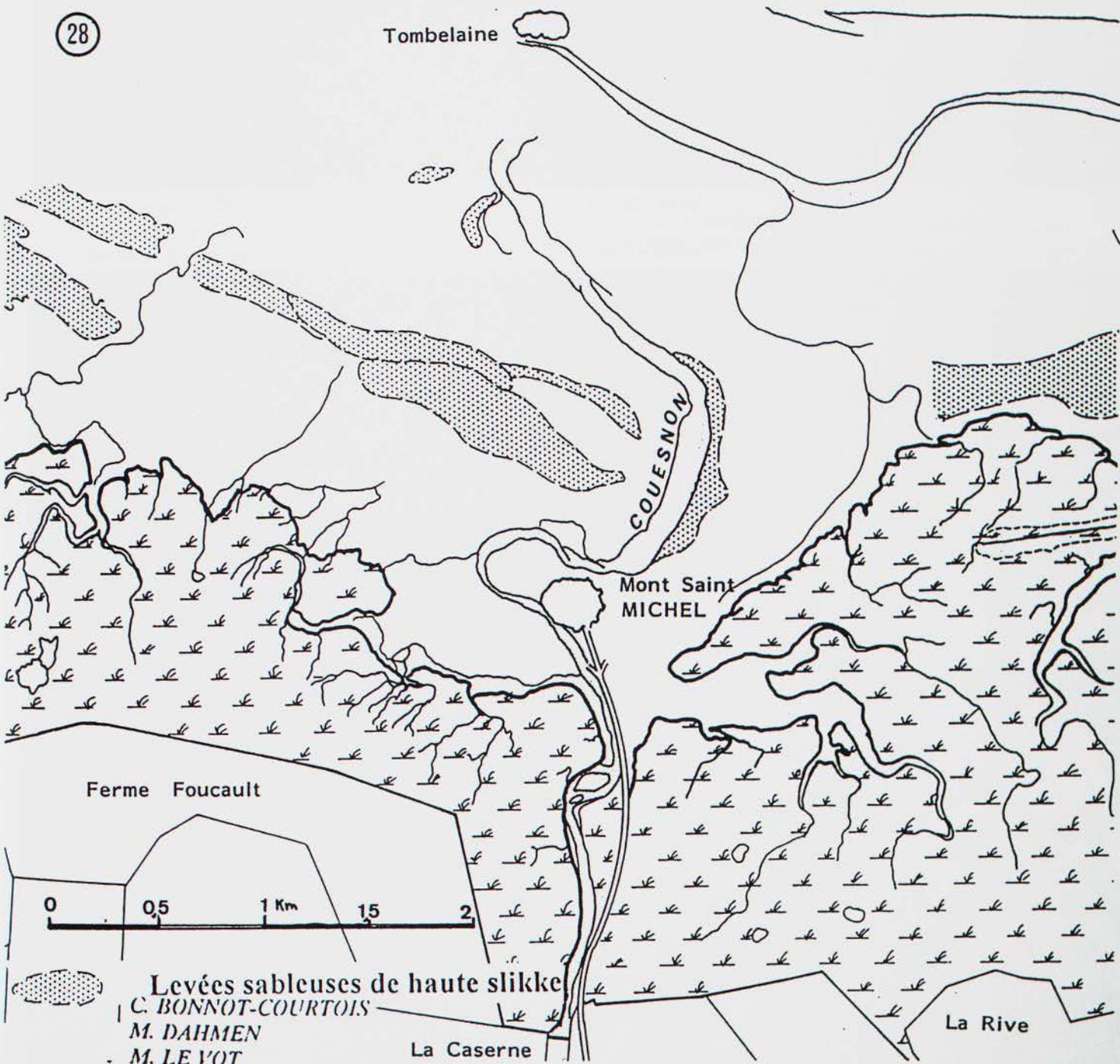
GEOMORPHOLOGIE DU HAUT ESTRAN EN 1996

EVOLUTION DU SCHORRE ENTRE 1947 A 1996



28

Tombelaine



Levées sableuses de haute slikke

C. BONNOT-COURTOIS

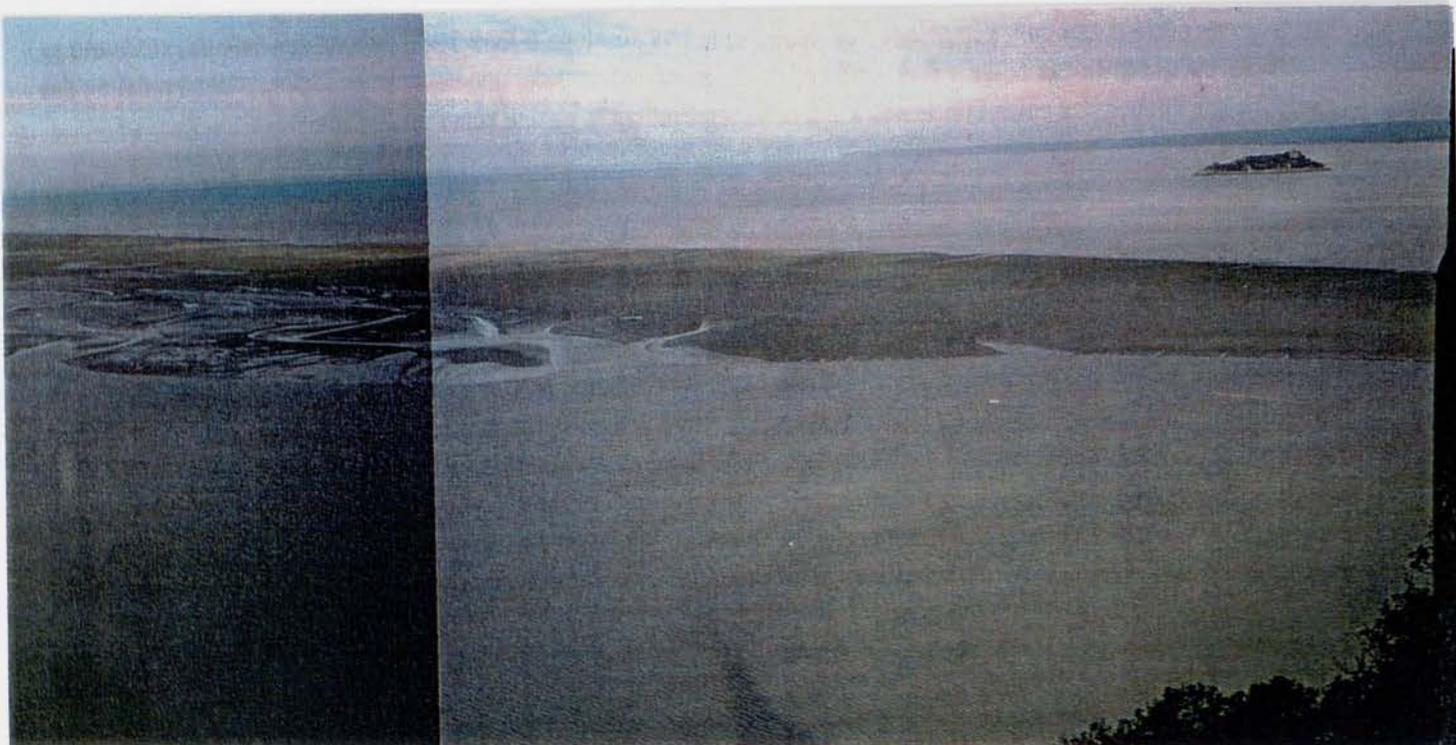
M. DAHMEN

M. LE VOT

La Caserne

La Rive

FIGURE N°29 : VUE AÉRIENNE EN 1995 ET BANC DE SABLE SE DÉVELOPPANT
AU NORD DU MONT EN 1996



banc de l'ouest 11H30 Mt St MICHEL 3 oct 1996

MARS 1995



Le tableau ci-après donne l'évolution des herbus pour les années 1947, 1980 et 1996.

SURFACES (EN HA) COUVERTES PAR L'HERBU (CHAPELLE SAINTE-ANNE – ROCHE TORIN)			
Dates	Zones		
	Ouest du Mont	Est du Mont	Total
1947	654	634	1.288
1980	1.217	967	2.184
1996	1.366	1.050	2.416
Progression moyenne (en ha par an)			
1947 à 1980	17	10	27
1980 à 1996	9,3	5,2	14,5
1947 à 1996	14,5	8,5	23

La *figure 28*, établie par l'E.P.H.E., donne la géomorphologie de l'estran en 1996 avec la présence de bancs sableux venant recouvrir la haute slikke et progressant de l'Ouest vers l'Est pour venir s'étendre entre Tombelaine et le Mont Saint Michel, déviant le Couesnon vers l'Est aux abords du Mont.

L'importance du banc de l'Ouest, avec son avancée vers l'Est, est particulièrement visible sur la photographie aérienne de Mars 1997 traitée par J.E. LEVASSEUR [30] avec son influence sur le chenal du Couesnon au Nord immédiat du Mont [Figures 27 et 29].

La comparaison des transacts topographiques levés sur l'herbu en 1981 et en 1996, permet de préciser l'importance des accrétions, notamment sur le banc de l'Ouest où un relèvement des altitudes de 0,80 m est mis en évidence dans la partie basse de l'herbu.

II.5. L'ÉVOLUTION DE LA CRICHE DE L'EST ET DES FONDS À L'OUEST IMMÉDIAT DU MONT

La « criche de l'Est » formée à l'Est immédiat du Mont Saint Michel est enclavée par la digue route à l'Ouest et l'avancée du grand banc de l'Est qui progresse vers le large. Cette criche est alimentée par différentes filandres qui viennent drainer ce secteur.

L'évolution de cette criche au cours des 50 dernières années est un des éléments susceptibles d'apporter des informations sur la modification du caractère maritime à l'Est immédiat des abords du Mont Saint Michel.

En partant des limites des herbus établies par la Mission Mont Saint Michel entre 1947 et 1986 et complétées par les photographies aériennes disponibles depuis cette époque, les surfaces de cette criche Est ont été évaluées dans le secteur limité au Nord par l'alignement Mont Saint Michel – pointe de Roche Torin, à l'Est par une perpendiculaire passant à 1.500 m du Mont, à l'Ouest par la digue route et au Sud par les différentes limites des herbus.

Les *figures 30 et 31* donnent l'évolution de cette criche Est et de sa superficie au cours des temps et le tableau ci-après précise les surfaces délimitées dans cette criche Est.

FIGURE N°30 : ÉVOLUTION DE LA CRICHE EST ET DE L'OUEST IMMÉDIAT DU MONT



ÉVOLUTION DES SUPERFICIES DE LA ZONE DE LA CRICHE EST					
Dates	04/07/1947	21/05/1952	24/06/1961	19/09/1966	06/03/1969
Superficie en 10 ⁶ m ²	1,38	-	1,48	1,16	1,0
Dates	12/07/1972	19/09/1979	10/06/1984	05/09/1986	03/1995
Superficie en 10 ⁶ m ²	1,2	0,52	0,63	0,64	0,49

Alors que le grand banc de l'Est – situé entre le Mont Saint Michel et la pointe de Roche Torin – a évolué considérablement, les herbues débordant l'alignement de la Roche Torin de 600 m vers le large à 1.800 m de l'Est du Mont, la criche Est se comble plus lentement avec des variations dans le temps, un resserrement de son débouché, mais une tendance à érosion de sa face externe Nord en 1995-1996 par suite du détournement du Couesnon vers l'Est et des effets combinés des courants de fin de flot associés aux courants de vidage de la criche et de ses filandres en jusant.

Les fonds de cette criche sont cependant très faibles et le levé aérotopo d'Avril 1985 indique des valeurs, sur toute sa superficie, variant entre les cotes +4,5 et +5 m I.G.N. 69 limitant considérablement ses capacités d'accumulation des eaux. À cette époque, les cotes inférieures à +4,5 m ne représentaient qu'une superficie infime.

Les mesures du 04 Juillet 1996 – en marée de coefficient 103 – montrent que le volume oscillant qui pénètre dans cette criche Est est de 370.000 m³ pour une marée atteignant à pleines mers la cote +7 m, avec une résultante sédimentaire de 400 tonnes vers l'amont ; ce qui représente une épaisseur moyenne de dépôts de 1,3 mm au cours d'une marée de grandes vives eaux [43.b].

La nécessité de renforcer les pouvoirs hydrodynamiques de cette criche Est – élément important pour prolonger naturellement le caractère maritime de ce secteur proche du Mont Saint Michel – est un élément à prendre en considération dans les solutions d'aménagements envisageables.

L'évolution des fonds à l'Ouest immédiat du Mont est le deuxième facteur à examiner pour maintenir l'environnement maritime du Mont. L'extension des fonds vers le large, à l'Ouest du Mont, à des distances de plus de 700 m des limites des polders et la réduction des actions hydrodynamiques du Couesnon depuis la réalisation du barrage de la Caserne en 1969, posent un réel problème pour la pérennité du caractère maritime de ce secteur.

Comme pour la criche Est, on a examiné l'évolution de cette zone Ouest délimitée par le prolongement vers l'Ouest de l'alignement Roche Torin – le Mont, sur une distance de 1.200 m, la limite des herbues et la digue route d'accès à l'Est.

Les figures 30 et 31 donnent l'évolution de ces superficies entre 1947 et 1995 et le tableau ci-après les valeurs délimitées dans cette zone Ouest.

Précisons qu'en s'éloignant du Mont vers l'Ouest, les herbues ont considérablement progressé vers le large et dépassent de 750 m l'alignement Roche Torin – le Mont à 1.500 m à l'Ouest du Mont, le secteur plus près du Mont restant encore un peu protégé contre l'extension des herbues grâce aux divagations du Couesnon et à certaines filandres.

ÉVOLUTION DES SUPERFICIES DE LA ZONE OUEST					
Dates	04/07/1947	21/05/1952	24/06/1961	19/09/1966	06/03/1969
Superficie en 10 ⁶ m ²	1,22	-	0,65	0,76	0,80
Dates	12/07/1972	19/09/1979	10/06/1984	05/09/1986	03/1995
Superficie en 10 ⁶ m ²	0,82	0,67	0,64	0,47	0,38

FIGURE N°31 : ÉVOLUTION DES SUPERFICIES DE LA CRICHE EST ET DU SECTEUR OUEST
ENTRE 1947 ET 1995

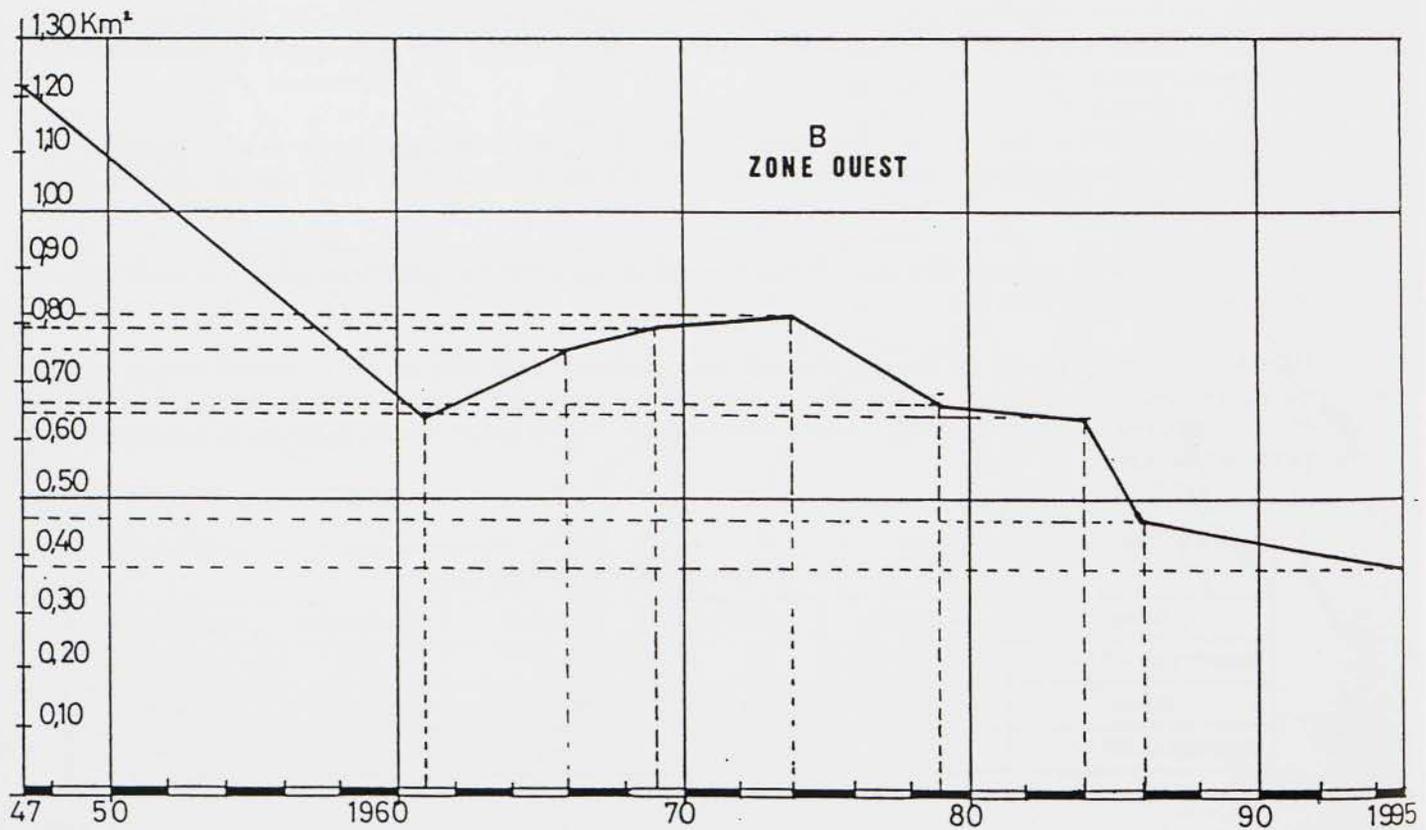
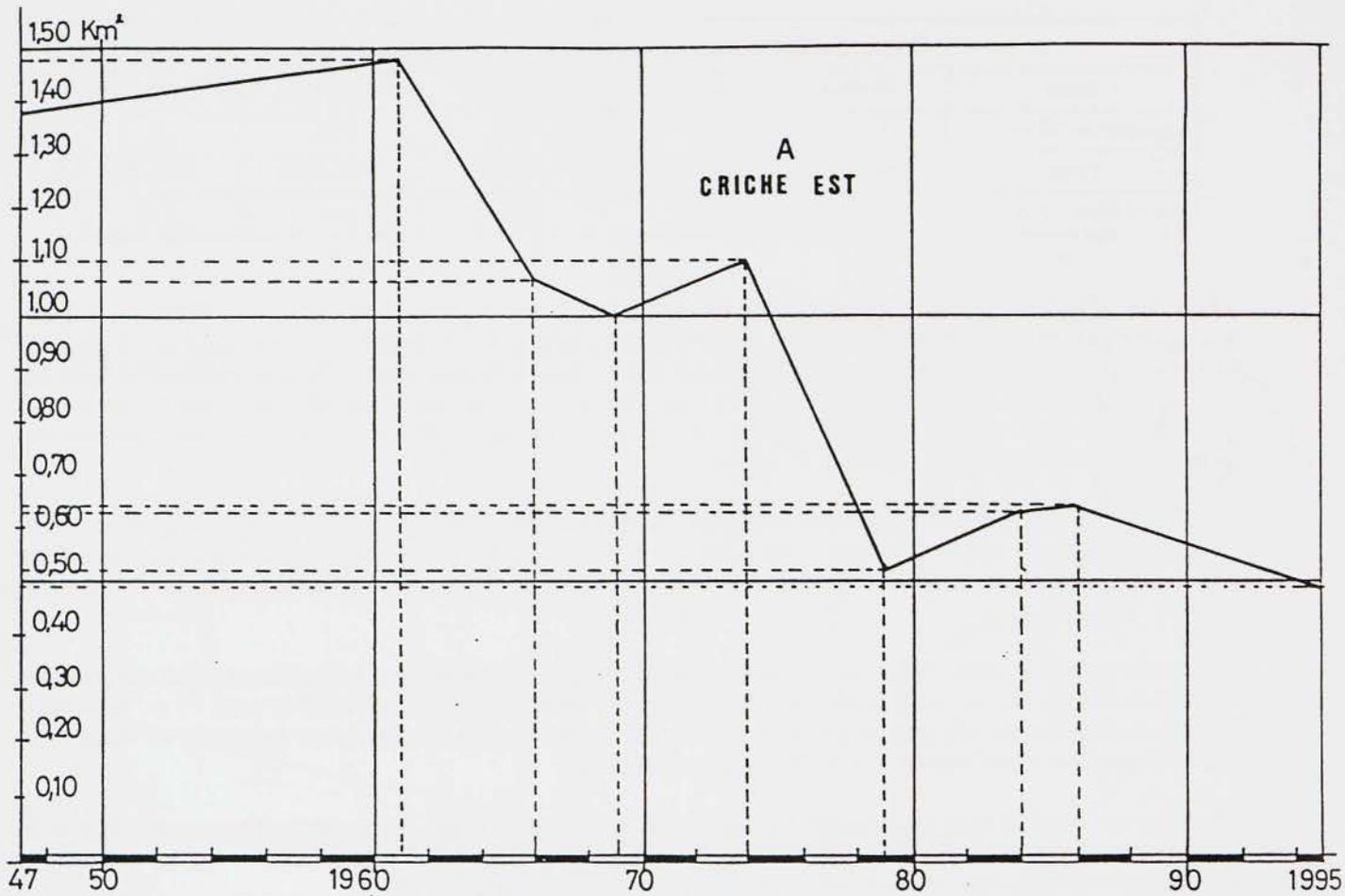
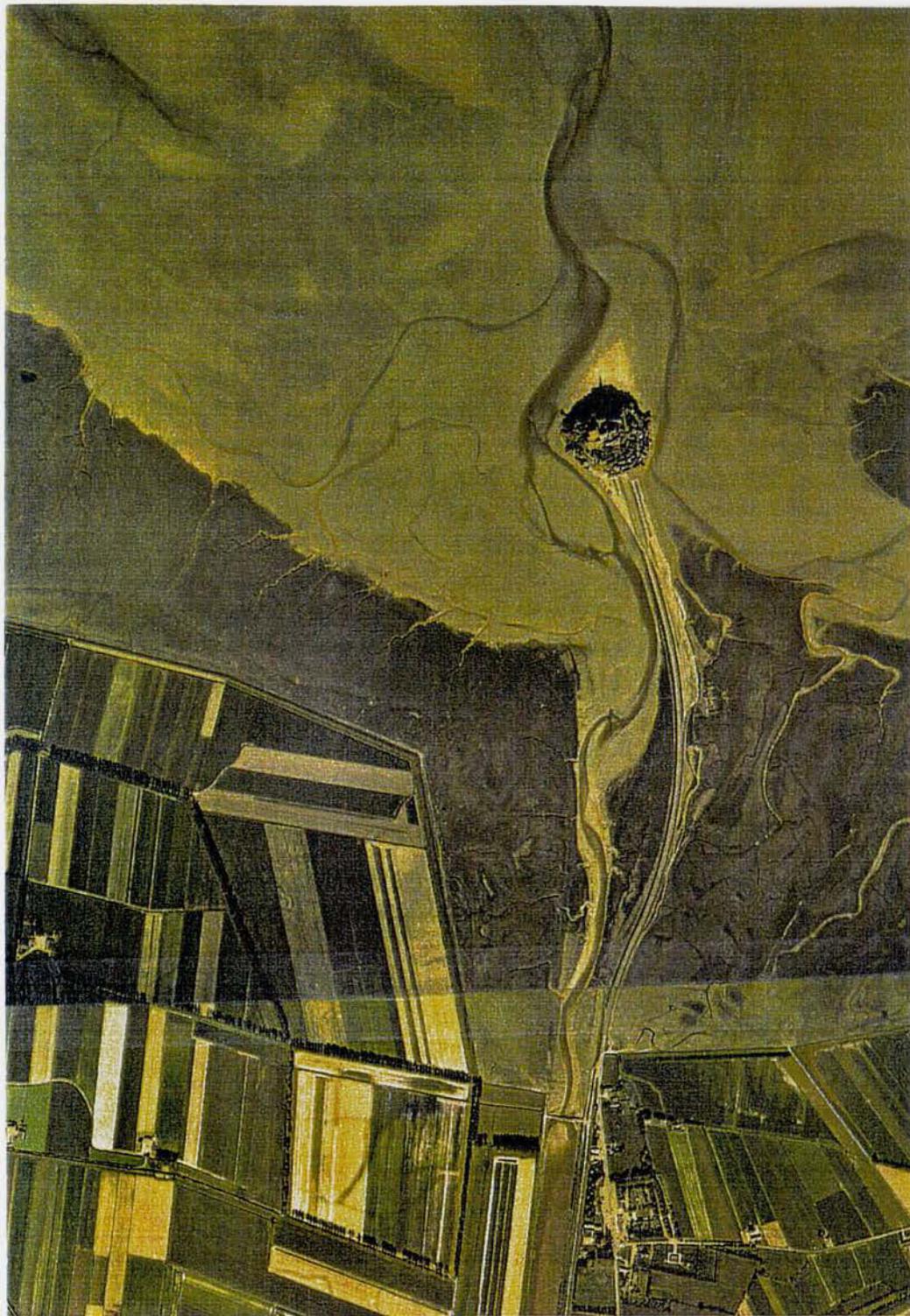


FIGURE N°32A: PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES APRÈS CONSTRUCTION
DU BARRAGE DE LA CASERNE

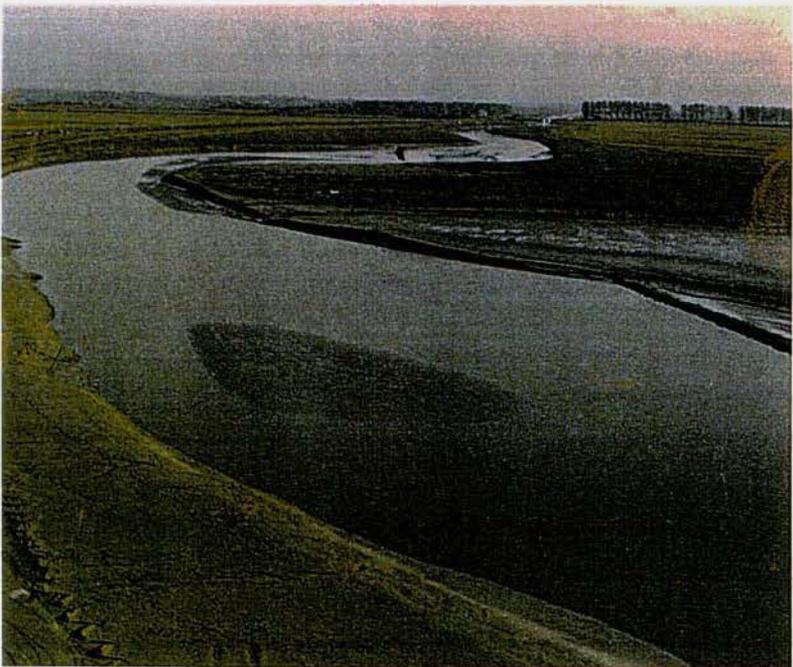


I.G.N.
Octobre 1980

FONDS
ENTRE LE BARRAGE
ET LE MONT SAINT MICHEL

Septembre 1983





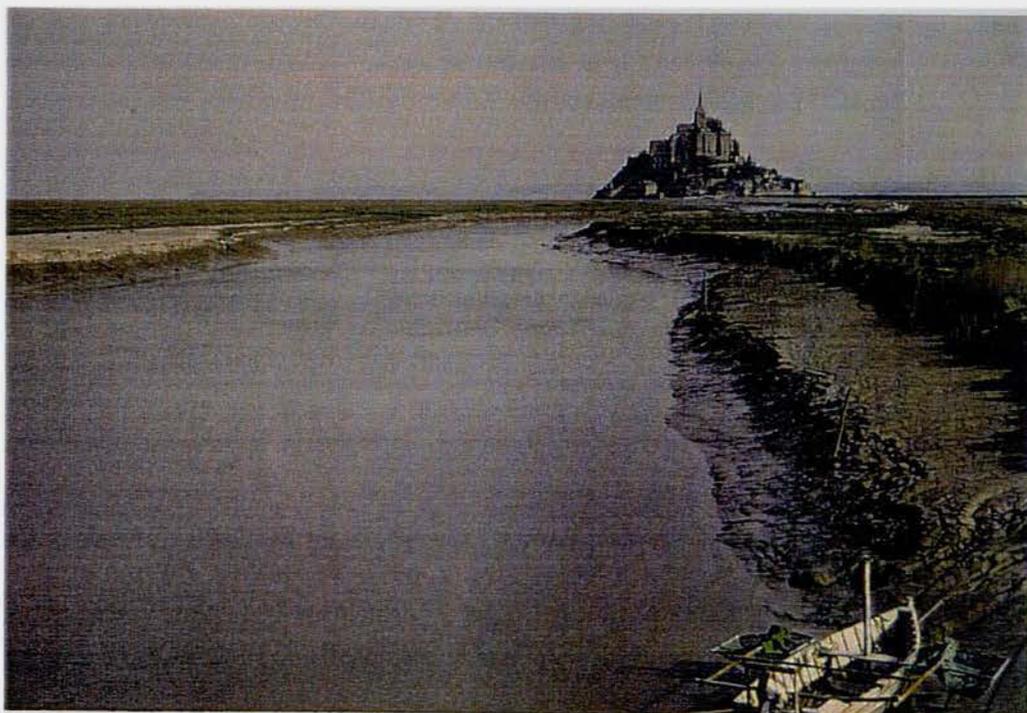
LE COUESNON ENTRE LE BARRAGE ET LE MONT Sept 1983 Pleine Mer Coef 100



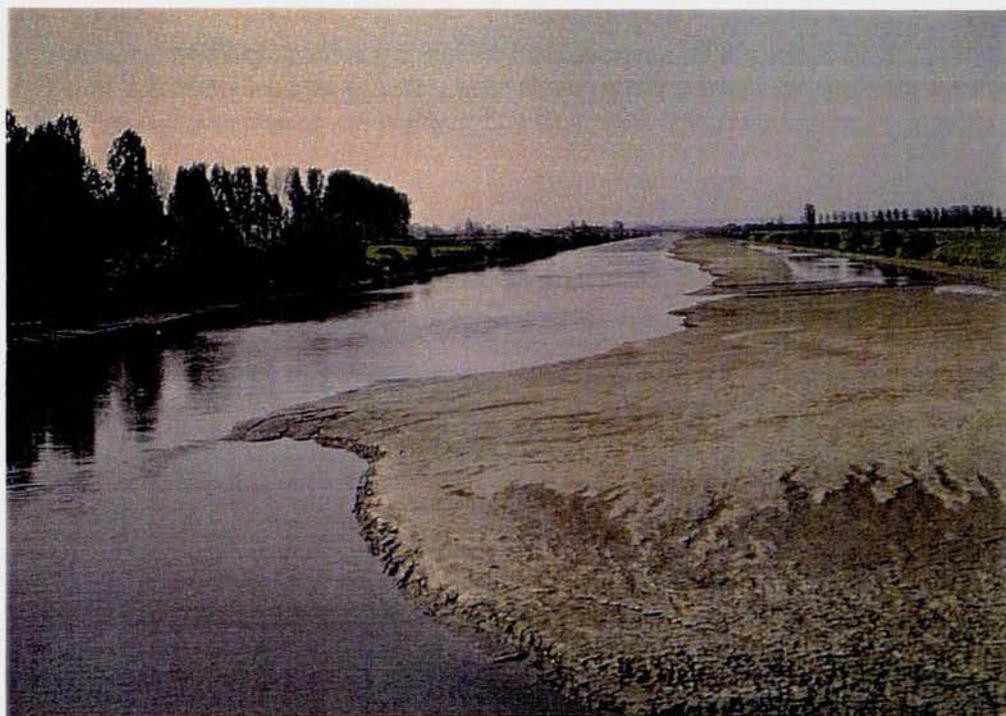
CRUE COUESNON 3 Fev 1984

EROSION BERGES Rive Droite

La zone du Couesnon (vue du barrage de La Caserne)

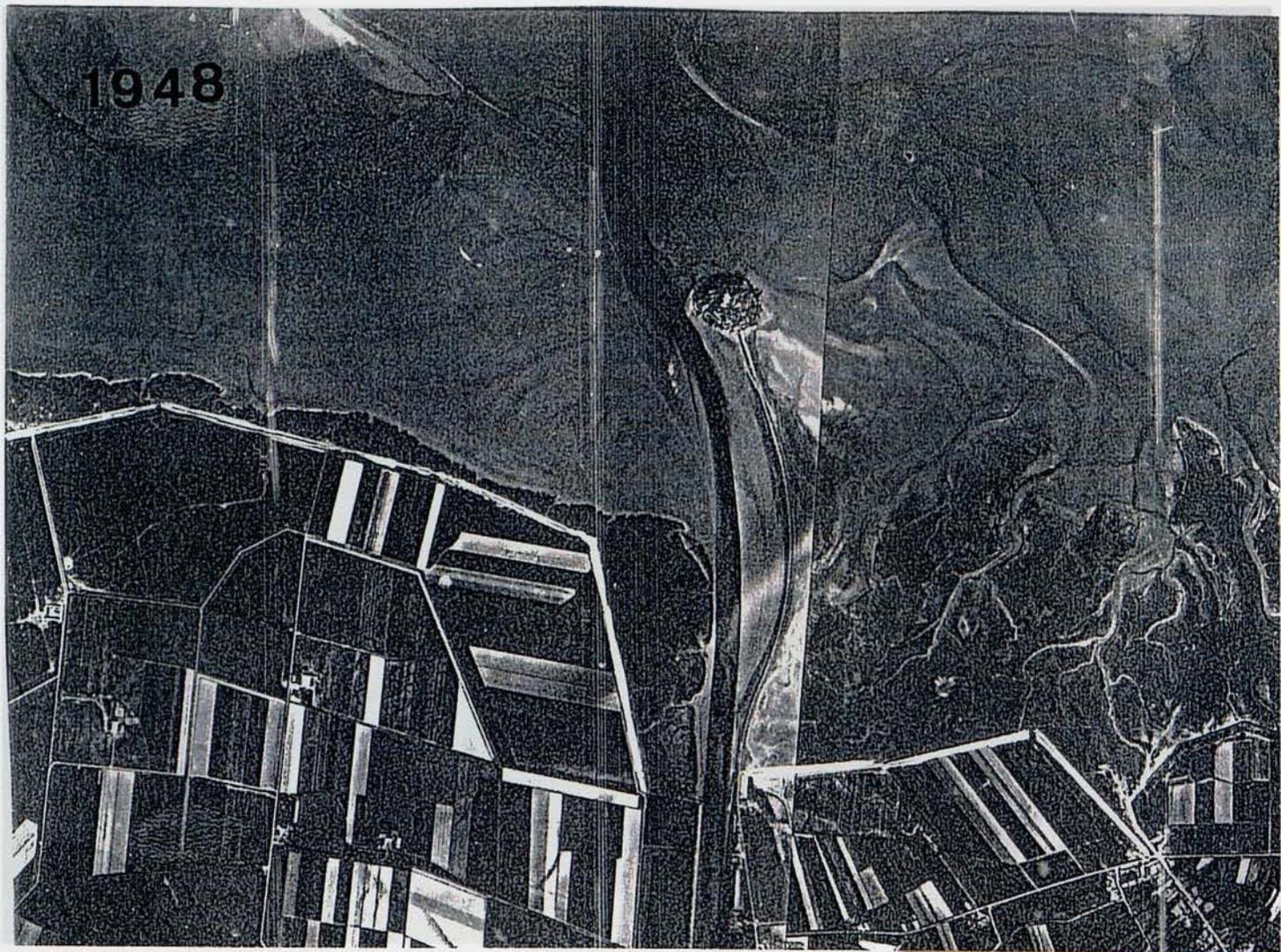


A Le Couesnon en aval du barrage



B Le Couesnon en amont du Barrage

1948



3.10.1980

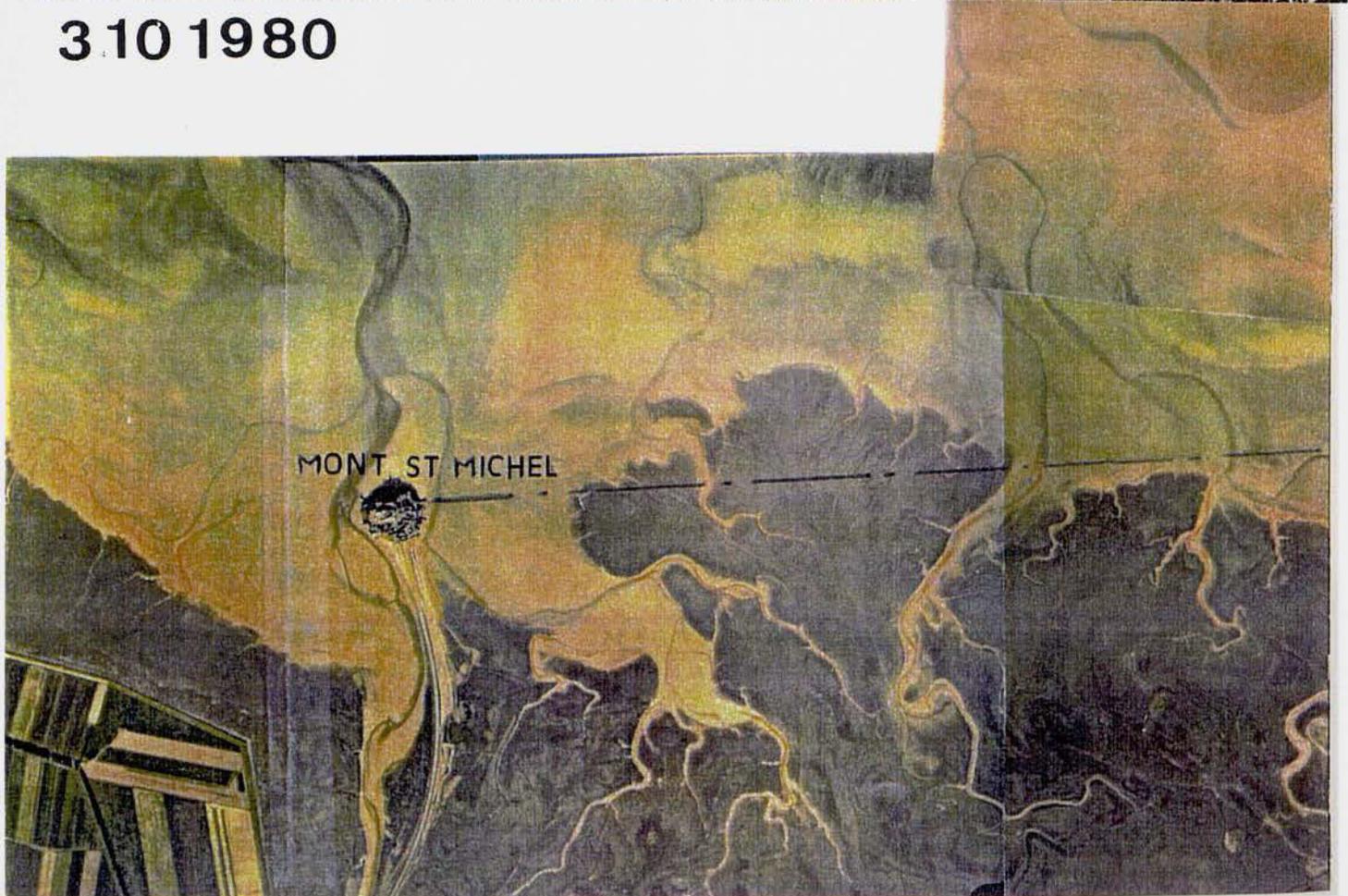


FIGURE 33 :
ORIENTATIONS DU COUESNON EN AVAL DU BARRAGE AVANT ET APRÈS
CONSTRUCTION DU BARRAGE

En dehors des herbues qui s'établissent, dans ce secteur, à des cotes variant entre +5,5 m et +6,5 m I.G.N., les fonds dans cette zone Ouest sont voisins de +4 m à +4,5 m en 1985.

L'évolution de ces deux zones Est et Ouest, situées à proximité du Mont et encore relativement bien drainées par les courants, montre une lente réduction de la superficie moyenne avec des fluctuations dans le temps suivant les actions des filandres ou rivières, mais une résultante qui reste assez pessimiste pour la pérennité de l'environnement maritime des abords du Mont Saint Michel.

II.6. L'ÉVOLUTION DU COUESNON APRÈS CONSTRUCTION DU BARRAGE DE LA CASERNE

Jusqu'en 1969, date de construction du barrage de la Caserne, le Couesnon était soumis aux marées avec des volumes d'eau oscillant lui permettant d'avoir – associés aux débits de la rivière – une certaine puissance hydraulique et de garder un chenal relativement rectiligne entre les digues submersibles à +4 m environ qui le canalisait.

Dès 1969, la réduction de la puissance hydraulique du Couesnon, le flot ne pouvant remonter en amont du barrage de la Caserne, allait entraîner un exhaussement du chenal entre le Mont et le barrage et une méandrisation de son cours [Figure 32].

Les digues en enrochements (+4 m) étant à des cotes voisines de celles des fonds ne peuvent plus guider le Couesnon. Au large, la poussée sédimentaire venant de l'Ouest ne pouvant être érodée ou maintenue par les débits du Couesnon, le chenal se trouve dévié vers l'Est immédiatement au large du Mont, avec des divagations importantes [Figure 33], alors qu'avant construction du barrage il s'orientait d'une façon préférentielle vers le Nord – Nord-Est.

Dans le lit du chenal proprement dit, des exhaussements importants des fonds ont été constatés dès la construction du barrage (1,5 à 2 m) et, en Octobre 1992, les cotes atteignaient +4,50 m I.G.N. dans le lit du Couesnon sur plus de 600 m de longueur en aval du barrage et +3 m I.G.N. sur 1,5 km [13.c.].

Les fortes crues de Décembre 1992 ont permis d'éroder ces dépôts avec un abaissement de 2 m du niveau sur une largeur de 25 m environ, mais ont nécessité, au préalable, des dégagements par extraction de tange au niveau du barrage pour éviter des risques d'inondation des terrains situés en amont de la Caserne [Figure 34].

Le même phénomène s'était produit en 1989 et s'est renouvelé en 1994... montrant l'importance du colmatage du Couesnon entre le barrage et le Mont dès que le débit de la rivière diminue, et les possibilités d'approfondir le chenal aval du Couesnon en crue avec une érosion atteignant près de 50.000 m³ en quelques jours pour une forte crue.

Il faut également souligner les dépôts qui se produisent en étiage en amont du barrage, sur une longueur de 300 m, par suite d'une étanchéité défectueuse des portes à flot.

II.7. L'ARASEMENT DE LA DIGUE DE LA ROCHE TORIN EN 1983-1984

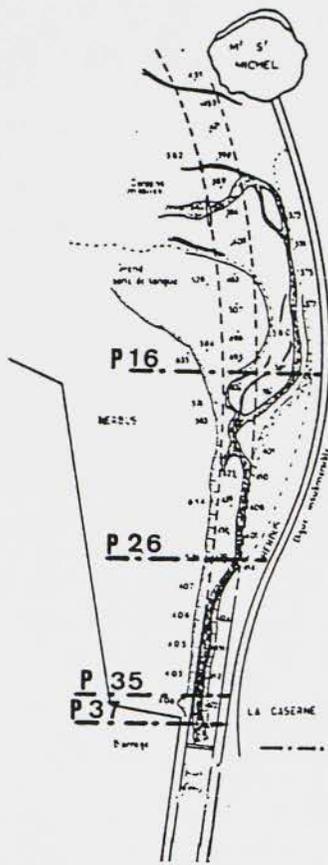
La suppression partielle de la digue de la Roche Torin a été entreprise en 1983-1984 en laissant une longueur de 500 m à son enracinement et en mettant les matériaux enlevés le long du littoral pour éviter une érosion des terrains agraires. L'enlèvement de cette digue, sur toute son épaisseur, n'a pu être totale, une partie des matériaux la constituant s'étant enfoncée dans la tange rendant l'opération délicate [37.d.h – 40].

Les levés successifs effectués par la Subdivision Maritime de Granville (D.D.E.) font apparaître une érosion des herbues par sapement latéral sur une superficie de 500.000 m² environ avec un recul progressif vers le Sud de la ligne délimitant les herbues sur une profondeur atteignant 300 m en 1995 et se propageant jusqu'à 2 km environ vers l'Ouest de la pointe de Roche Torin [Figure 35].

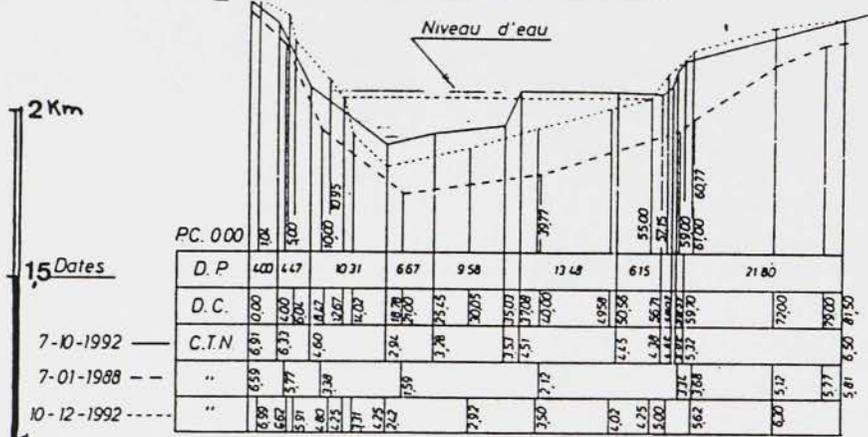
FIGURE N°34 : ÉVOLUTION DES FONDS DU COUESNON

Profil en travers n° 16 B

Rive droite

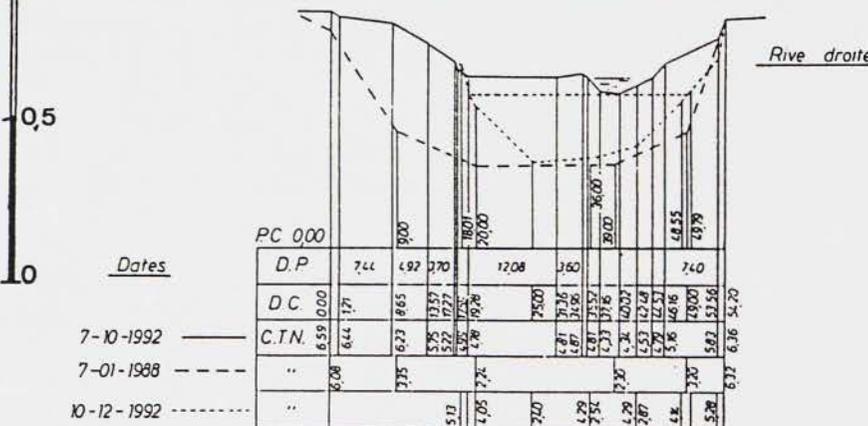


CHENAL ET COURS DU COUESNON
LE 2 ET 3 NOVEMBRE 1971



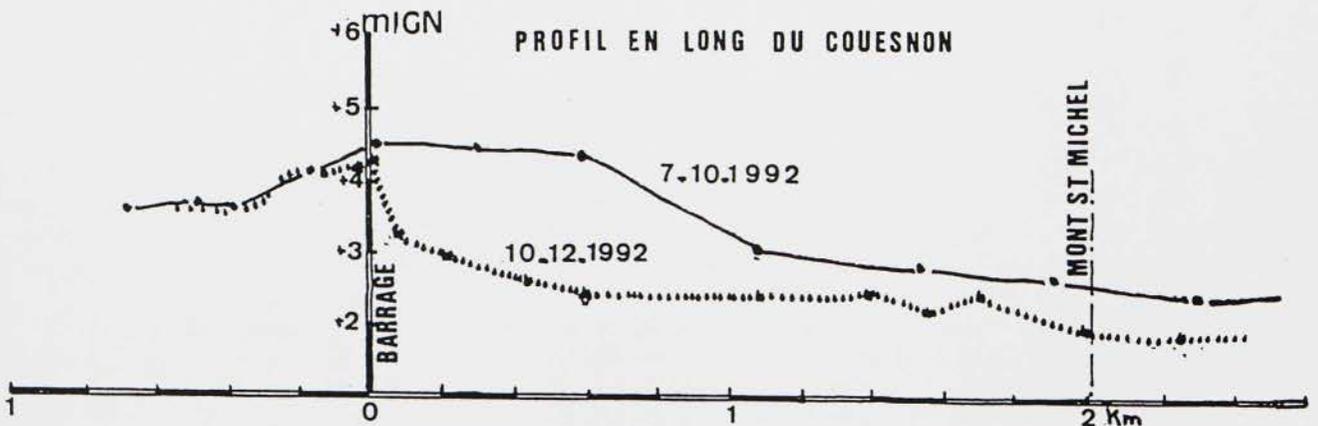
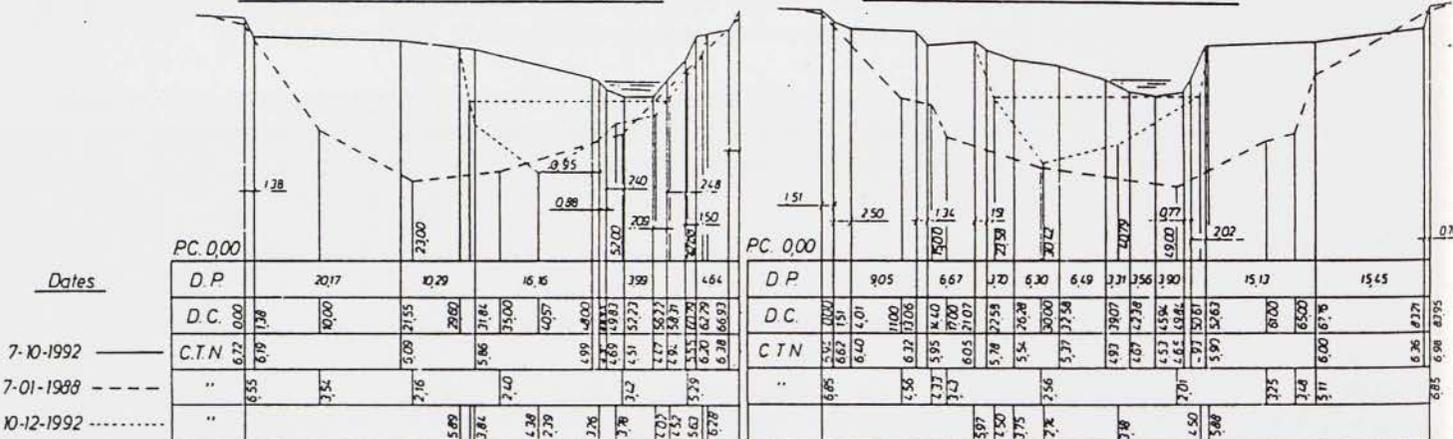
Profil en travers n° 26 B

Rive droite



Profil en travers n° 35 B

Profil en travers n° 37



Une érosion globale de 1 million de m³ en 10 ans semble possible, les matériaux étant entraînés vers l'aval, mais l'éloignement du Mont de ce secteur de la petite baie n'a pas, dans l'état actuel, d'influence appréciable sur l'environnement du caractère maritime aux abords immédiats du Mont Saint Michel.

II.8. LES RUISSEAUX GUINTRE, LANDAIS ET RIVE

Ces ruisseaux, dont les bassins versants sont très limités (13 km² pour le Landais, 54 km² pour la Guintre) par rapport aux bassins versants de la Sée (450 km²), de la Sélune (900 km²) et du Couesnon (1.025 km²), se déversaient jadis dans la partie Est de la petite baie.

Entre 1879 et 1884, le cours inférieur de ces ruisseaux a été dévié puis canalisé. La Guintre rejoint maintenant la Sélune au niveau de Roche Torin par un canal et la Rive et le Landais se déversent dans le Couesnon par un canal débouchant au Nord de Beauvoir [20].

Dans l'état actuel, les terrains avoisinants ont été poldérisés et aucun apport valable ne peut se faire dans la petite baie entre la Caserne et Roche Torin ; tous les débits étant drainés vers les canaux de récupération [Figure 36].

Les cours inférieurs de ces ruisseaux fonctionnent maintenant en « contre pente » et sont pratiquement colmatés.

II.9. CONCLUSION SUR L'ÉVOLUTION RÉCENTE DES FONDS AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL ET DANS LA PETITE BAIE

L'examen détaillé de tous les documents topographiques disponibles, les observations régulières faites sur le site depuis 1970, les photographies aériennes de l'I.G.N., conduisent aux mêmes conclusions. La petite baie du Mont Saint Michel et les abords du Mont continuent de se colmater bien que les interventions humaines pour la poldérisation de ce site soient interrompues depuis un demi-siècle.

Les évolutions ne sont pas rigoureusement progressives et linéaires dans le temps et des fluctuations peuvent apparaître en fonction notamment des crues des rivières et de leurs divagations, principaux facteurs susceptibles de s'opposer temporairement à l'extension des herbues.

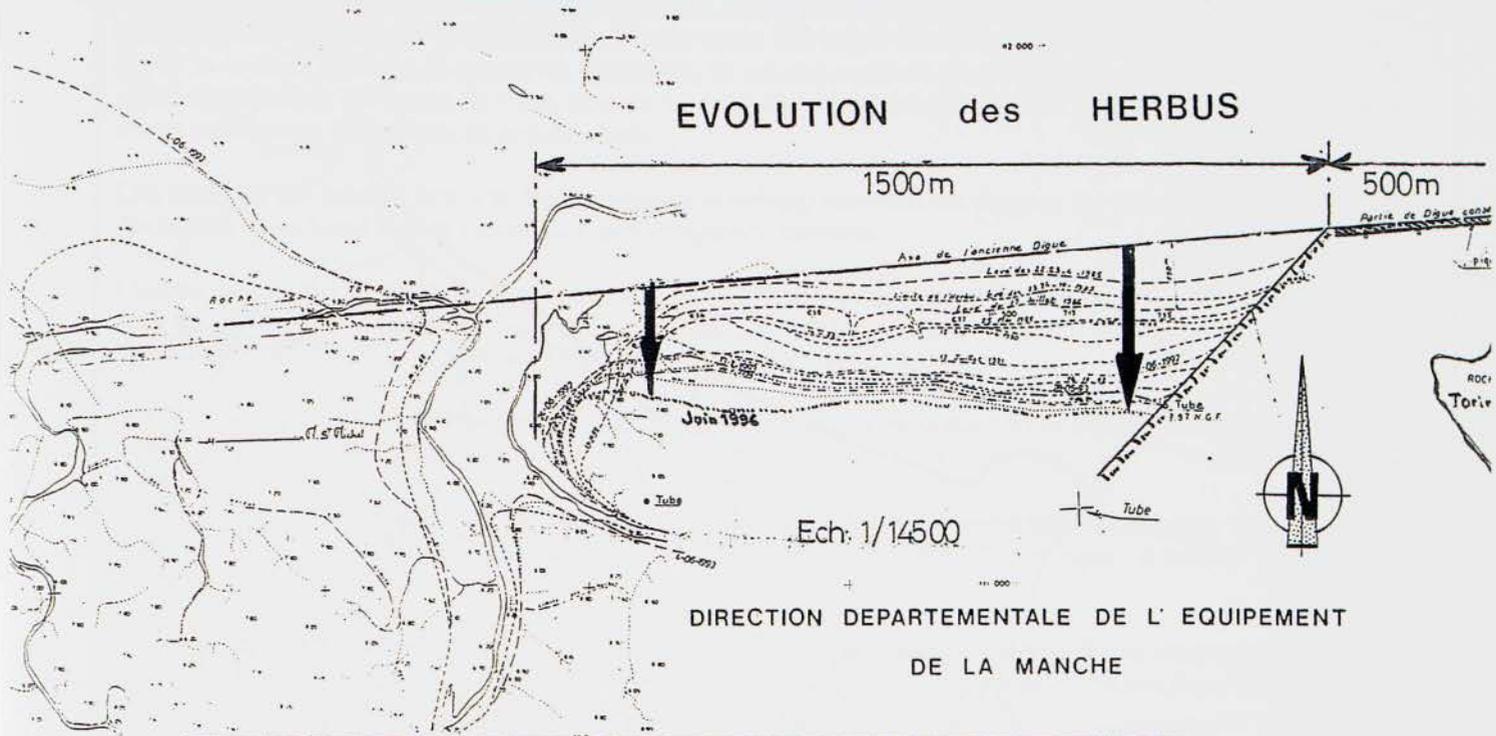
Au cours des 40 dernières années (1958 à 1997), les dépôts dans la petite baie du Mont Saint Michel ont atteint 27 millions de m³ sur une superficie de 43 km², soit environ 700.000 m³ par an. En prenant en compte la totalité de la petite baie délimitée par un arc de cercle passant à 3 km au large de Tombelaine, et en incluant l'embouchure de la Sée et de la Sélune, on arriverait à une valeur plus importante s'approchant de 1 million de m³ par an (1,1.10⁶ m³/an).

Ces dépôts ne sont pas constants dans le temps et auraient subi une décroissance passant vraisemblablement de 1,3 millions de m³ par an avant 1958 à 800.000 m³ par an au cours des dernières années pour la totalité de la petite baie.

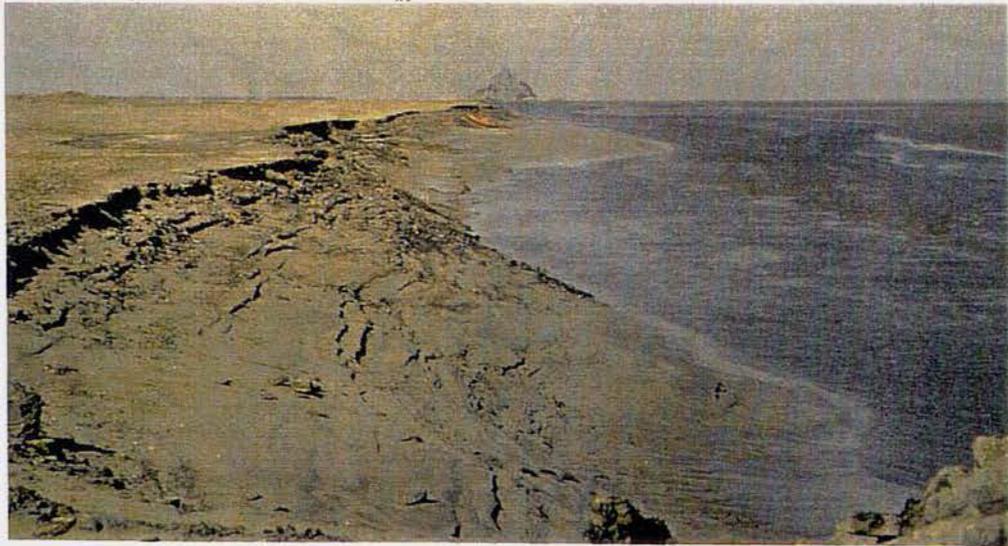
Ces dépôts se sont effectués principalement au fond de la baie, sur les bancs Ouest et Est, où 600.000 m³/an se sont sédimentés entre 1958 et 1997 (60 % de la totalité des dépôts de la petite baie).

Au fur et à mesure que la petite baie se sédimente, sa capacité d'emménagement des eaux marines diminue – ainsi que les volumes d'eau oscillants qui pénètrent et sortent chaque année de la baie qui sont passés de 75 milliards de m³ par an en 1958 à 65 milliards de m³ par an en 1997. La décroissance des capacités de la petite baie atteint pour le niveau +7 m I.G.N., 19 % en 40 ans, soit 0,5 % par an en moyenne.

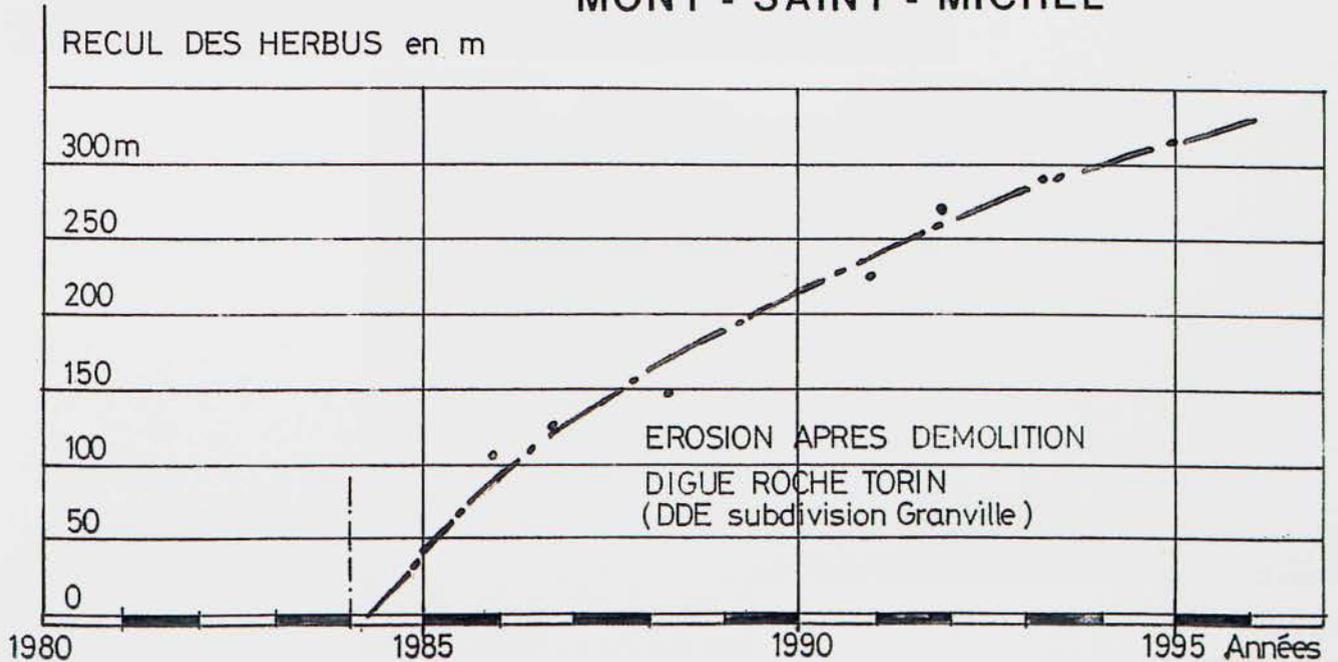
FIGURE N°35 : INFLUENCE DE LA SUPPRESSION PARTIELLE DE LA DIGUE DE ROCHE TORIN SUR L'ÉVOLUTION DES HERBUS À L'EST DU GRAND BANC



Mt StMICHEL 29.04.84

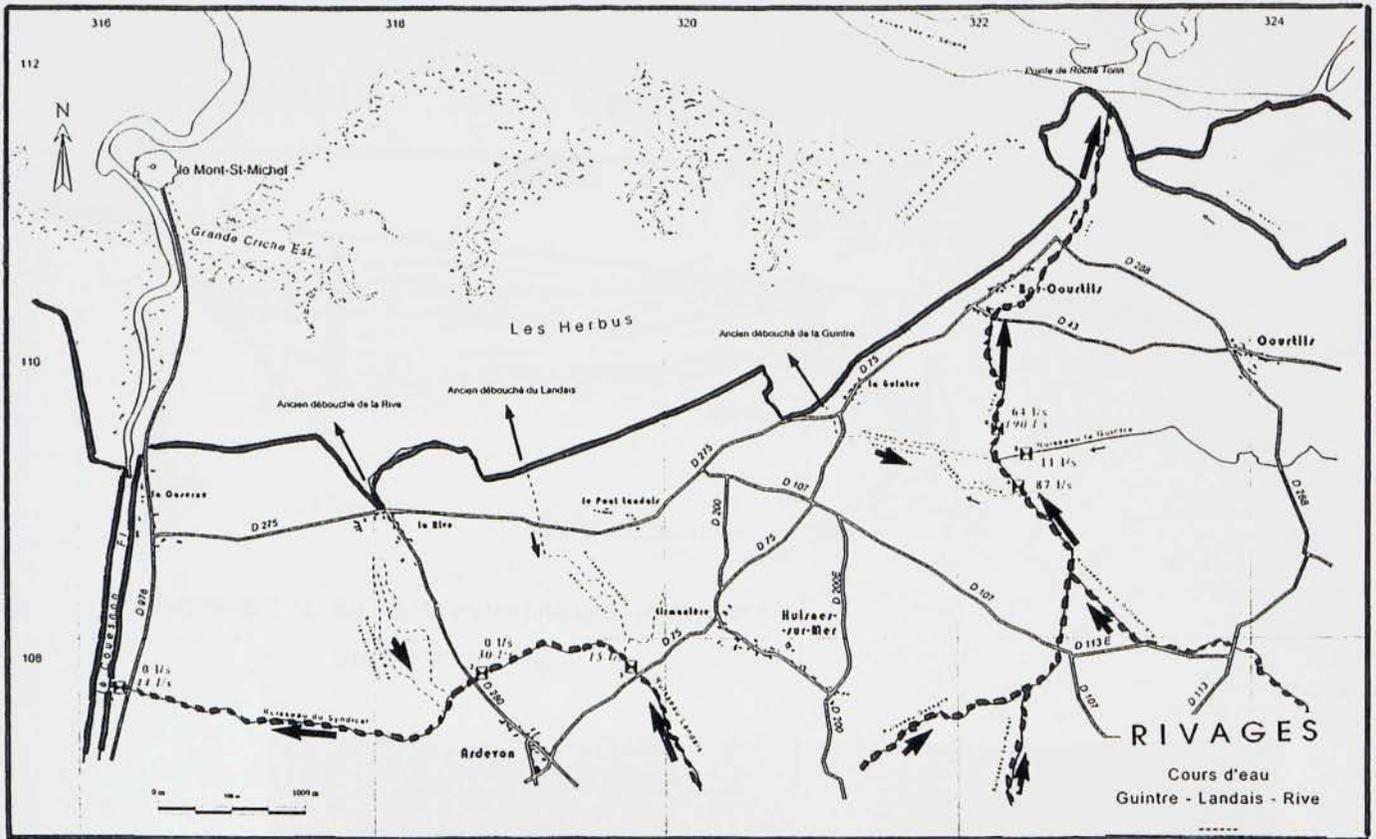


MONT - SAINT - MICHEL



**FIGURE N°36 : ÉTAT ACTUEL DES RUISSEAUX À L'EST DU MONT
ET DE LEURS DÉBOUCHÉS DANS LA SÈLUNE ET LE COUESNON**

Les ruisseaux Guintre et landais ont été détournés en 1884 et 1881 pour favoriser les grèves entre la côte et la digue de la Roche-Torin.



LE RUISSEAU D'ARDEVON DEVIE VERS LE COUESNON

Aux abords du Mont, délimités par un cercle de 1 ou 2 km de rayon, on retrouve entre 1958 et 1997 cette réduction des capacités d'emmagasinement des eaux marines – consécutives aux dépôts sédimentaires – de 20 % environ (soit 0,5 % par an en moyenne), le volume oscillant annuel n'étant plus en 1997, et pour la zone délimitée par un cercle de 1 km, que de 1,8 milliards de m³ d'eaux marines, soit 3 % environ du volume d'eau oscillant de l'ensemble de la petite baie.

Ces chiffres, qui doivent être pris avec certaines réserves, montrent les risques de voir progressivement les abords du Mont Saint Michel perdre leur environnement maritime.

L'évolution des herbues, qui colonisent les grèves, confirme ces risques avec une extension de leurs superficies de 23 hectares par an en moyenne entre 1947 et 1996, avec une réduction dans le temps, les extensions au cours des 16 dernières années passant à 14,5 hectares par an.

Sur le banc de l'Ouest, l'avancée des herbues vers le large aurait dépassé 300 m entre 1980 et 1996 et aurait atteint plus de 1 kilomètre entre 1947 et 1996.

Dans l'état actuel, le Mont Saint Michel se situe en retrait de 750 m entre les alignements des bancs de l'Ouest et de l'Est et l'extension vers l'Ouest du banc de l'Ouest est une menace, à moyen terme, pour l'environnement du Mont.

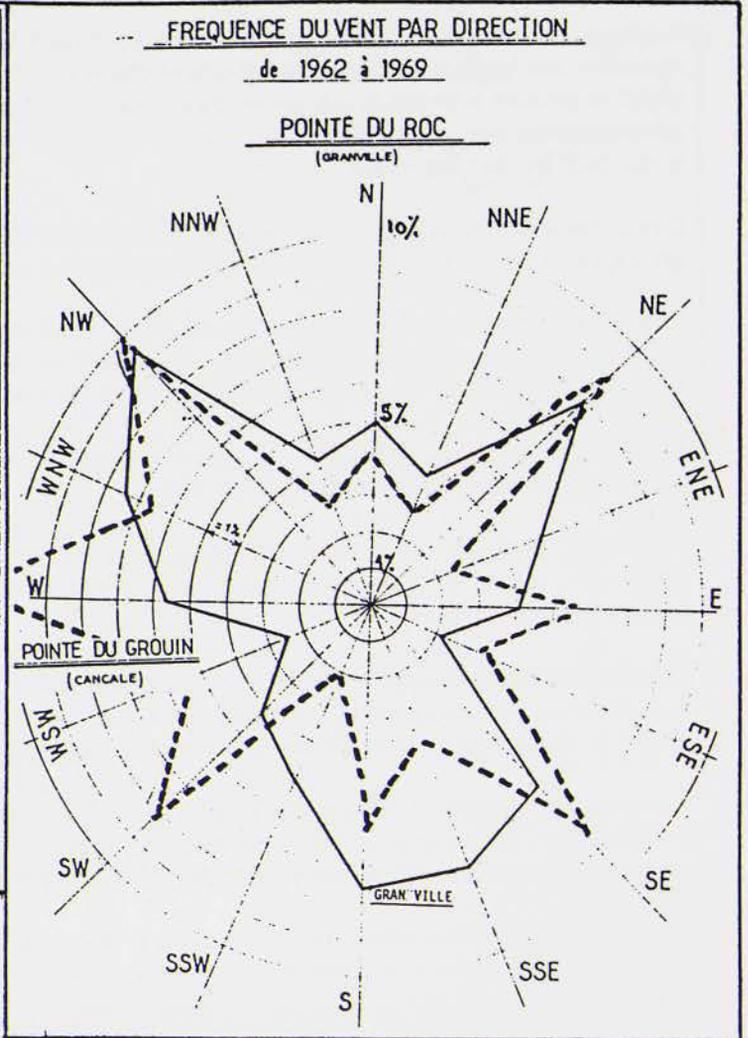
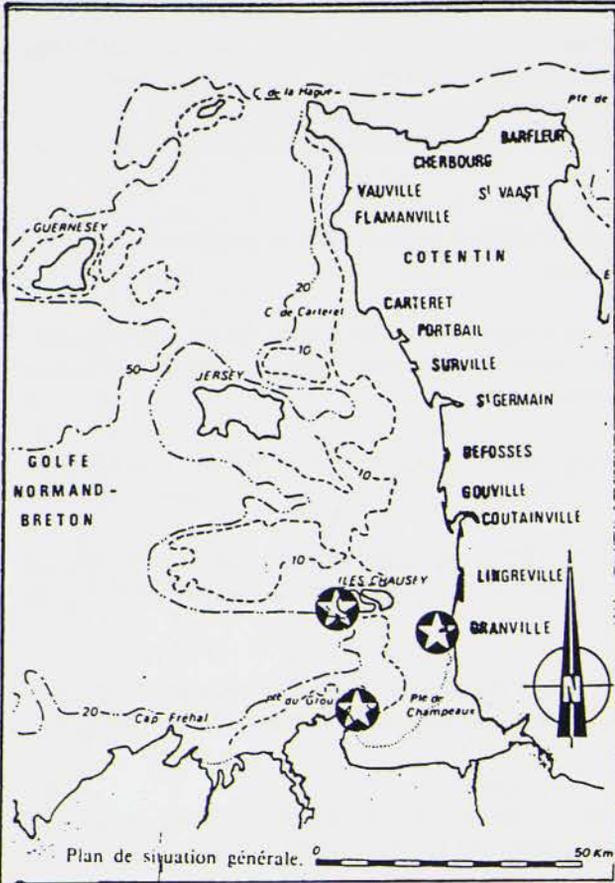
La même menace se retrouve dans la réduction de la criche Est et de l'embouchure de l'estuaire du Couesnon à l'Ouest, qui accuse une continuité dans le temps que la perte de puissance hydraulique du Couesnon depuis la réalisation du barrage en 1969 n'a pu qu'accentuer.

Ces évolutions récentes de la petite baie du Mont Saint Michel et des abords immédiats du Mont, confirment les prévisions qui avaient pu être faites antérieurement en se basant sur les évolutions anciennes de la baie et sur des études de 1977 à l'aide d'un modèle réduit sédimentologique.

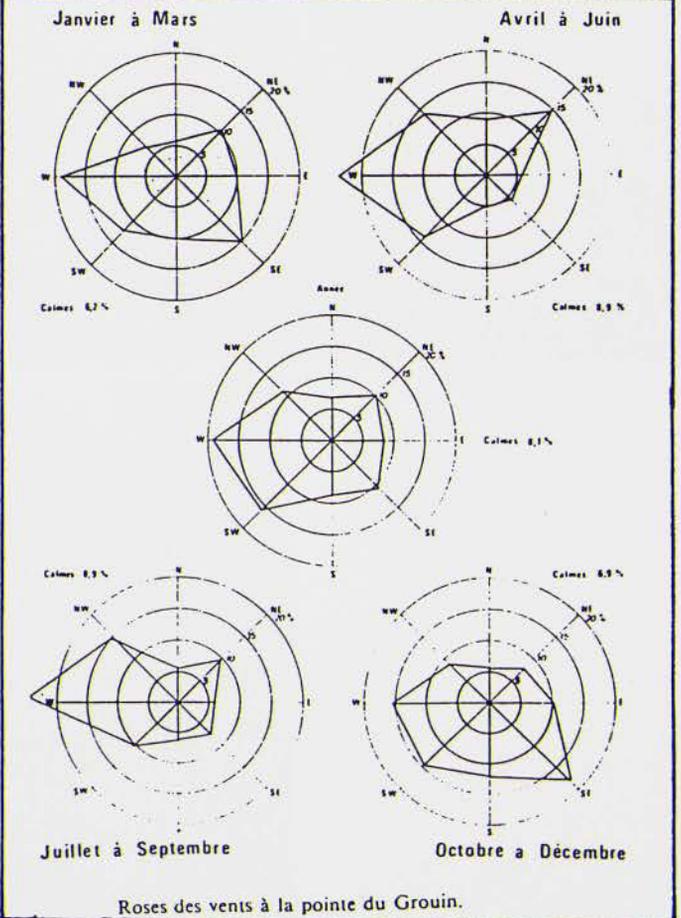
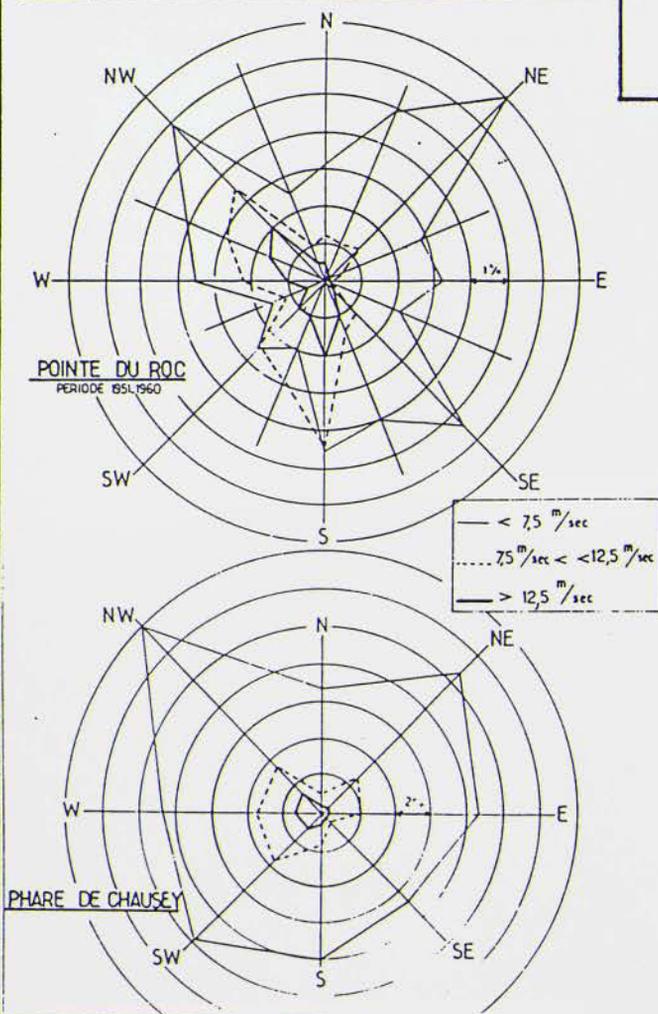
Si les taux de sédimentation diminuent dans le temps (0,5 % par an en moyenne), ils n'en demeurent pas moins réels, réduisant progressivement l'environnement maritime des abords du Mont Saint Michel.



FIGURE N°37 : RÉPARTITION DES VENTS À L'ENTRÉE DE LA GRANDE BAIE



FREQUENCE DES VENTS DE DIFFERENTES VITESSES



CHAPITRE III - LES FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES, OCÉANOGRAPHIQUES ET HYDROLOGIQUES, MARÉES, COURANTS, HOULES, CLAPOTS, DÉBITS DES RIVIÈRES

L'évolution de la baie du Mont Saint Michel est la résultante des grands mouvements sédimentaires sous les actions hydrodynamiques engendrées par les facteurs océanographiques, météorologiques et hydrologiques.

Marées, courants de marées, surélévations exceptionnelles du niveau des eaux, houles et clapots formés par les vents, débits des rivières tributaires de la pluviosité... vont s'associer pour provoquer des érosions, transports et dépôts des sédiments variables dans l'espace et le temps, avec une résultante qui conditionnera, avec certains facteurs biologiques et sédimentaires, l'influence des phénomènes naturels agissant sur l'évolution des fonds.

III.1. FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES

III.1.1. Les vents

Les vents susceptibles d'agir sur la baie du Mont Saint Michel ont été relevés au large des îles de Chausey et de part et d'autre de l'entrée de la grande baie aux sémaphores de la pointe du Roc à Granville et de la pointe du Grouin de Cancale.

La répartition des vents dans ces différents secteurs est donnée sur la *figure 37* extraite des données du L.C.H.F. [24.b. – 25.a.], ainsi que de l'étude globale concernant la défense contre la mer du Département de la Manche [31.a.].

À Granville, les vents les plus fréquents proviennent, toutes intensités confondues, du secteur Nord-Ouest et Sud – Sud-Est. Les vents ayant une vitesse supérieure à 7,5 m/s (27 km/h) sont limités principalement aux secteurs Nord-Ouest à Ouest (13,5 %) et Sud à Sud-Ouest (14 %), ils soufflent de manière préférentielle durant les mois de Novembre, Décembre et Janvier.

Dans ces mêmes secteurs, les vents supérieurs à 12,5 m/s (45 km/h) atteindraient respectivement 4,5 % et 6,5 % du temps. Les vents faibles, inférieurs à 7,5 m/s – toutes directions confondues – représentent 60 % du temps.

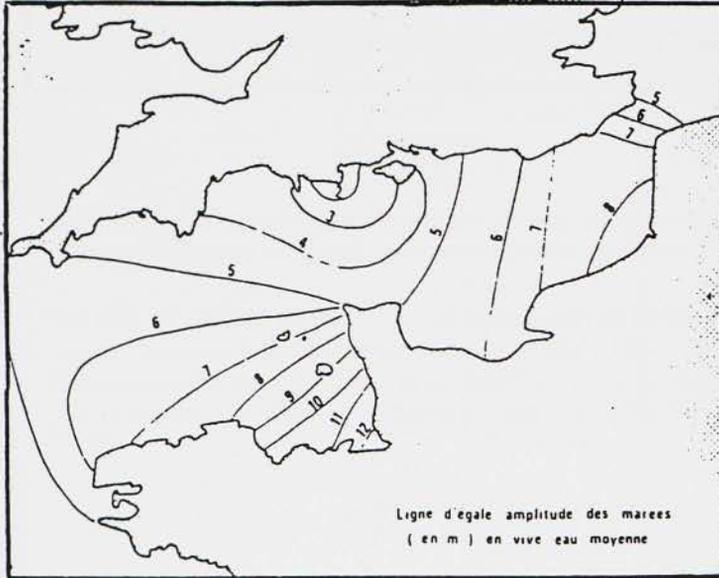
Les fréquences sont données dans le tableau ci-après pour la période 1962 à 1969 et les vents supérieurs à 7,5 m/s.

FRÉQUENCE DES VENTS À GRANVILLE (POINTE DU ROC) (VITESSE SUPÉRIEURE À 7,5 m/s)					
Nord-Ouest	Ouest – Nord-Ouest	Ouest	Sud	Sud – Sud-Ouest	Sud-Ouest
5,5 %	4,5 %	3,5 %	6,5 %	4 %	3,5 %

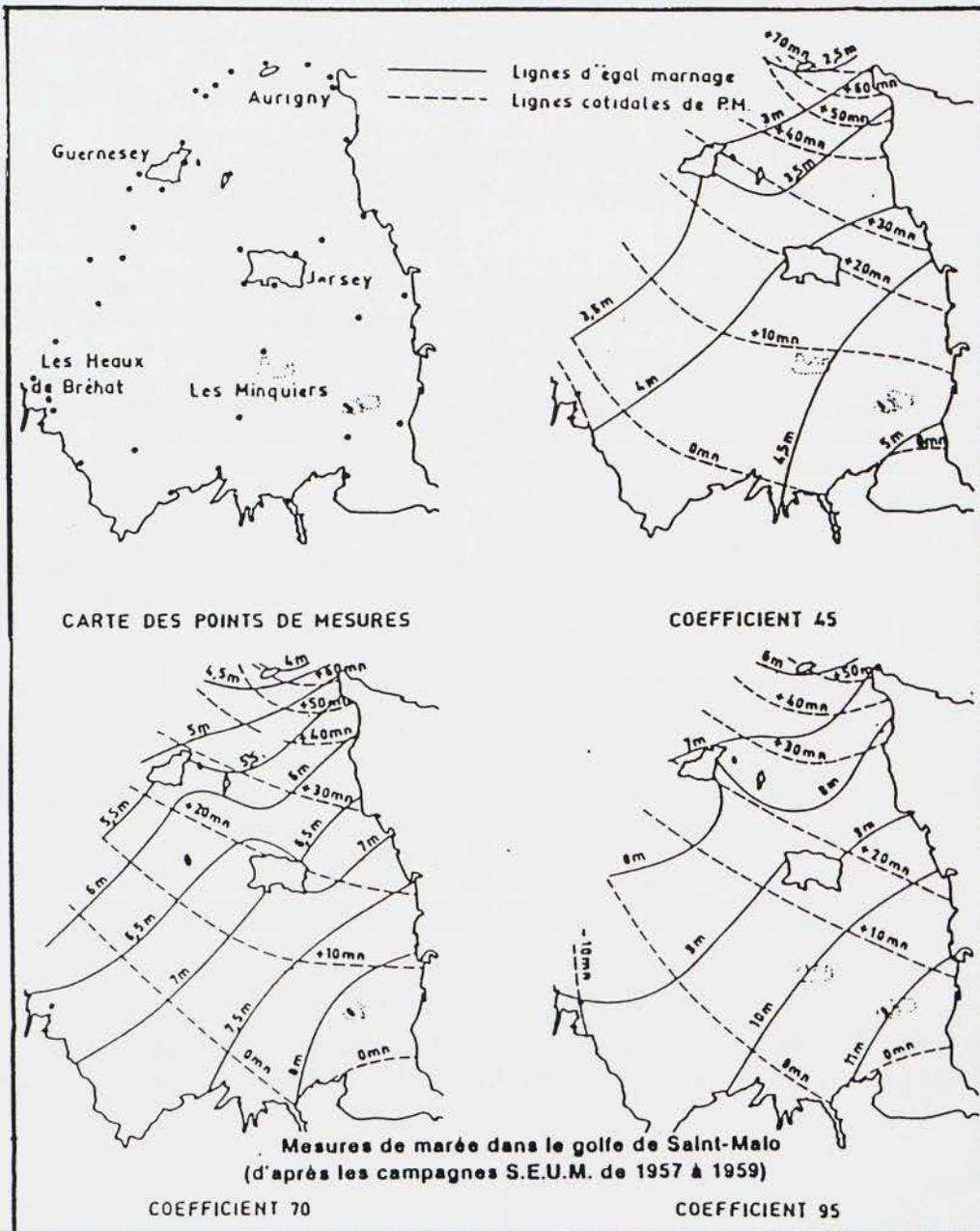
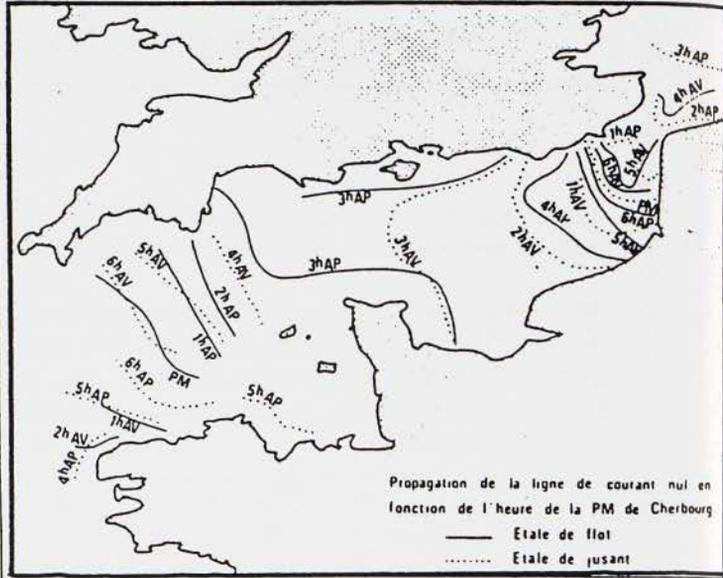
À la pointe du Grouin de Cancale, les vents les plus fréquents soufflent de l'Ouest (W) pendant 22 à 23 % du temps, le secteur Ouest à Nord-Ouest représente à lui seul 37 % du temps et celui de Sud à Sud-Ouest 17 %.

FIGURE N°38 : LA MARÉE DANS LE GOLFE NORMAND-BRETON

B



A



À cet emplacement, la période entièrement calme, sans vent, atteint en moyenne 8 % du temps. Les vents de Nord-Ouest soufflent pendant toute l'année pendant 25 % du temps, sauf en automne (Octobre à Décembre) où la fréquence tombe à 15 % alors que les vents de Sud-Est deviennent prépondérants avec 17 % du temps. Les vents de Nord-Est soufflent principalement en hiver et au printemps avec respectivement des fréquences de 10 à 15 % du temps alors qu'en automne ils ne dépassent pas 7,5 %.

Ces vents agissant sur la baie du Mont Saint Michel pourront soulever des clapots appréciables lorsque leurs vitesses dépassent 12,5 m/s, modifier les courants (les vents peuvent engendrer des courants atteignant en vitesse 2 à 3 % de celle du vent), agir sur le niveau de la marée avec des surcotes ou décotes appréciables suivant les directions et vitesses, enfin provoquer des transports éoliens dans le secteur où le sable a pu atteindre un taux d'humidité assez faible et où la couverture végétale est négligeable.

III.1.2. La pluviosité

Le climat est de type océanique avec une pluviométrie variant entre 800 et 900 mm/an dans les zones basses côtières et pouvant atteindre 900 à 1.000 mm/an sur les reliefs.

Pour les bassins versants alimentant les rivières qui se déversent dans la baie du Mont Saint Michel, la pluviosité moyenne mesurée sur une période de 20 ans (1951 à 1970) serait de 855 mm/an dont 56,4 % se répartissant entre Octobre et Mars et 43,6 % d'Avril à Septembre.

Pour les trois mois de Novembre – Décembre et Janvier, les précipitations atteindraient 32 % du total annuel.

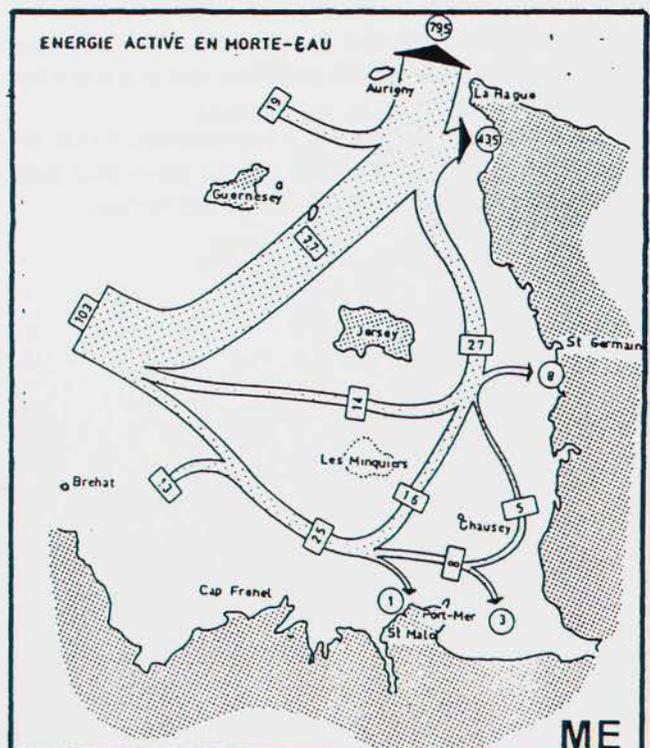
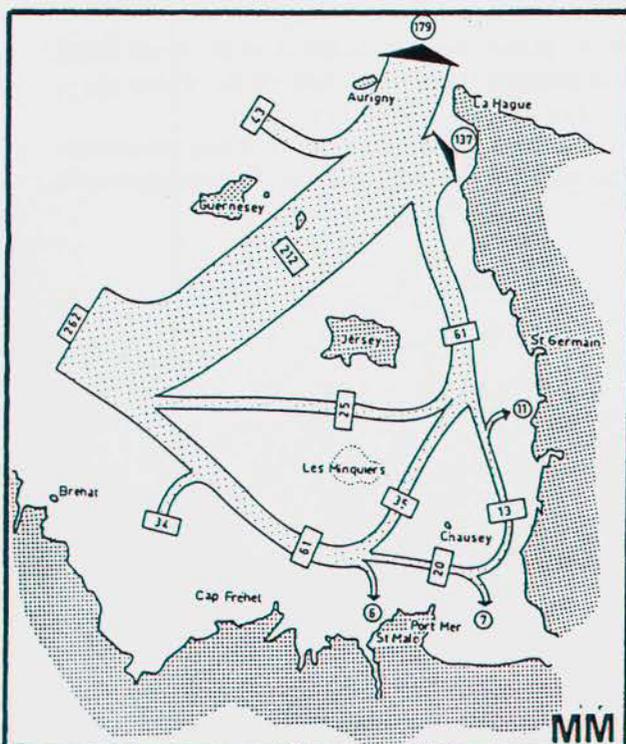
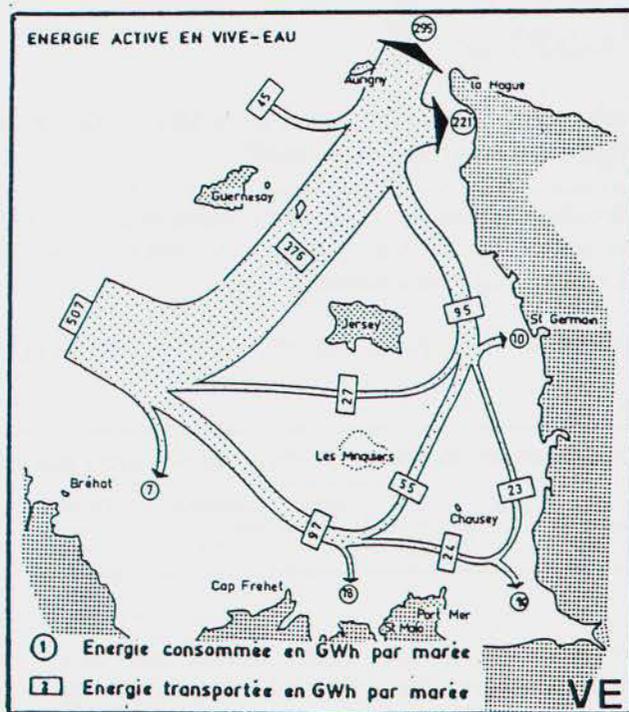
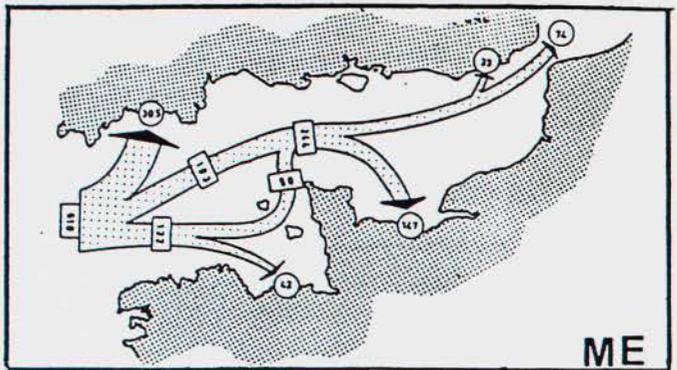
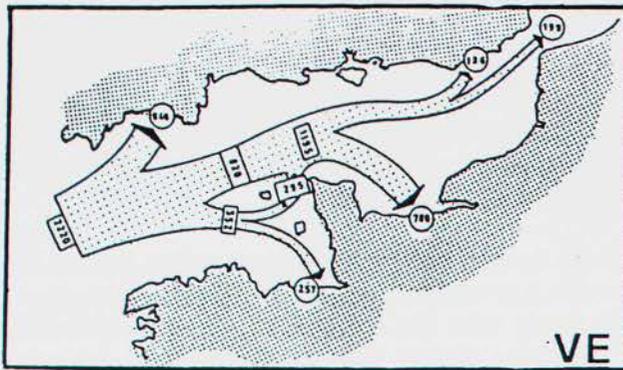
RÉGIME DES PRÉCIPITATIONS (% DE LA PRÉCIPITATION ANNUELLE)											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
9,8	7,7	6,9	6,3	6,9	7,4	6,2	8,1	8,6	9,9	10,7	11,6

Ces valeurs de pluviosité moyenne peuvent subir des écarts suivant que l'on se situe au cours d'années « pluvieuses » ou « sèches » ; les moyennes des précipitations peuvent varier entre 120 % et 80 % (1.025 mm par an à 685 mm par an).

Répartie sur l'ensemble des bassins versants des rivières qui se jettent dans la petite baie du Mont Saint Michel, cette pluviosité pourra entraîner des apports d'eau douce atteignant près de 1 milliard de m³ par an.

Sur la simple zone des polders – représentant 5.000 hectares – près de 40 millions de m³ d'eau douce seraient accumulés dont une partie (30 %) devra être évacuée ou s'écouler vers la baie par l'intermédiaire de petites filandres qui sillonnent à travers les herbus.

FIGURE N° 39 : RÉPARTITION DU BILAN ÉNERGÉTIQUE PÉNÉTRANT DANS LA MANCHE
ET LE GOLFE NORMAND-BRETON



Energie de la marée dans le golfe de Saint-Malo

III.2. FACTEURS OCÉANOGRAPHIQUES

III.2.1. Les marées

III.2.1.1. LA MARÉE DANS LE GOLFE NORMAND-BRETON

À l'intérieur du golfe normand-breton, la marée, du type semi-diurne de période 12 h 24 mn, qui s'est tout d'abord enflée sur les fonds du plateau continental en pénétrant dans la Manche, se heurte contre la presqu'île du Cotentin formant une onde stationnaire entraînant une quasi-simultanéité des pleines mers de Bréhat à Granville.

Sous l'effet de convergence dû à la configuration des côtes et à la surélévation des fonds, l'onde est renforcée augmentant considérablement l'amplitude de la marée entre le large et le fond du golfe [Figure 38].

En vive eau moyenne, l'amplitude de la marée passe de 7 m environ à l'entrée du golfe normand-breton – sur un alignement allant du cap de la Hague à l'extrémité Ouest de la Bretagne – à plus de 12 m aux abords de la grande baie du Mont Saint Michel entre Cancale et Granville [23.a. – 25.a.].

On retrouve cette augmentation de l'amplitude de la marée le long de la côte du Cotentin qui passe, entre le Nord et le Sud et en vive eau, de 5,30 m à Cherbourg à 10 m à Carteret et à près de 12 m à Granville. Dans tous les cas, le montant est plus court (5 h ^{1/2} à 6 h) que le perdant (6 h ^{1/2} à 7 h) et pour un même coefficient de marée, le marnage est plus faible en revif (marées à coefficients croissants) qu'en déchet (marées à coefficients décroissants), la différence pouvant atteindre 0,40 m.

On peut estimer à Granville que l'unité de hauteur (coefficient 100) est de 5,55 m pour la demi-amplitude, ce qui entraînerait une amplitude de 13,30 m pour une marée de vive eau exceptionnelle de coefficient 120. Le niveau moyen serait situé au voisinage du zéro du nivellement I.G.N. 69 (le zéro hydrographique ou zéro C.M. étant à 6,77 m sous le zéro I.G.N. à Granville).

En ce qui concerne la propagation de la marée, les lignes cotidales de pleine mer – c'est-à-dire les lignes joignant les points où la pleine mer est simultanée – montrent la dissymétrie du golfe entre le secteur Sud de Jersey caractérisé par une marée pratiquement en phase, et le secteur Nord où la pleine mer se propage du Sud-Ouest vers le Nord avec une célérité de 20 m/s environ.

Un calcul du bilan énergétique pénétrant dans la Manche et dans le golfe normand-breton, réalisé par R. BONNEFILLE [4], donne une idée du transit de l'énergie « active » en vive eau et en morte eau avec ses variations par frottement sur le fond de la mer dont l'interaction n'est pas à négliger pour la sédimentologie [Figure 39].

L'énergie active passe de 2.200 GigaWatt-heure (GW-h) – c'est-à-dire 2.200 milliards de watt-heure – à l'entrée de la Manche à 610 GW-h en morte eau (rapport 0,27) pour atteindre 507 GW-h à l'entrée du golfe normand-breton en vive eau et seulement 103 GW-h en morte eau. À l'entrée de la baie (entre Chausey et Cancale), ces valeurs atteignent respectivement 24 GW-h et 8 GW-h.

III.2.1.2. LA MARÉE DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

À l'intérieur de la baie du Mont Saint Michel, la hauteur des pleines mers va continuer de monter, mais les fonds se surélevant progressivement le niveau des basses mers se trouvera écrêté d'autant plus que l'on se rapproche du fond de la baie.

La propagation de la marée dans la baie a été étudiée par le L.C.H.F. en 1975 [25.b.] permettant d'apporter des précisions sur les variations des hauteurs des pleines mers en différents points de la baie, et de la Sée et Sélune, par rapport à la marée de Granville.

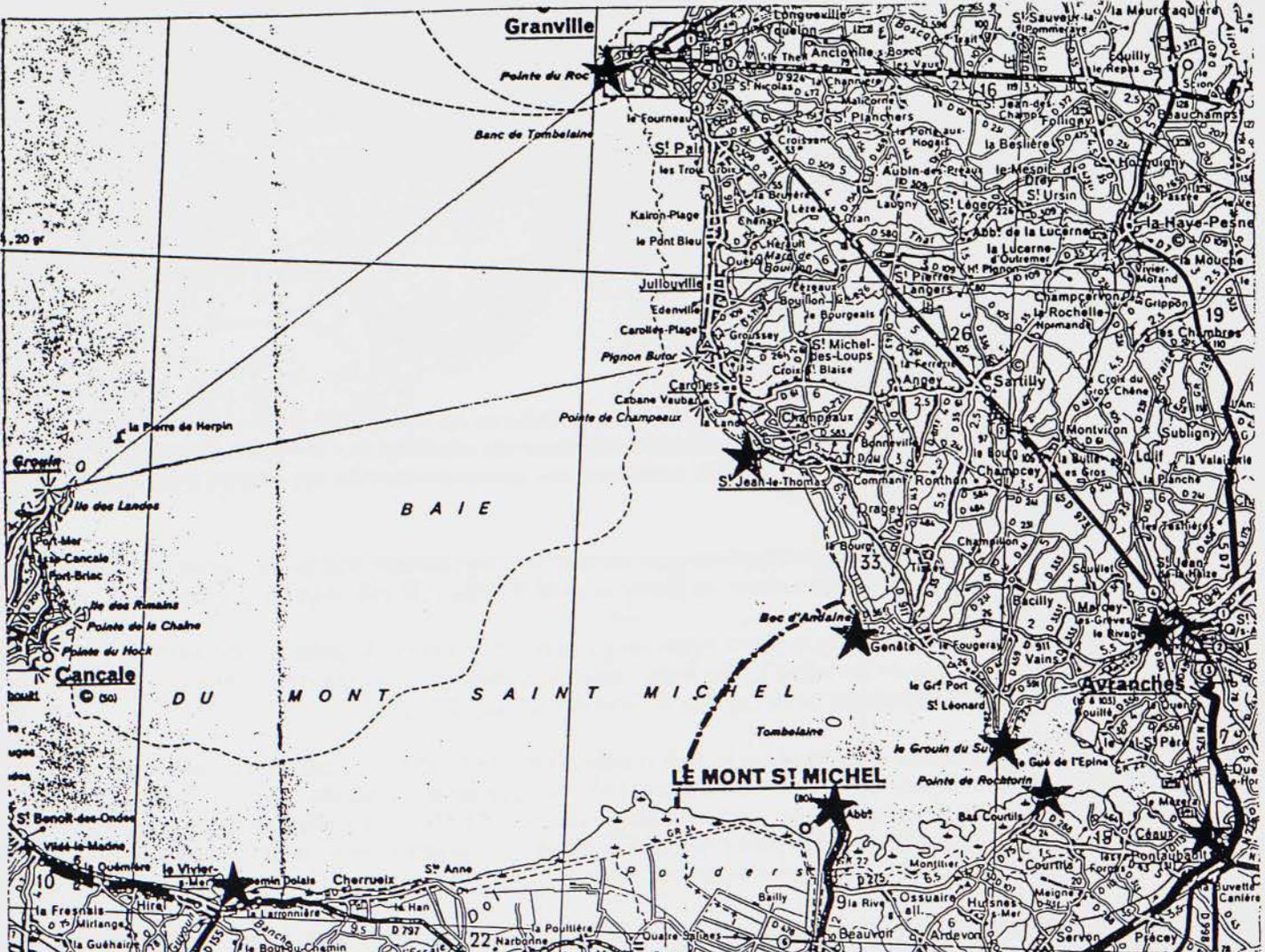
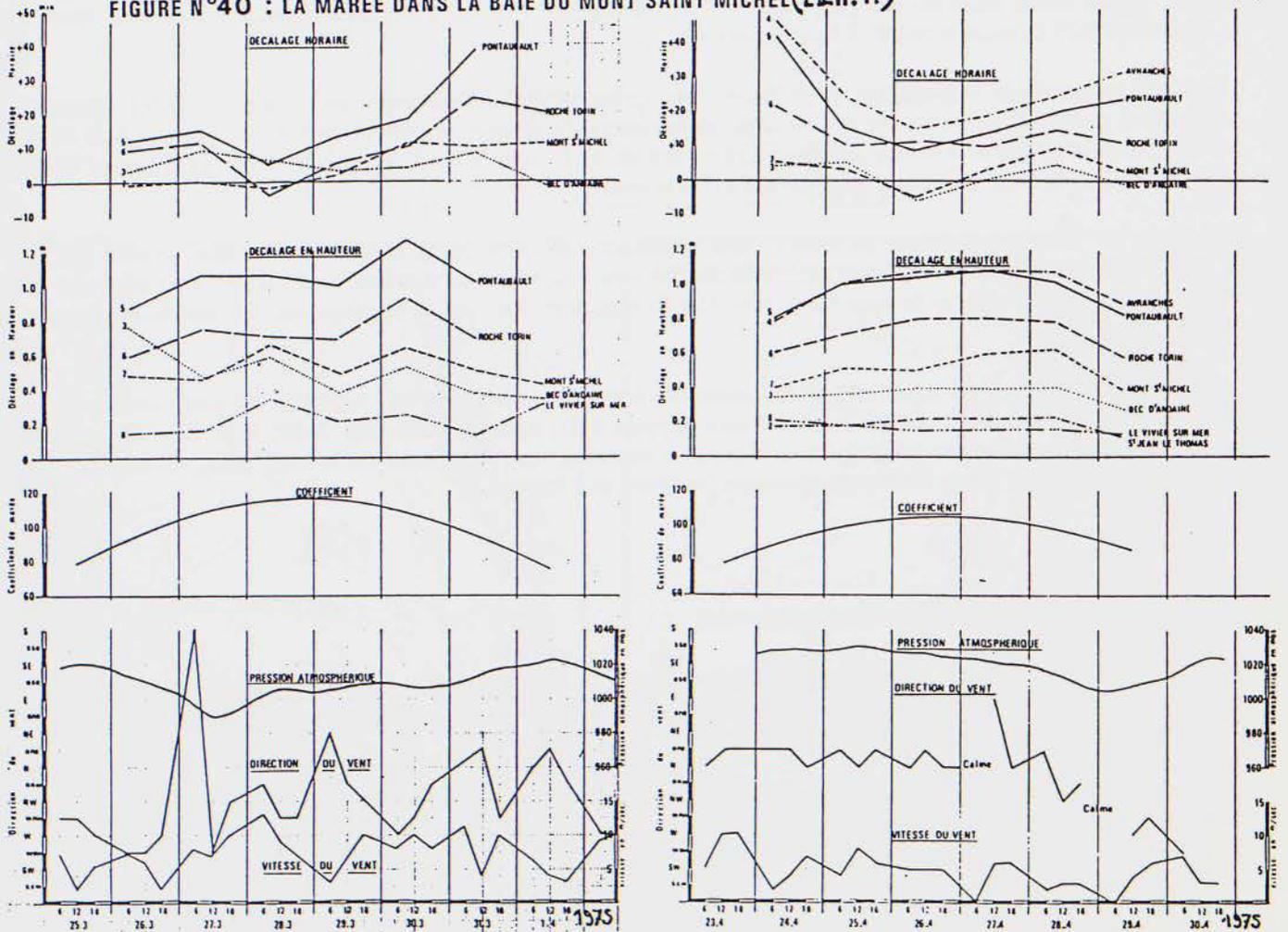


FIGURE N°40 : LA MARÉE DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL (L.C.H.F.)



Les marées ont été mesurées simultanément à Granville, Saint Jean le Thomas, bec d'Andaine, Avranches, Pontaubault, Roche Torin, Mont Saint Michel, Vivier sur Mer..., soit en 8 emplacements de la baie. Parallèlement, les pressions atmosphériques étaient relevées ainsi que les vents, les marées étant mesurées pour des coefficients compris entre 75 et 115.

En général, les pressions atmosphériques se situaient vers 1.020 mbars, les vents étant du Nord à Nord-Est avec des vitesses faibles de 5 m/s.

La figure 40 donne les résultats de ces mesures pour la période du 25/03/1975 au 30/04/1975 et le tableau ci-après le décalage moyen des hauteurs des pleines mers (en m) entre le large et le fond de la baie par rapport à Granville pris comme référence.

Lieux	Granville	Saint Jean le Thomas	Bec d'Andaine	Avranches	Pontaubault	Roche Torin	Mont Saint Michel	Vivier
Surélévation P.M. (moyenne en m)	0	+0,2	+0,4	+1,05	+1,0	+0,7	+0,55	+0,2
Maxi	0	+0,23	+0,76	+1,09	+1,26	+0,99	+0,66	+0,34
Mini	0	+0,11	+0,28	+0,78	+0,79	+0,53	+0,39	+0,13

Au Mont Saint Michel, la surélévation des pleines mers atteint, sans vent et sans dépression barométrique, 0,65 m pour un coefficient 120 ; 0,50 m pour un coefficient 90 et 0,40 m pour un coefficient 70. La figure 41 donne les variations des cotes de pleines mers en différents points de la baie et pour différents coefficients de la marée.

La mission Mont Saint Michel a complété ces premiers renseignements en effectuant une étude très complète des hauteurs des marées aux abords du Mont Saint Michel [44 – P. ROUX – Rapport sur les hauteurs de marées aux abords du Mont Saint Michel].

Cette étude est basée, d'une part, sur les mesures récentes faites en continu au pied du Mont Saint Michel, à la Chapelle Saint-Aubert au cours de l'année 1997 (319 mesures de marées), d'autre part, sur l'exploitation de la totalité des mesures existantes entre 1884 et 1937 (368 mesures).

D'après ces mesures et sous la seule action de la marée, les cotes de pleines mers auraient été les suivantes au pied du Mont Saint Michel (cotes en I.G.N. 1969) :

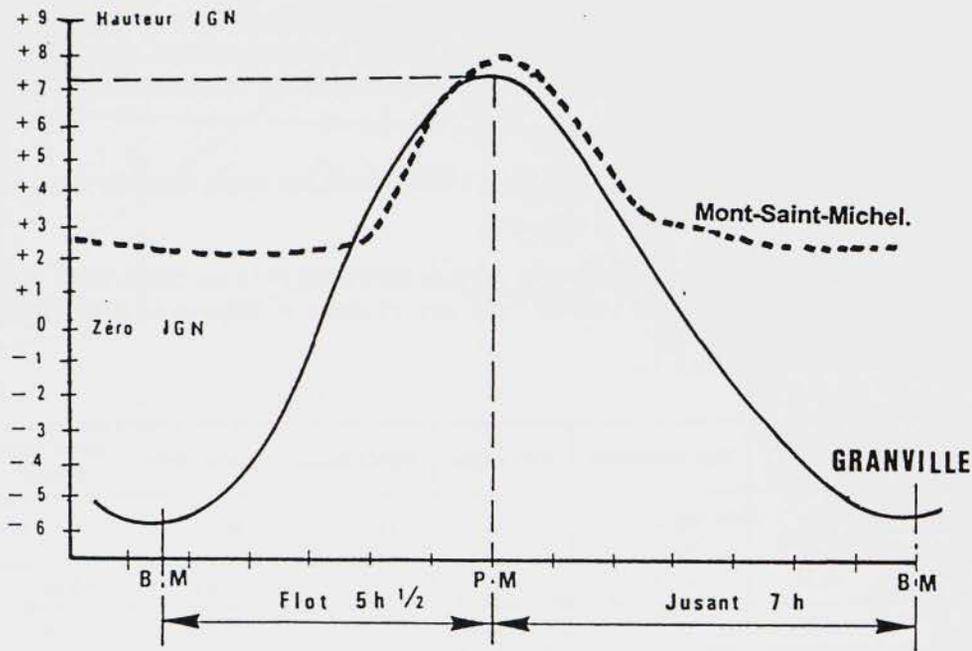
Coefficient marée	50	60	70	80	90	100	110	120
% de dépassement	80	65	50	35	20	8	2,5	0
Hauteur en m (1975 L.C.H.F.)	+4,1	+4,65	+5,2	+5,8	+6,4	+7,0	+7,6	+8,15
Hauteur en m (1996-1997)			+5,10	+5,65	+6,20	+6,70	+7,25	+7,80
Hauteur en m (1884-1997)	+3,95	+4,55	+5,10	+5,70	+6,25	+6,80	+7,40	+8,0

La figure 42 donne la répartition des mesures effectuées avec la dispersion des valeurs qui peuvent être obtenues sur l'analyse des 700 marées entre 1884 et 1997 et la bonne concordance entre les différentes mesures réalisées aux différentes époques.

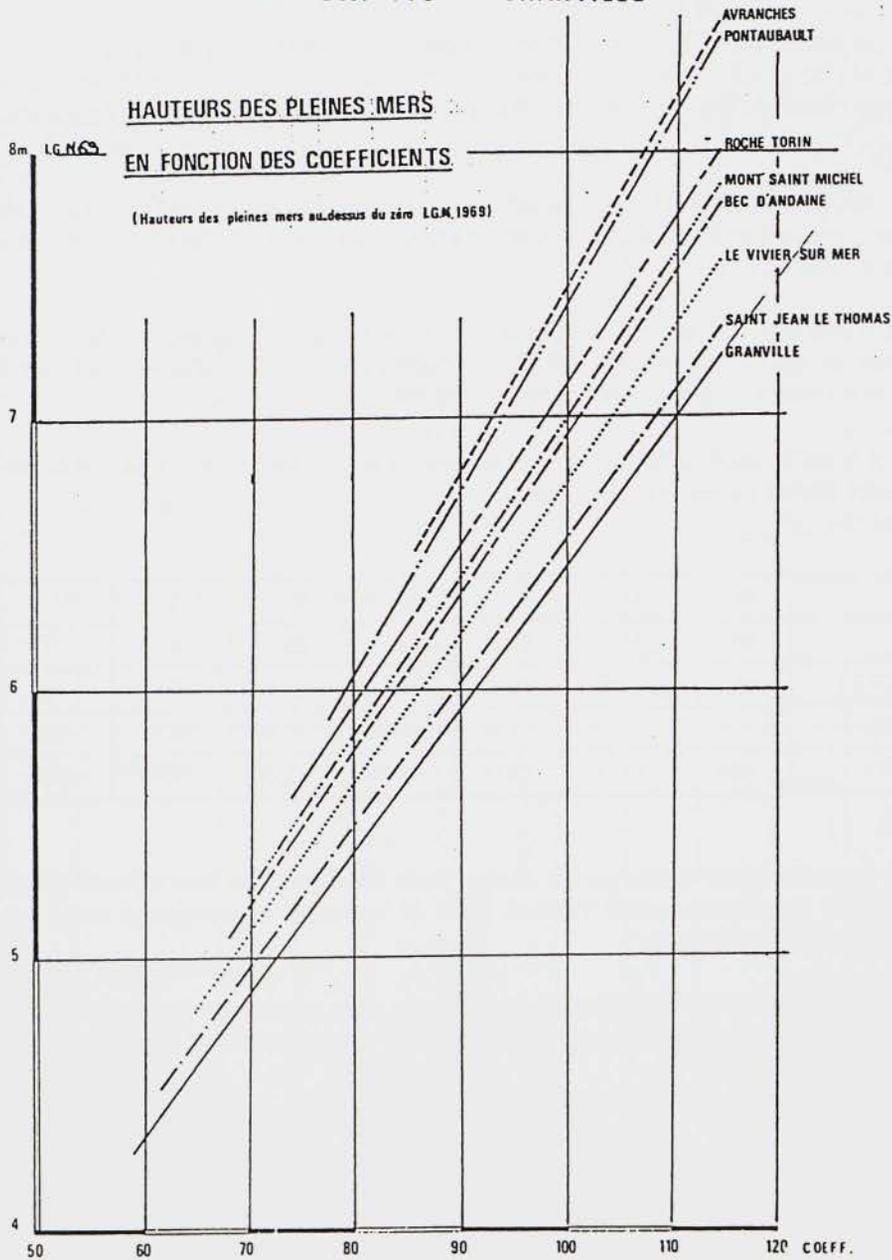
Pour les mesures faites à la Chapelle Saint-Aubert en 1997, la cote moyenne des pleines mers « y » à la Chapelle Saint Aubert répondraient, en fonction du coefficient « C » de la marée, à l'équation :

$$y \text{ (en m)} = 0,0538 C + 1,347$$

FIGURE N°41 : ÉVOLUTION DES NIVEAUX DES PLEINES MERS EN FONCTION DU COEFFICIENT DE MARÉE



COURBE DE MAREE Coef 110 A GRANVILLE



hauteur des pleines mers au Mont Saint Michel

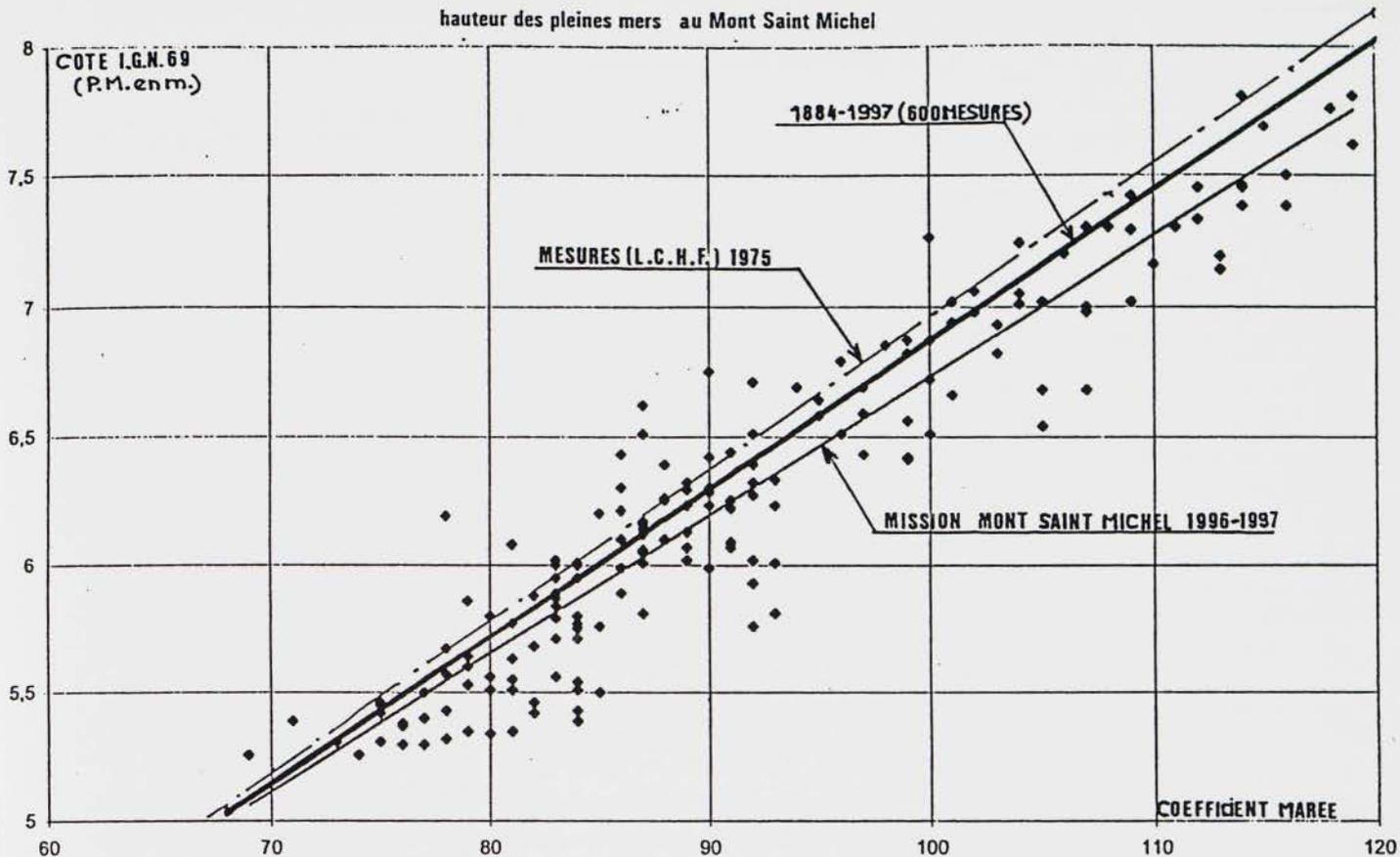
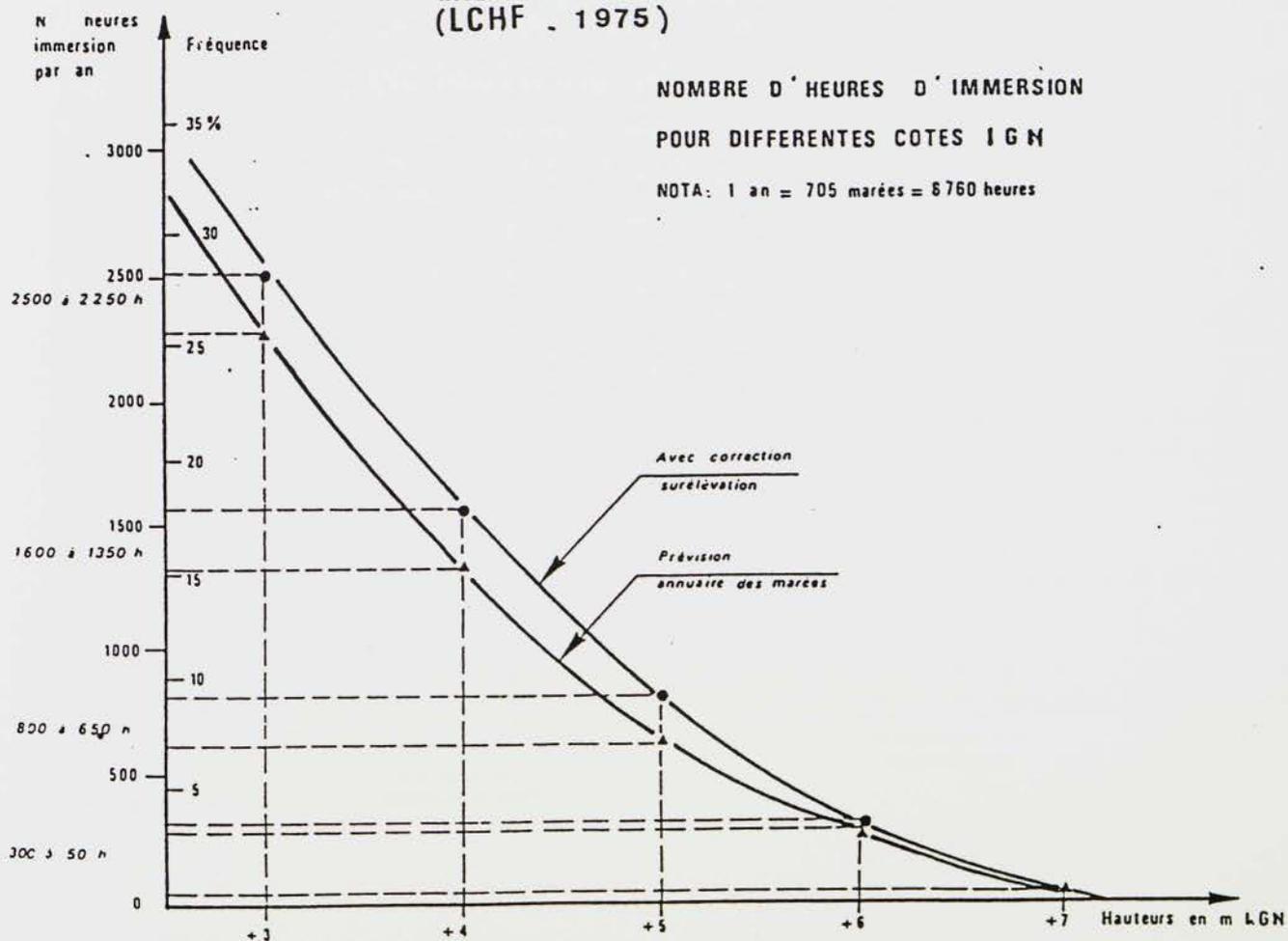
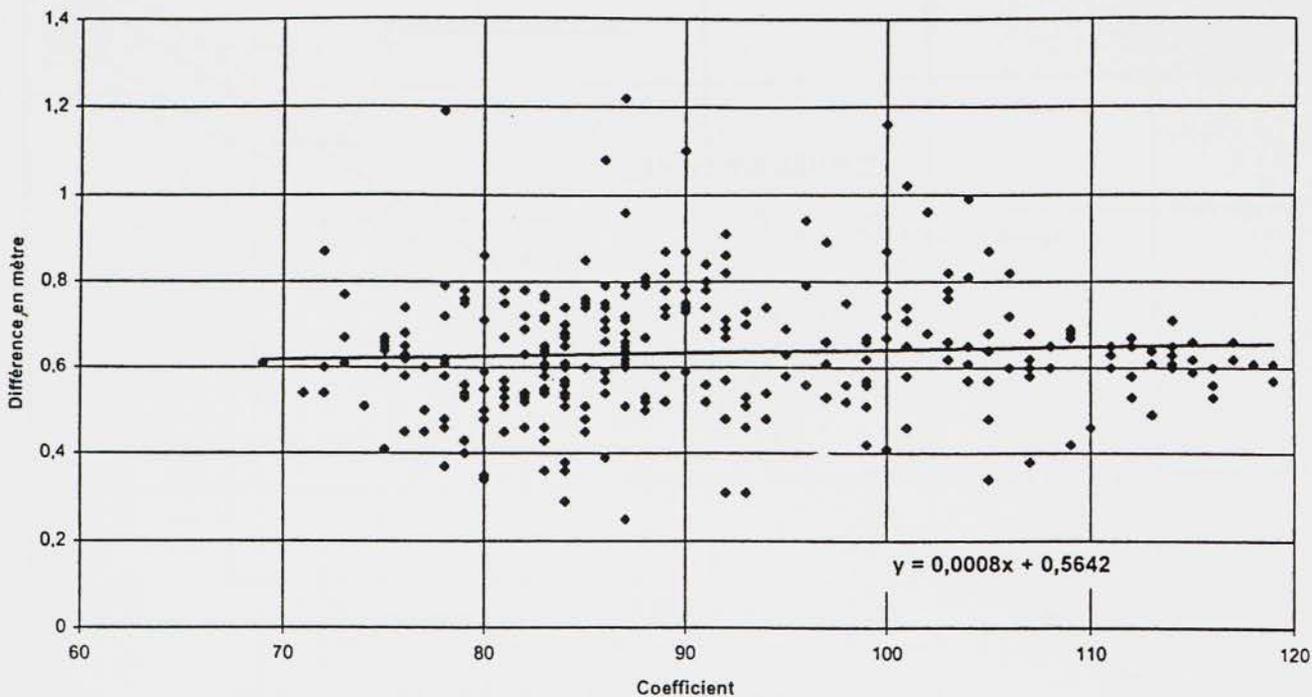


FIGURE N°42 : NOMBRE D'HEURES D'IMMERSION DES FONDS POUR DIFFÉRENTS NIVEAUX DE LA MARÉE (LCHF - 1975)



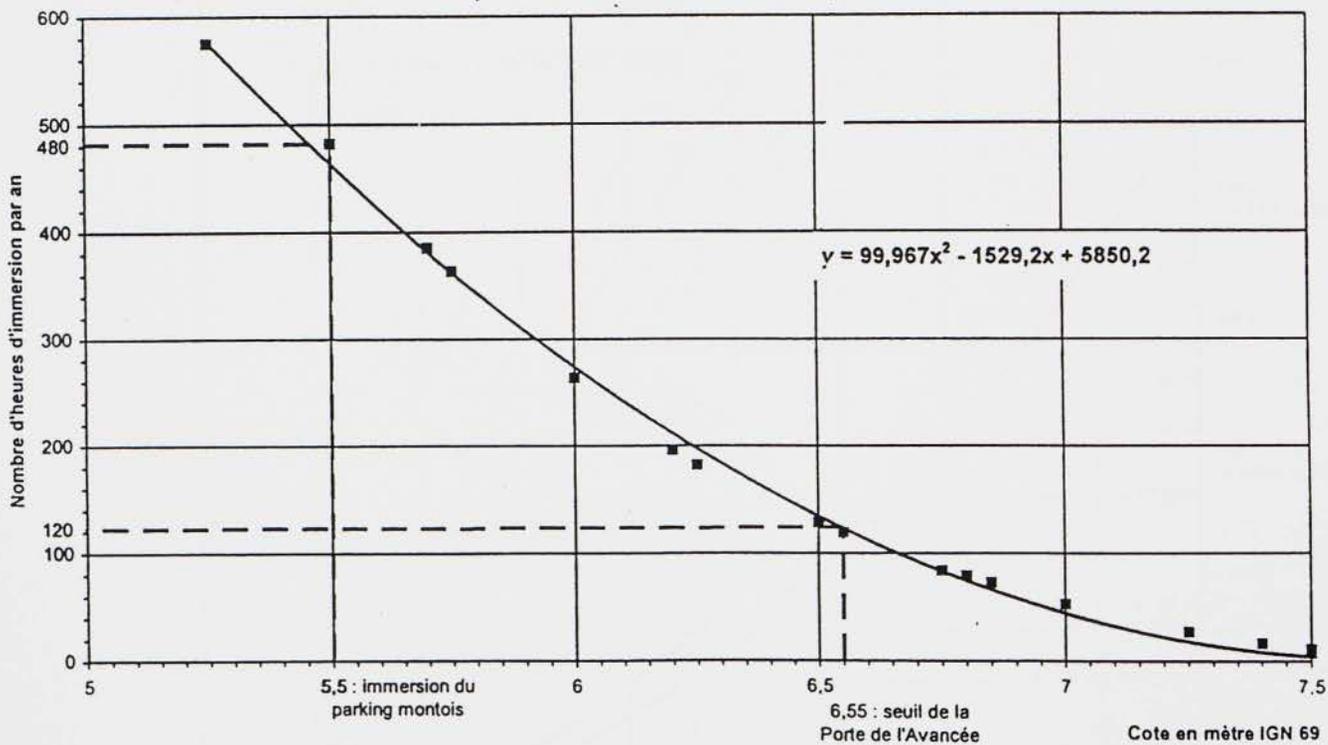
43

Différence entre la marée mesurée au Mont Saint-Michel et la marée théorique à Saint-Malo



44

Nombre d'heures d'immersion des fonds pour différents niveaux de la marée (1 an = 702 marées = 8748 heures)



En intégrant la totalité des mesures des pleines mers réalisées depuis 1884 (environ 700 mesures), l'équation résultante serait :

$$y \text{ (en m)} = 0,0575 C + 1,0791$$

Pour une marée de coefficient 100, la cote des pleines mers serait de 6,83 m et de 3,95 m pour un coefficient 50.

Par rapport à la marée théorique à Saint-Malo (port de référence), prédite par le S.H.O.M. et figurant dans les annuaires de marées, **les pleines mers mesurées au Mont Saint Michel seraient 60 cm plus hautes en moyenne**, avec des écarts pouvant varier entre +1,20 m et -0,30 m en fonction des conditions météorologiques [Figure 43].

Le nombre d'heures d'immersion par la marée, au-dessus d'une cote déterminée (en I.G.N.) a été donné par le L.C.H.F. en 1975, en prenant en compte la loi de répartition des coefficients de marées au cours de l'année et les niveaux des pleines mers au Mont Saint Michel se rattachant à ces coefficients [Figure 44].

De même, les durées d'immersion ont pu être précisées à partir des mesures faites en 1997 au pied du Mont (Chapelle Saint-Aubert) pour des valeurs supérieures à +5,25 m [Figure 44].

Les tableaux ci-dessous donnent ces estimations d'immersion suivant les deux approches, ainsi que le détail des immersions basées sur les mesures en continu au cours de l'année 1997.

Cote I.G.N. 69 (en m)	+7	+6	+5	+4	+3
Nombre heures/an (1975 L.C.H.F.)	50	300	650-800	1350-1600	2250-2500
Nombre heures/an (1996-1997)	50	265	720	-	-
% du temps	0,6	3,4	7,5	16	28

DÉTAIL DES IMMERSIONS BASÉES SUR LES MESURES DE 1997												
Cote I.G.N. 69 (en m)	5,25	5,5	5,75	6	6,25	6,5	6,75	7	7,25	7,5	7,75	
Durée d'immersion (en heures)	575	480	363	263	182	128	86	53	27	11	2	
Réparties sur (nombre de jours)	192	168	145	114	81	65	47	39	20	12	4	
% du temps	6,6	5,5	4,1	3	2,1	1,5	1	0,6	0,3	0,1	0,02	

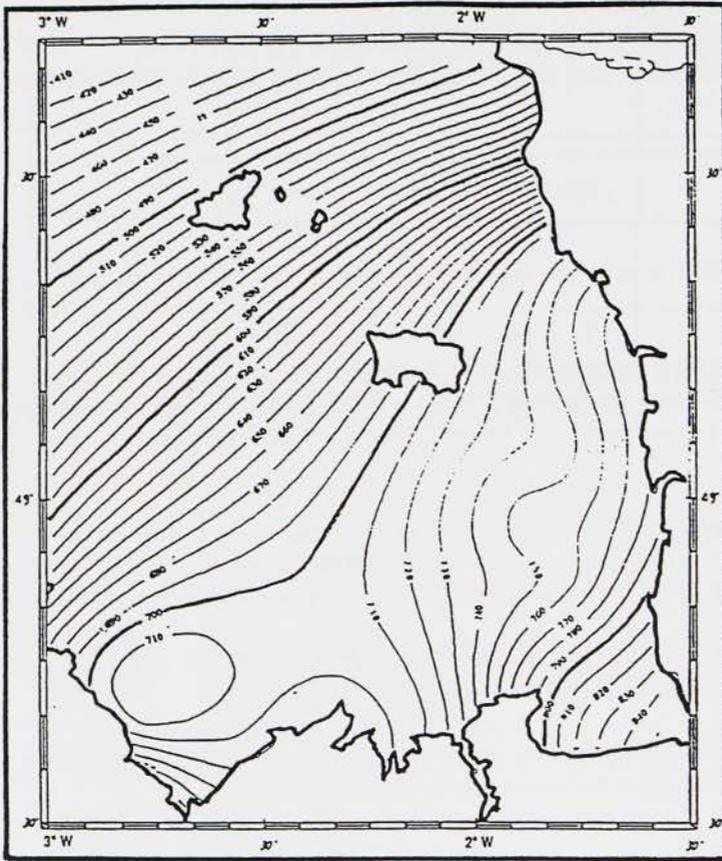
Les valeurs de 1975 sont très voisines de celles que l'on peut déduire des nouvelles mesures de 1996-1997 où le nombre d'heures d'immersion « N » en fonction du niveau de la marée « x » est donné par l'équation :

$$N \text{ (en heures par an)} = 101,11 x^2 + 5.828 - 1.533,7 x$$

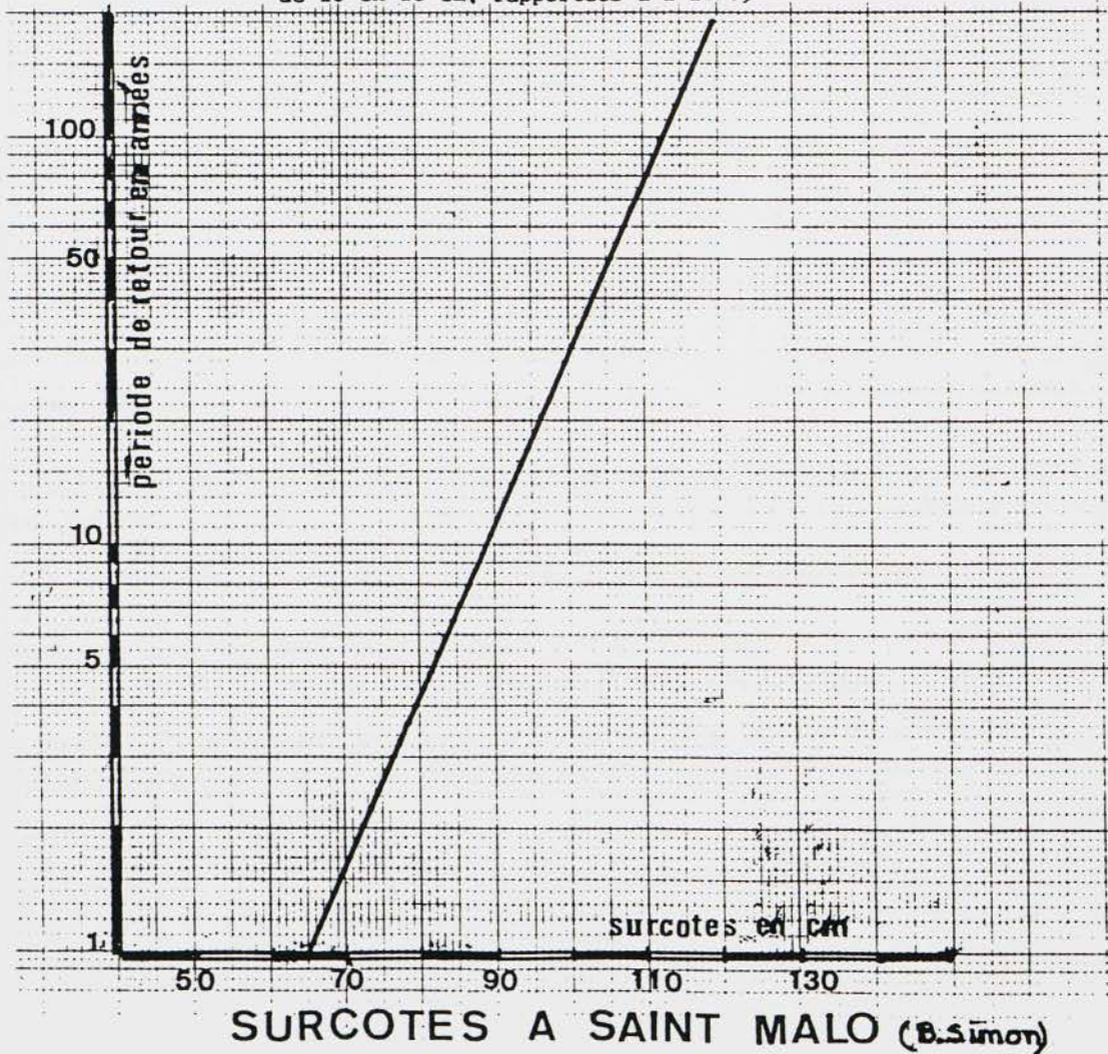
Les données les plus récentes étant les plus exhaustives et les plus précises, elles seront par la suite prises comme référence en regard de la durée d'immersion.

Précisons que les pleines mers de syzygie ou de vive eau se produisent au voisinage de 7 h du matin ou de 19 h ^{1/2} le soir, ce qui limite pour un visiteur non averti les possibilités de voir le Mont Saint Michel entouré d'eau.

FIGURE N° 45 : VARIATION DU NIVEAU DES PLEINES MERS DE VIVES EAUX ENTRE SAINT MALO ET L'ENTRÉE DE LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL



lignes d'égales hauteurs de pleines mers de 10 en 10 cm, rapportées à l'IGN69



III.2.1.3. INFLUENCE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES SUR LA VARIATION DES HAUTEURS DES PLEINES MERS AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL

a) Surcote possible et leur temps de retour

Sous l'action des variations des pressions barométriques, des vents agissant sur un plan d'eau de grande étendue et de faible épaisseur, des débits des rivières... des variations du niveau des eaux peuvent être constatées par rapport au simple effet de la marée se propageant dans la baie du Mont Saint Michel.

Une variation de la pression barométrique de 10 millibars entraîne une correction théorique des hauteurs de marée de 10 cm en plus si la pression s'abaisse, en moins si la pression s'élève... Des variations entre 960 et 1.070 mbars sont possibles conduisant, par rapport aux pressions moyennes de 1.015 mbars, à des surélévations ou à des abaissements du plan d'eau de ± 55 cm.

L'action des vents sur les variations des niveaux d'eau de la baie du Mont Saint Michel nécessiterait une étude théorique étayée par des enregistrements en nature. Une surélévation de 1 à 1,50 m dans le cas d'une baie de 400 km² de superficie et large de près de 30 km est possible^[1]

Compte tenu des droites de régression liées respectivement aux marées théoriques calculées au Mont et à la synthèse générale des mesures disponibles [43], il apparaît que les surcotes et les décotes constatées sur le site sont en moyenne de l'ordre de 30 cm.

D'après les différents documents, les surcotes extrêmes relevées depuis un siècle sont données dans le tableau ci-après.

Date	04/08/1912	01/09/1912	02/09/1912	27/10/1912	24/04/1984	13/02/1997	24/01/1998
Surcote en m	+0,95	+0,87	+0,94	+0,97	+0,90	+0,73	+0,90

Aux abords du Mont, une surcote de 1 m semble avoir été le maximum atteint. Cette valeur est en accord avec celle que l'on peut trouver dans l'étude de la répartition des surcotes le long des côtes de France établie par le S.H.O.M. [46].

SURCOTES EN MÈTRES					
Probabilité en %	Calais	Le Havre	Cherbourg	Saint-Malo	Brest
0,1	0,18	0,17	0,15	0,19	0,15
0,01	0,46	0,40	0,37	0,41	0,37
0,001	0,74	0,70	0,55	0,67	0,60
0,0001	0,96	1,10	0,78	1,0	0,78

Pour les surcotes à Saint-Malo, la *figure 45* représente les probabilités de durées de retour « R » des surcotes de valeurs données par application de la loi exponentielle de Gumbel [8].

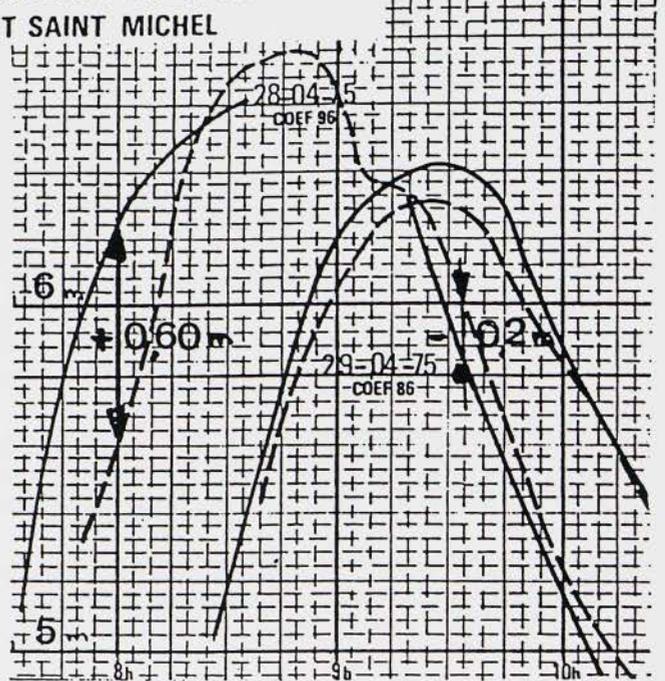
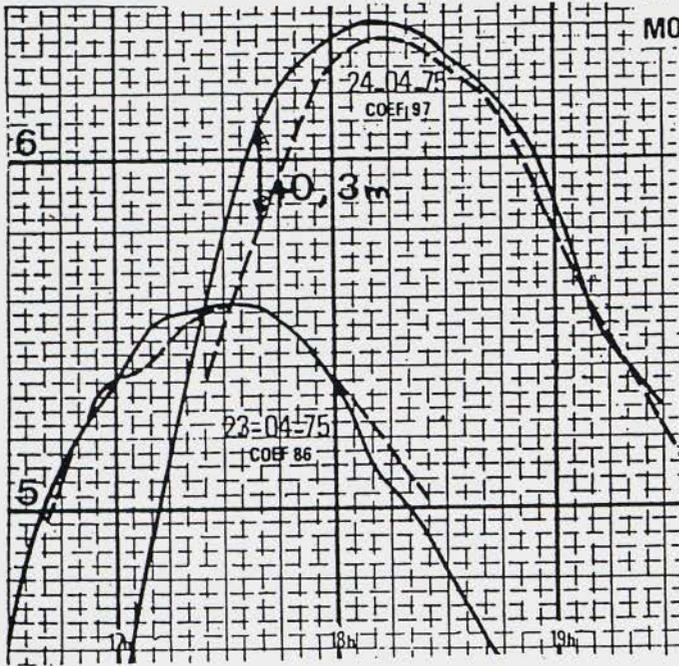
D'après cette loi, la surcote annuelle atteindrait 0,65 m ; décennale 0,88 m ; cinquanteennale 1,04 m et centennale 1,11 m.

[1] Cours de travaux maritimes - Tome 1 page 176 - D. LAVAL - École Nationale des Ponts et Chaussées.

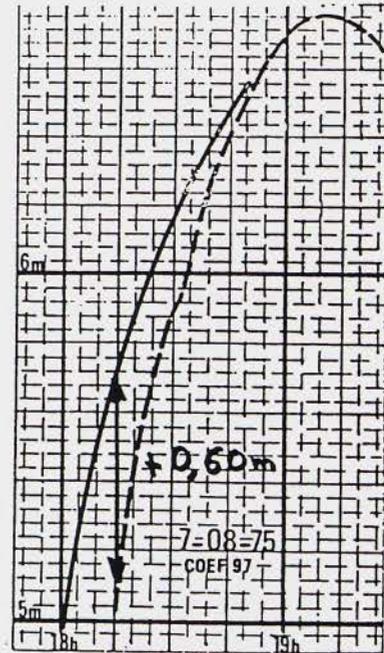
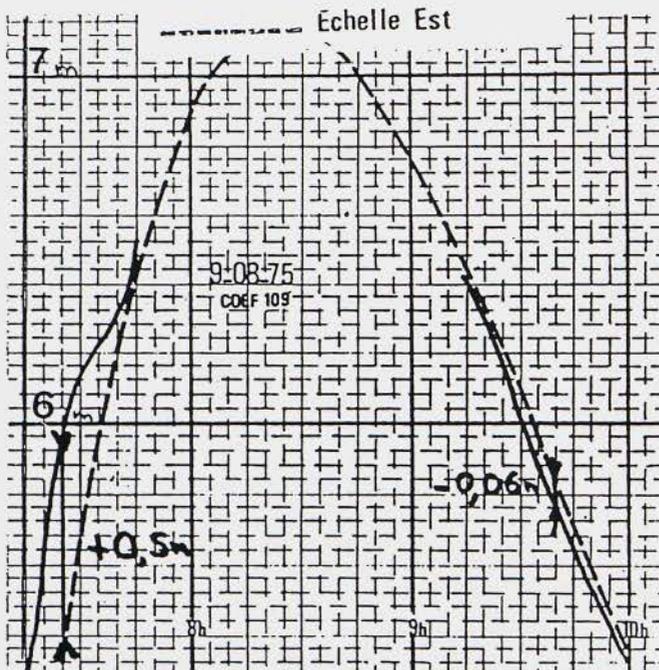
FIGURE N°46 : RÉPARTITION DU NIVEAU DES EAUX DE PART ET D'AUTRE DE LA DIGUE D'ACCÈS
EN 1975

DIFFERENCES OBSERVEES ENTRE
LES NIVEAUX DE LA MER A L'EST
ET A L'OUEST DE LA DIGUE DU
MONT SAINT MICHEL

RAPPORT L CH F
1977



----- Echelle du Couesnon



Des lectures ont été faites aux deux échelles, le 23 Avril à la marée du soir, le 24 et 25 Avril aux marées du matin et du soir, les 26, 27, 28 et 29 Avril aux marées du matin. Ces observations ont fait apparaître des différences de niveau entre les deux échelles pouvant atteindre jusqu'à plus ou moins 0,40 m (Idem 7 et 9 Août 1975)

Ces observations mettent en évidence :

- la surélévation en flot du plan d'eau situé à l'Ouest de la digue, sur le COUESNON par rapport à celui situé à l'Est,
- l'égalité des deux plans d'eau à la pleine-mer ou après celle-ci,
- une dénivellation du plan d'eau Ouest par rapport au plan d'eau Est en jusant,
- la surélévation en flot plus importante que la dénivellation en jusant.

Les mesures simultanées des surcotes à Saint-Malo et au Mont sont insuffisamment nombreuses pour dégager une corrélation nette. En adoptant pour le Mont les mêmes surcotes qu'à Saint-Malo, le S.H.O.M. estime que l'incertitude est limitée à la dizaine de centimètres.

b) Niveaux des plus hautes mers au Mont Saint Michel et leur période de retour

En cumulant les cotes extrêmes d'une marée de vives eaux exceptionnelles (coefficient 120 – cote 8,10 m) et les surcotes susceptibles d'être atteintes au Mont Saint Michel (surcote centennale de 1,11 m), on arriverait à un niveau extrême des plus hautes eaux de +9,20 m dont la probabilité est pratiquement inexistante.

En fait, la probabilité d'observer une pleine mer supérieure à une valeur donnée est la combinaison de la probabilité d'avoir une hauteur d'eau prédite (marée) et de la probabilité d'observer une surcote donnée [8 – 46].

Cette combinaison est le résultat, non pas d'une simple sommation de ces deux probabilités, mais le calcul d'un produit de convolution.

En s'appuyant sur les mesures faites en nature entre le 09 Décembre 1996 et le 09 Juin 1997 (151 mesures), une approche statistique a été réalisée par le S.H.O.M. pour déterminer les périodes de retour pour une hauteur de marée supérieure à la hauteur théorique.

Le tableau ci-après donne les hauteurs extrêmes de ces périodes de retour.

Période de retour (ans)	5	10	15	20	25	50	75	100
Hauteur pleines mers (en m)	8,11	8,19	8,23	8,26	8,29	8,37	8,40	8,42

Il apparaît que ces valeurs théoriques soient confirmées par les observations faites localement par les Montois qui indiquent des valeurs extrêmes de la pénétration de la marée dans le Mont correspondant à des cotes de +8,20 à +8,30 m I.G.N. (hauteur des premières marches du restaurant « La Mère Poulard »...).

Une cote extrême voisine de +8,50 m I.G.N. serait donc à retenir dans l'état actuel du niveau moyen de la mer, ce qui n'empêcherait pas que des embruns dus à de fortes vagues ou clapots aux abords du Mont ne puissent projeter de l'eau sur les installations riveraines.

Si l'on tenait compte de la houle, la cote extrême centennale atteindrait une valeur supérieure estimée, d'après les dernières études (S.H.O.M. et J. BOURGOIN), à +8,84 m sans prendre en compte la surélévation possible du niveau moyen des mers.

III.2.1.4. DIFFÉRENCE DE NIVEAU DES EAUX DE PART ET D'AUTRE DE LA DIGUE ROUTE

Avant la construction de la digue route en 1878-1879, la mer pouvait passer entre le Mont Saint Michel et le littoral favorisant une certaine insularité, mais rendant difficile les accès au Mont par tous les temps.

Le rétablissement de cette insularité par coupure de la digue pose le problème de savoir si des courants traversiers, alternatifs ou non, pourront se rétablir dans cette zone par suite des différences de niveaux des eaux de part et d'autre de l'ouvrage.

Des premières mesures furent réalisées en 1906-1907, 30 ans environ après la réalisation de la digue à une époque où les grèves étaient plus basses que dans l'état actuel (+5,5 m I.G.N. 69 à l'Est et +4,6 m à l'Ouest à 400 m de l'enracinement de la digue et +4,5 m tant à l'Est qu'à l'Ouest près du Mont) et où le barrage de la Caserne sur le Couesnon n'existait pas.

À cette époque, les mesures effectuées montraient que le niveau des eaux était plus élevé à l'Ouest de la digue (côté Bretagne) qu'à l'Est (côté Normandie) en flot, cette différence pouvant atteindre 0,40 m. À la pleine mer, l'équilibre était atteint (mêmes cotes à l'Ouest qu'à l'Est) pour s'inverser en jusant avec une différence de cote de 0,40 m environ 2 heures après pleine mer en vive eau...

On pouvait admettre que si la digue route était partiellement coupée aux abords du Mont, il y aurait eu, à cette époque, des courants traversiers très appréciables allant de l'Ouest vers l'Est en flot et de l'Est vers l'Ouest en jusant... avec des vitesses supérieures de 2 ou 3 m/s.

Ces courants traversiers importants avaient été signalés comme une des difficultés rencontrées au cours de la construction de la digue route au moment de sa fermeture sur le Mont Saint Michel.

Avant construction de la digue route, au cours d'une délibération du Conseil Municipal du Mont Saint Michel du 04 Janvier 1883, le Maire, Monsieur LECOURT, a rappelé que « les courants traversiers faisaient autrefois courir des dangers aux bateaux qui remontaient le Couesnon... et qu'après construction de la digue ils étaient en sécurité ». « Ces courants traversiers étaient jadis très violents... »

Les mesures faites par la mission L.C.H.F. d'Avril et Août 1975 [Figure 46], avec des grèves sensiblement plus élevées et le barrage du Couesnon réalisé en 1969, conduisaient aux mêmes constatations. **En flot, la surélévation du plan d'eau situé à l'Ouest de la digue (en bordure du Mont) a pu atteindre 0,30 m le 24/04/1975 par rapport au plan d'eau situé à l'Est et 0,60 m le 28/04/1975 et le 07/08/1975.** Au voisinage de la pleine mer, les niveaux s'équilibraient. **En jusant, le plan d'eau à l'Est de la digue est à une cote supérieure de celui de l'Ouest** (0,10 à 0,20 m). La surélévation en flot (Ouest – Est) est plus importante que la dénivellation en jusant (Est – Ouest).

Il était précisé (rapport L.C.H.F. 1977) [24.b.] que cette surélévation en flot à l'Ouest du Mont « donne naissance à des courants qui, avant l'étalement de pleine mer, contournaient le Mont Saint Michel vers le large... ». « Ces courants qui sont supérieurs à ceux qui existeraient en l'absence du barrage de la Caserne et de la digue route d'accès contribuent à la conservation relative des fonds au pied même du Mont... ».

Les mesures plus récentes faites en 1995 (mission Maillard) donnent également des différences de cotes des plans d'eau de part et d'autre du Mont, mais ces mesures réalisées à des niveaux voisins de la pleine mer ne peuvent être interprétées qu'avec réserve et sont limitées à une fraction de la marée.

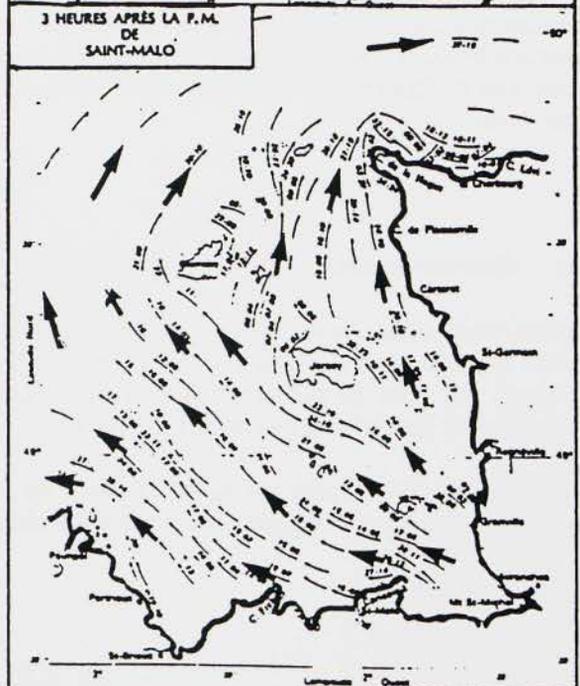
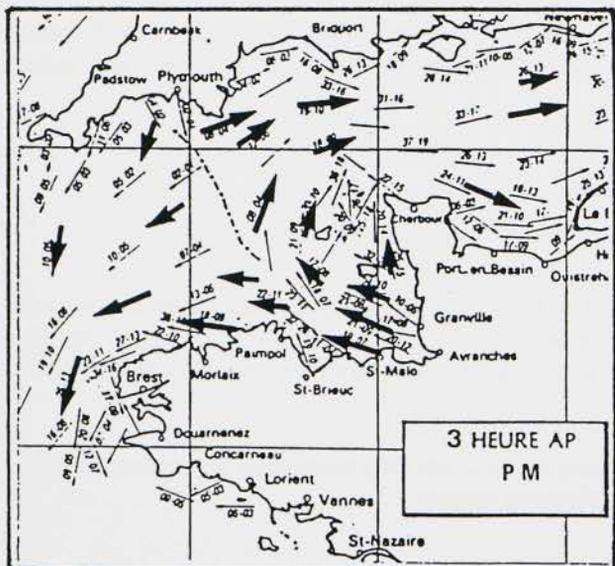
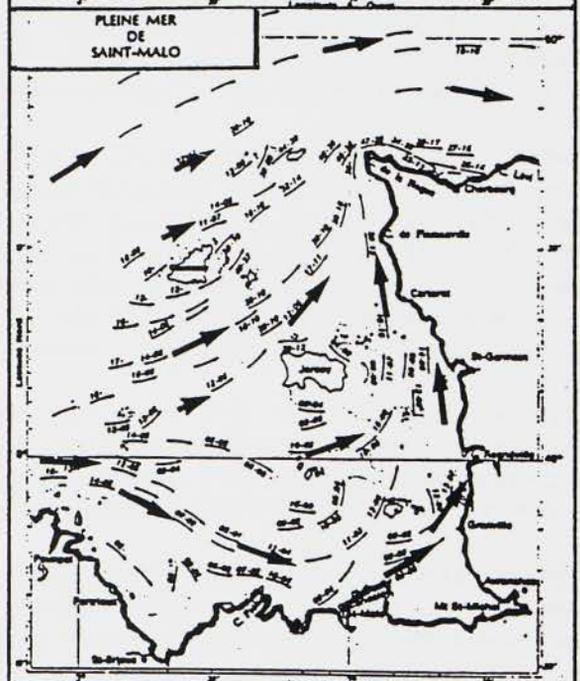
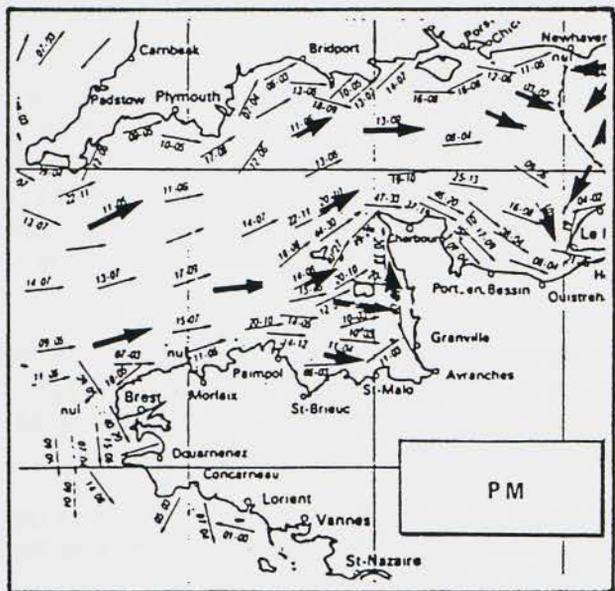
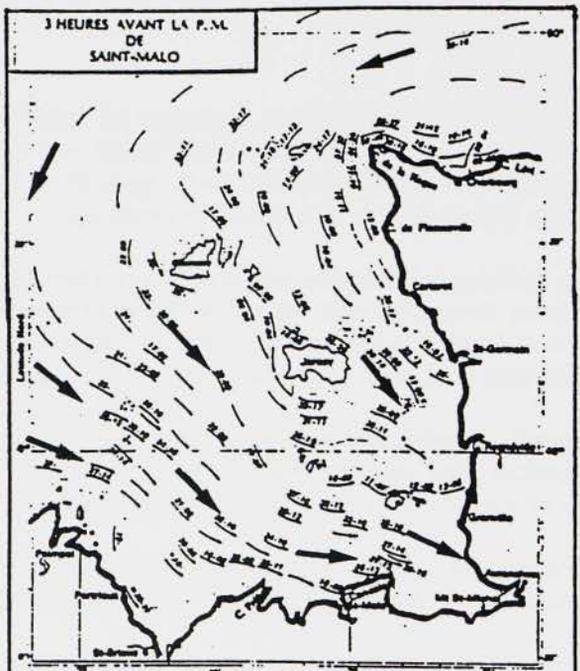
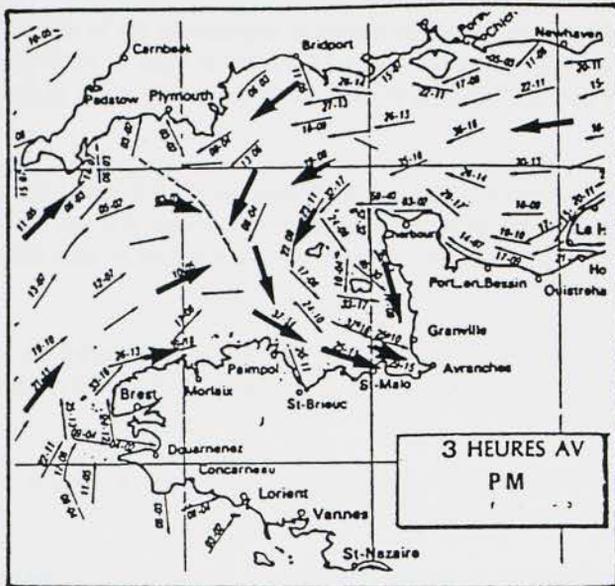
Il est vraisemblable, comme l'a signalé A. L'HOMER, que dans la configuration actuelle du Couesnon, qui fait un méandre entourant le Mont par le Nord-Est, le flot pénètre d'abord dans la criche de l'Est avant d'atteindre l'embouchure du Couesnon, ce qui pourrait modifier la répartition des cotes de la marée de part et d'autre de la digue route.

III.2.1.5. VARIATION DU NIVEAU MOYEN DE LA MER

Le niveau moyen des mers subit des variations importantes à l'échelle géologique et au cours de la dernière glaciation le niveau marin aurait été de 100 m plus bas que le niveau actuel. Depuis 20.000 ans, ce niveau est remonté par suite du réchauffement de l'atmosphère passant à -50 m environ en l'an -10.000 BP et à -10 m en l'an -7.000 BP (surélévation de 1 cm par an).

Entre l'an -7.000 BP et notre ère, la surélévation du niveau marin a été beaucoup plus lente avec les perturbations apportées par les régressions et transgressions dunkerquiennes.

FIGURE N°47 : LES COURANTS DE MARÉE DANS LE GOLFE NORMAND-BRETON



Au cours des 100 dernières années, les mesures faites par le S.H.O.M. montrent que le niveau moyen de la mer, sur les deux sites de Brest et de Marseille, s'est surélevé de 12 cm, soit une valeur moyenne de 1,2 mm par an [27 - 36].

Cette valeur recoupe celle donnée par BARNETT en 1984 qui, en s'appuyant sur les différentes valeurs marégraphiques dans le monde, indiquait une remontée générale du niveau des mers de 1,4 mm par an pour la période 1880 à 1920 et de 2,2 mm par an pour la période de 1920 à 1980, ce qui indiquerait une accélération du phénomène.

L'analyse des données altimétriques de TOPEX-POSEIDON acquises d'Octobre 1992 à Février 1995, indiquerait une augmentation du niveau des océans de 4 mm par an, mais l'incertitude sur cette estimation, de l'ordre de 50 %, est importante et une si courte durée d'observation n'est pas suffisante pour s'affranchir des fluctuations inter-annuelles... (E.P.S.H.O.M. Août 1996).

Une valeur moyenne de 1,5 mm par an semble à retenir pour la surélévation moyenne du niveau de la mer au cours des dernières années avec, en mémoire, le risque d'une augmentation possible de cette valeur au cours des prochaines années.

Différentes études ont été faites pour évaluer cette surélévation au cours du prochain siècle par suite d'un réchauffement climatique dû à l'effet de serre (augmentation de la température moyenne de 0,5°C depuis le début du siècle, augmentation de la concentration en gaz carbonique de 0,5 % par an...).

Ces phénomènes climatiques entraîneraient :

- La fonte des glaciers continentaux et polaires.
- La dilatation thermique des eaux marines. Un réchauffement de ces eaux de 1°C peut entraîner une augmentation de 16 cm d'une colonne d'eau de 1.000 m de hauteur.
- Les mouvements de la croûte terrestre, que leur origine soit isostatique, tectonique ou anthropique... Ces mouvements pourraient atténuer les phénomènes précédents.

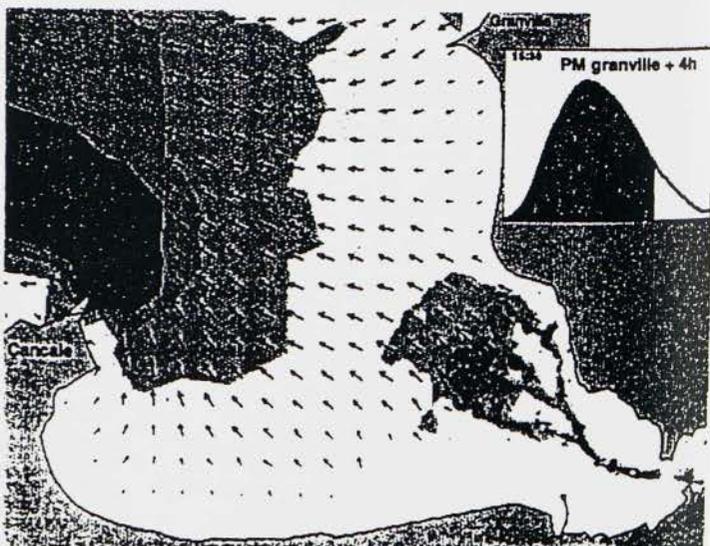
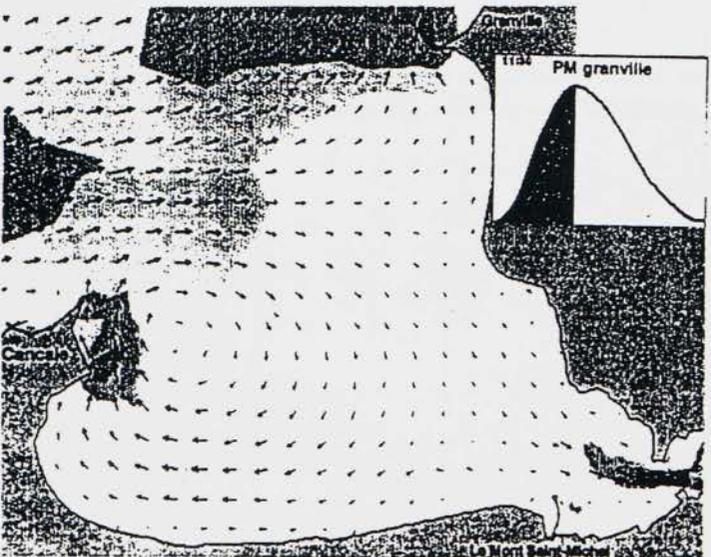
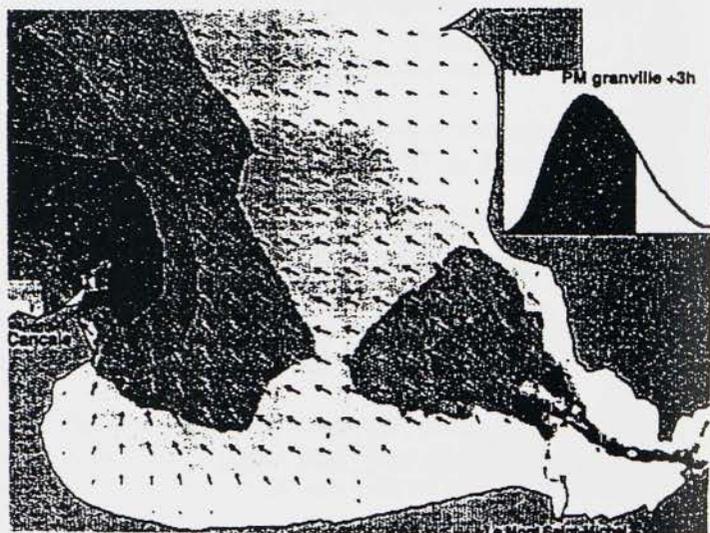
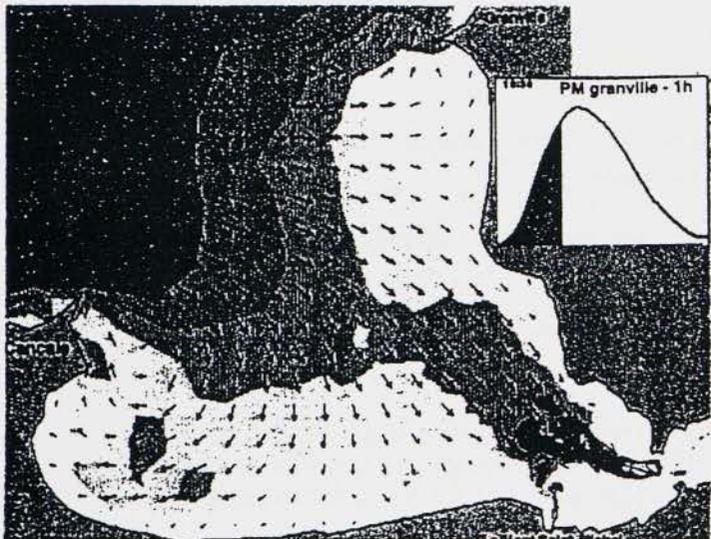
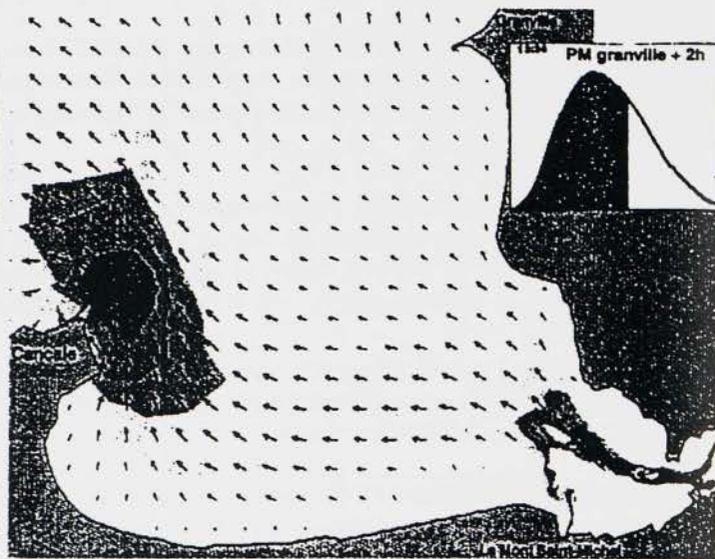
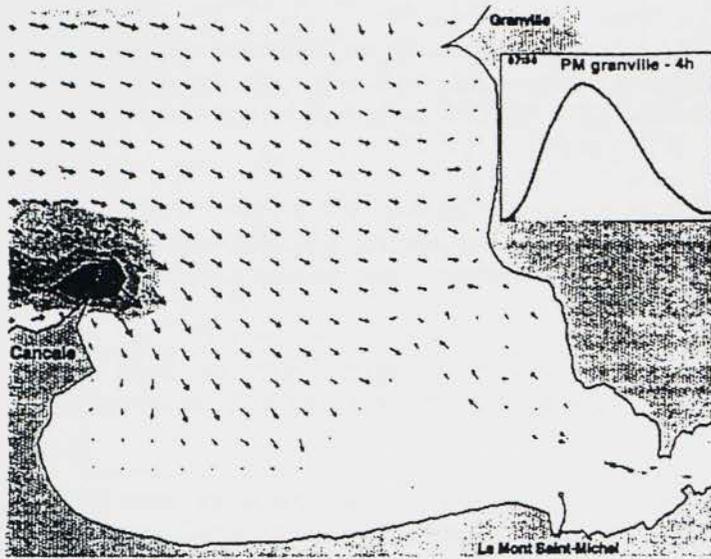
En cumulant tous ces scénarios, on peut arriver à des prévisions de surélévations du niveau des mers catastrophiques mais non réalistes, atteignant 2 mètres en un siècle.

Dans l'état actuel des connaissances « raisonnables », une estimation de surélévation de 50 à 60 cm à l'horizon 2100 peut être retenue, ce qui correspond déjà à une accélération appréciable des surélévations observées au cours du dernier siècle (1,5 mm par an) d'un facteur de 3 à 4 (5 à 6 mm par an).

Une étude faite à l'aide d'un modèle mathématique TELEMAT par le S.H.O.M. et par SOGREAH Ingénierie, montre que cette surélévation du niveau moyen de la mer se répercuterait sur celui des pleines mers avec une très faible atténuation.

La complexité des marées dans le golfe normand-breton, liée à l'incertitude sur les prévisions, même raisonnables, de la surélévation du niveau moyen de la mer, nécessite une certaine prudence dans les estimations à long terme sans pour autant les négliger.

MODELE NUMERIQUE COURANTOLOGIQUE DE LA BAIE - FONDS 1975 - MAREE DE VIVE EAU MOYENNE CHAMPS DE COURANT DANS LA GRANDE BAI



III.2.2. Les courants de marées – Les volumes oscillants qui pénètrent et sortent de la petite baie

III.2.2.1. LES COURANTS DE MARÉES DANS LE GOLFE NORMAND-BRETON

Les courants de marées pénètrent dans le golfe normand-breton pratiquement de 6 heures avant la pleine mer de Cherbourg à 2 heures avant pleine mer, avec une convergence des courants de la Manche venant tant de l'Ouest que de l'Est au cours des 3 premières heures du montant. Ils sortent de la baie de 1 heure avant pleine mer à 5 heures après pleine mer, en s'orientant vers le Nord et l'Est de la Manche au cours des premières heures du perdant pour repartir vers l'Ouest de la Manche de 3 heures après pleine mer à 5 heures après pleine mer [Figure 47].

Trois heures avant la pleine mer de Saint Malo – soit environ 5 heures avant la pleine mer de Cherbourg – le flot, qui avait commencé 4 heures 30 avant pleine mer, est généralisé dans tout le golfe normand-breton et converge vers le fond de la baie du Mont Saint Michel ; ce n'est cependant que la fin du « jusant » dans la Manche au droit du golfe et l'on constate une giration des courants qui se dirigent vers l'Ouest au large et vers l'Est le long du littoral breton entre le Cap Fréhel et Jersey.

À la pleine mer de Saint Malo, le fond du golfe s'est rempli et les courants sont déviés vers le Nord longeant la face Ouest du Cotentin.

Trois heures après la pleine mer de Saint Malo, le jusant s'est établi dans tout le golfe normand-breton s'orientant vers le Nord-Ouest pour regagner au large de Guernesey le courant général de la Manche orienté vers l'Est, tandis que le courant qui longe la Bretagne s'oriente vers l'Ouest s'associant aux courants de vifage de la Manche.

Six heures après la pleine mer de Saint Malo, le golfe normand-breton continue de se vider en s'associant aux courants généraux de la Manche tous orientés vers l'Ouest.

Dans tout le golfe normand-breton, on constate la dissymétrie entre le jusant et le flot plus court et plus fort, notamment au Sud de Jersey avec des vitesses pouvant dépasser 3 nœuds.

Cette dissymétrie des courants peut avoir, comme IFREMER le signalait [23.a.], « une grande importance en sédimentologie et en biologie benthique car les déplacements des sédiments et des organismes sont liés à une puissance élevée de la vitesse ».

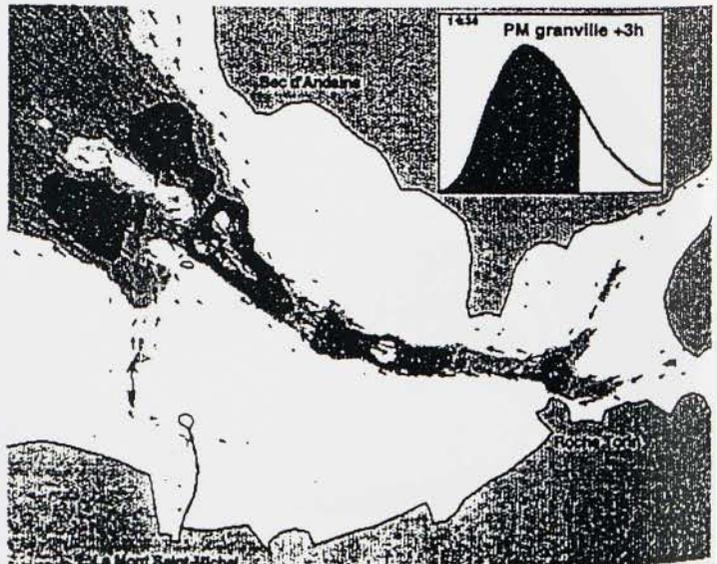
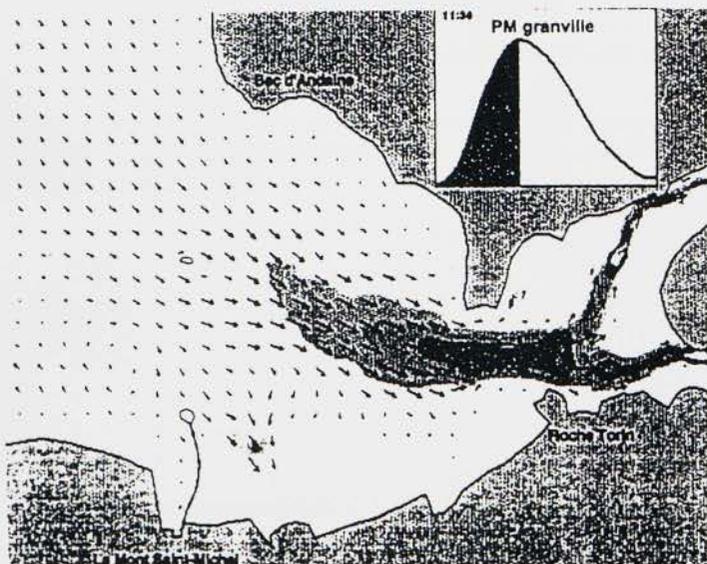
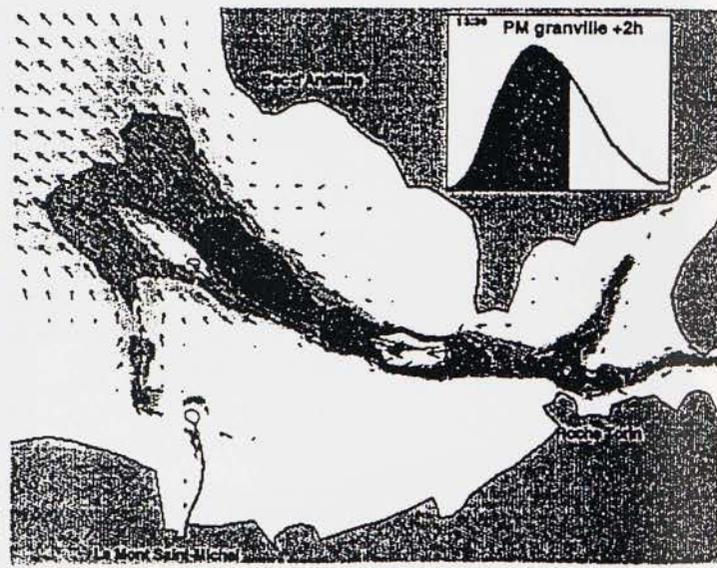
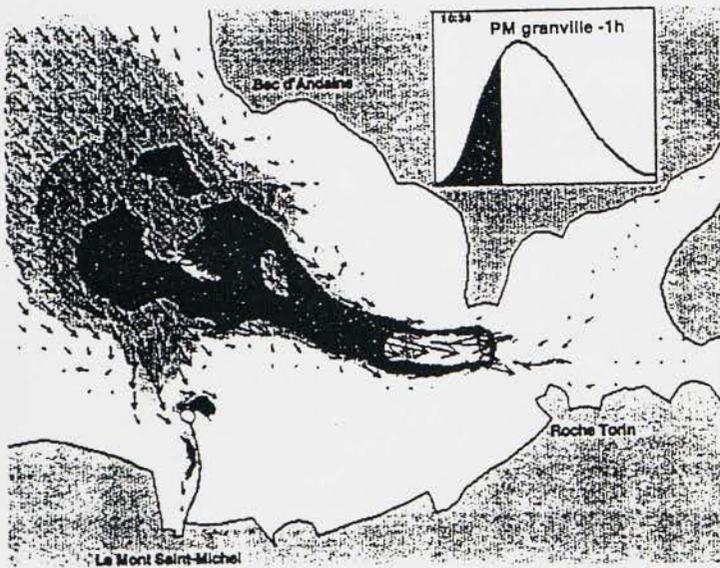
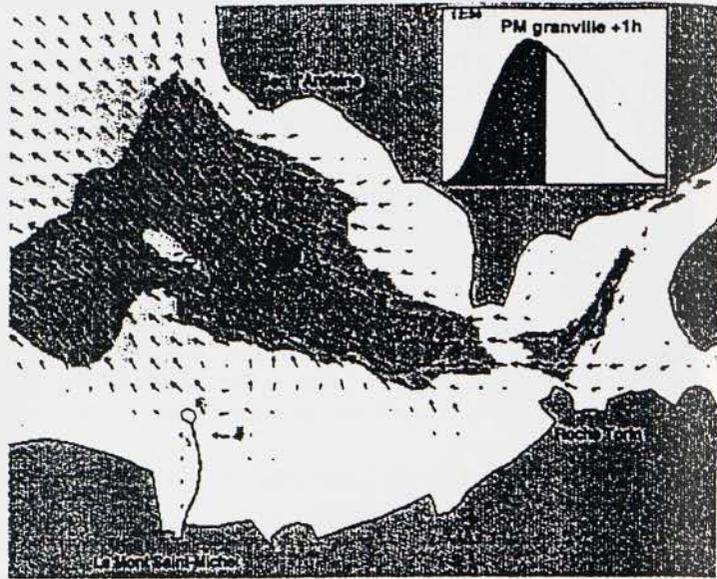
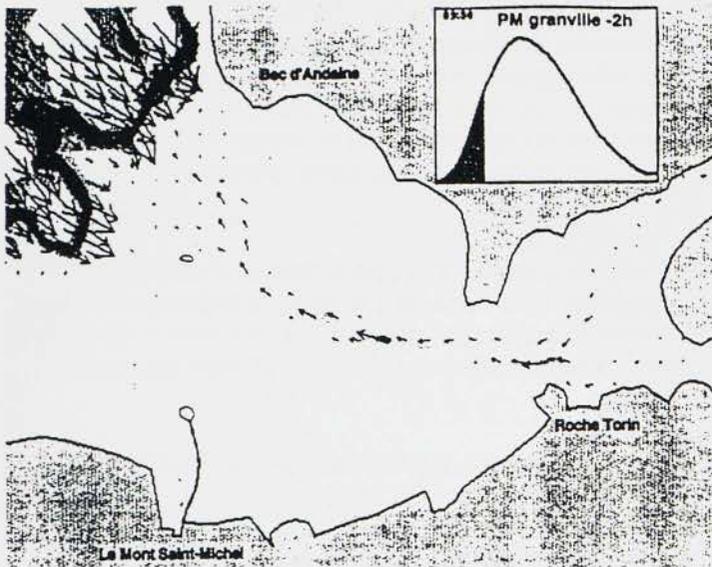
III.2.2.2. LES COURANTS DE MARÉE À L'ENTRÉE DE LA GRANDE BAIE DU MONT SAINT MICHEL

De nombreuses mesures de courants à postes fixes ont été réalisées dans la baie du Mont Saint Michel par le L.C.H.F. en 1971 et 1975 et par E.D.F. [24.b.].

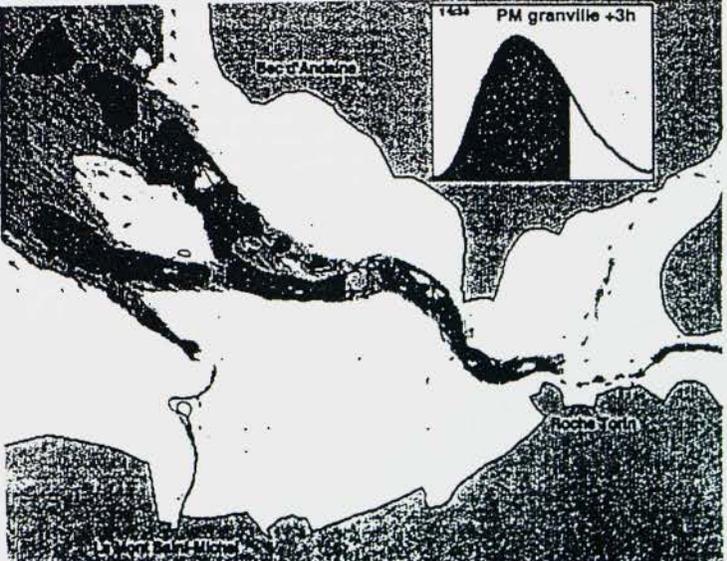
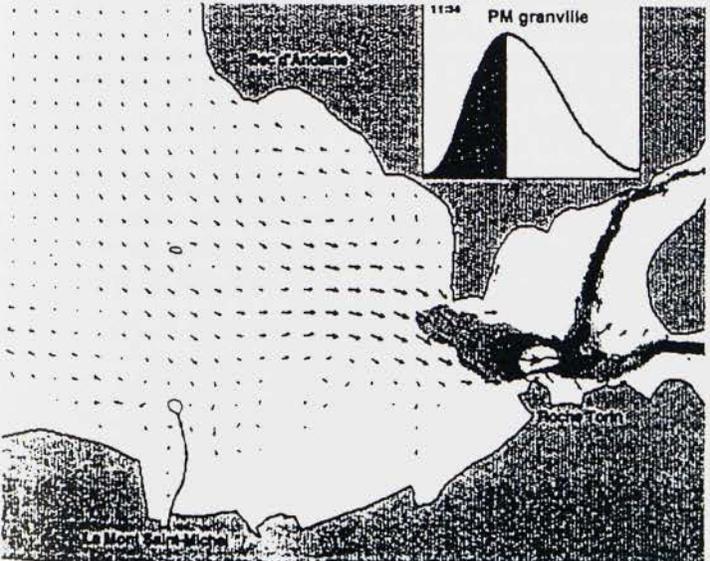
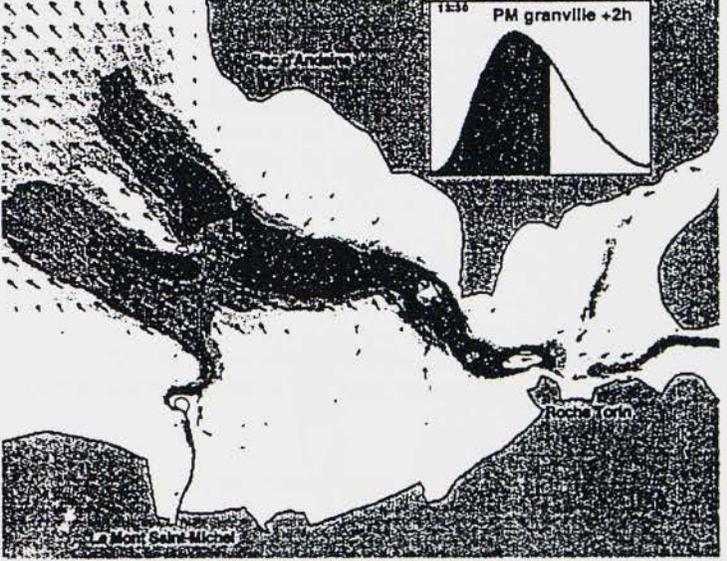
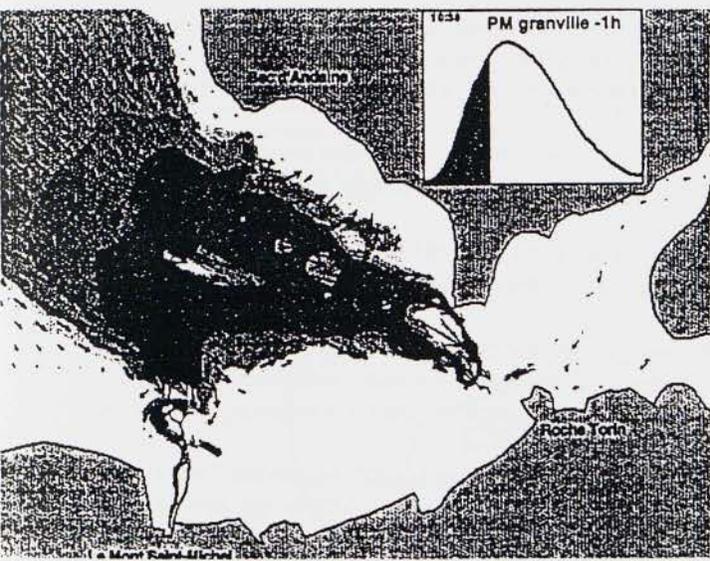
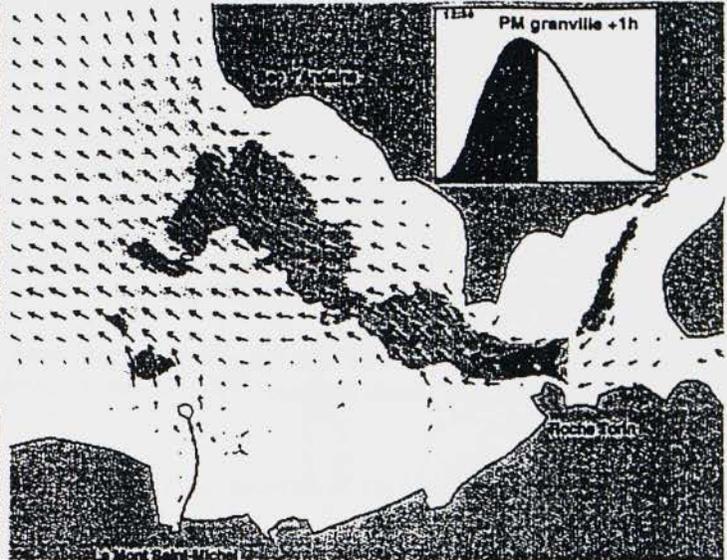
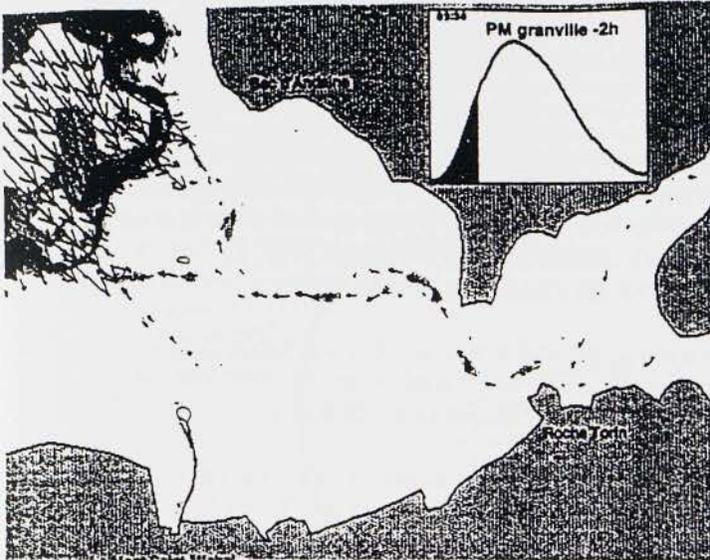
Certaines mesures ont été complétées en 1996 par la Société RIVAGES et le GRESARC [43].

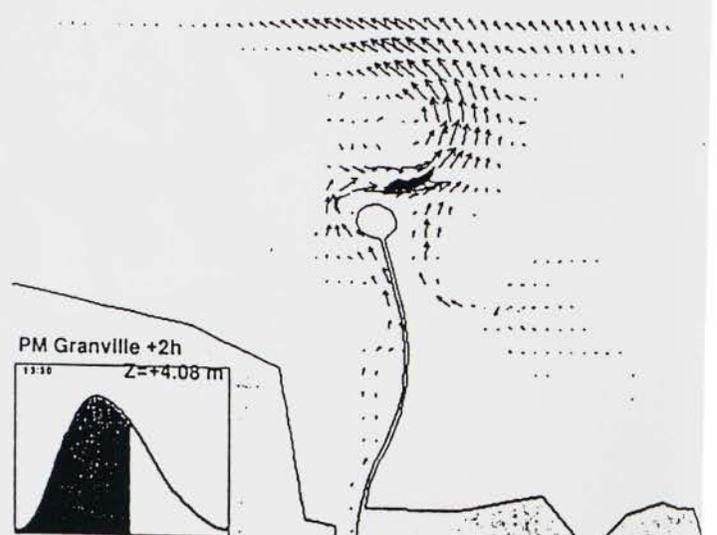
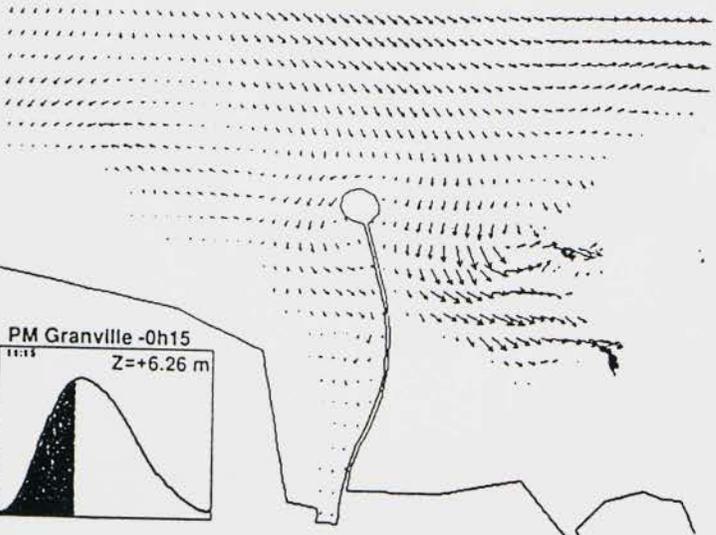
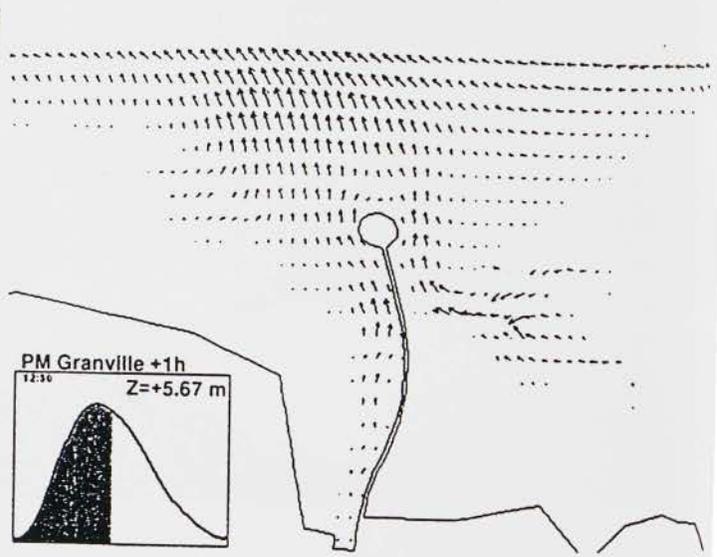
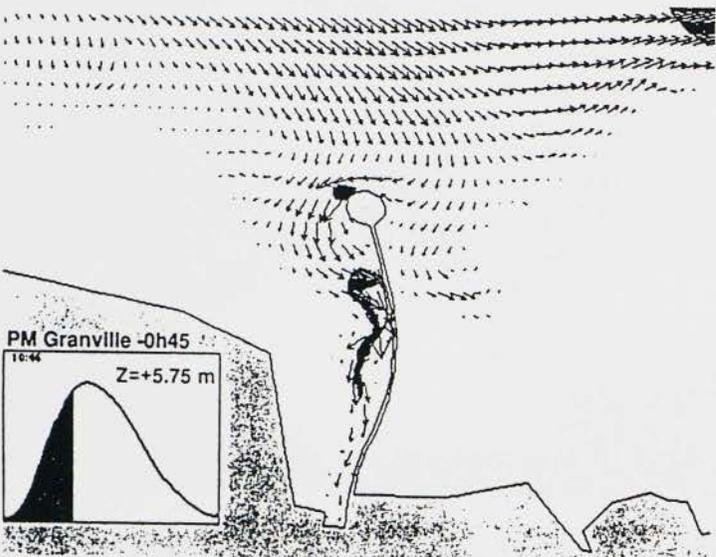
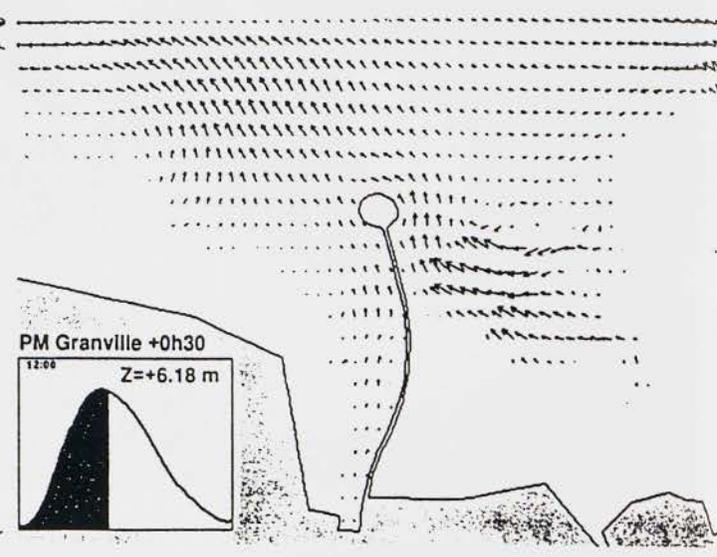
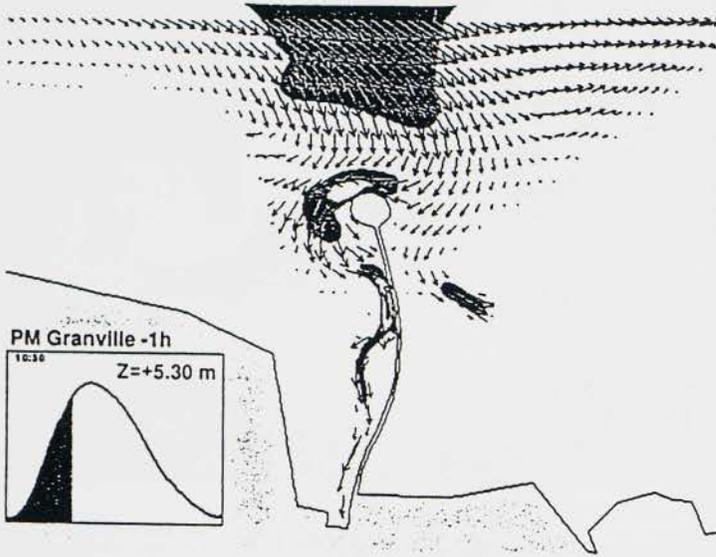
Par ailleurs, un modèle numérique courantologique, s'étendant au Cap Fréhel à l'Île de Jersey et englobant le plateau des Minquiers, a été réalisé par SOGREAH Ingénierie, apportant des informations très appréciables sur la propagation de la marée et les courants dans l'ensemble de la grande et de la petite baie du Mont Saint Michel [49.d.].

MODELE NUMERIQUE COURANTOLOGIQUE DE LA BAI - FONDS 1975 - MAREE DE VIVE EAU MOYENNE CHAMPS DE COURANT DANS LA PETITE BAI



MODELE NUMERIQUE COURANTOLOGIQUE DE LA BAIE - FONDS 1997 - MAREE DE VIVE EAU MOYENNE CHAMPS DE COURANT DANS LA PETITE BAIE





III.2.2.2.1 LES COURANTS DANS LA GRANDE BAIE D'APRÈS LE MODÈLE NUMÉRIQUE (1975 ET 1997)

Le modèle numérique (TELEMAC 2D) est un modèle aux éléments finis comportant plus de 5.000 points de calculs avec un maillage permettant d'apporter une précision de plus en plus grande lorsque l'on se rapproche du fond de la baie et des abords du Mont Saint Michel. Il a pu être étalonné avec rigueur en s'appuyant sur les nombreuses mesures effectuées en nature en 1975 et en prenant en compte, à la limite du large, 30 composantes harmoniques de la marée données par le modèle numérique de la Manche développé en 1980 (L.E.G.L. / I.M.G.).

Ce modèle a permis de définir, pour des marées de vives eaux moyennes (coefficient 95) et des marées moyennes (70), avec les modules moyens d'écoulement des rivières Sée, Sélune et Couesnon, les courants dans la grande baie et dans la petite baie aux différentes heures de la marée dans l'état des fonds de 1975 et dans celui de 1997 permettant, entre autres, de fournir des éléments pour le réglage aux limites du modèle physique sédimentologique et d'évaluer l'influence de certains aménagements avec un état des fonds donné.

Sur le plan strictement de la courantologie générale dans la grande baie et aux approches du Mont Saint Michel, la *figure 48* donne heure par heure les trajectoires et vitesses des courants dans l'état des fonds de 1975 (la même étude est faite avec l'état des fonds de 1997).

On constate qu'après la basse mer (4 heures avant pleines mers), le flot pénètre d'une façon préférentielle à l'Ouest, près de Cancale, les vitesses étant encore faibles ou nulles à Granville. Deux heures avant la pleine mer, les trajectoires de flot s'épanouissent dans la partie Ouest de la baie et se concentrent vers la petite baie en direction des estuaires de la Sée – Sélune et Couesnon avec des vitesses supérieures à 1 m/s.

Une heure avant la pleine mer, les vitesses de remplissage sont surtout importantes dans le chenal de la Sée – Sélune et plus faibles dans celui du Couesnon. À l'Ouest de la baie, un courant circulaire apparaît dans le sens des aiguilles d'une montre, les trajectoires s'orientant vers le Nord aux abords de Cancale.

Ce phénomène s'amplifiant à pleine mer et si le flot continue de pénétrer dans la Sée – Sélune, les vitesses sont inexistantes aux abords du Mont et l'Ouest immédiat.

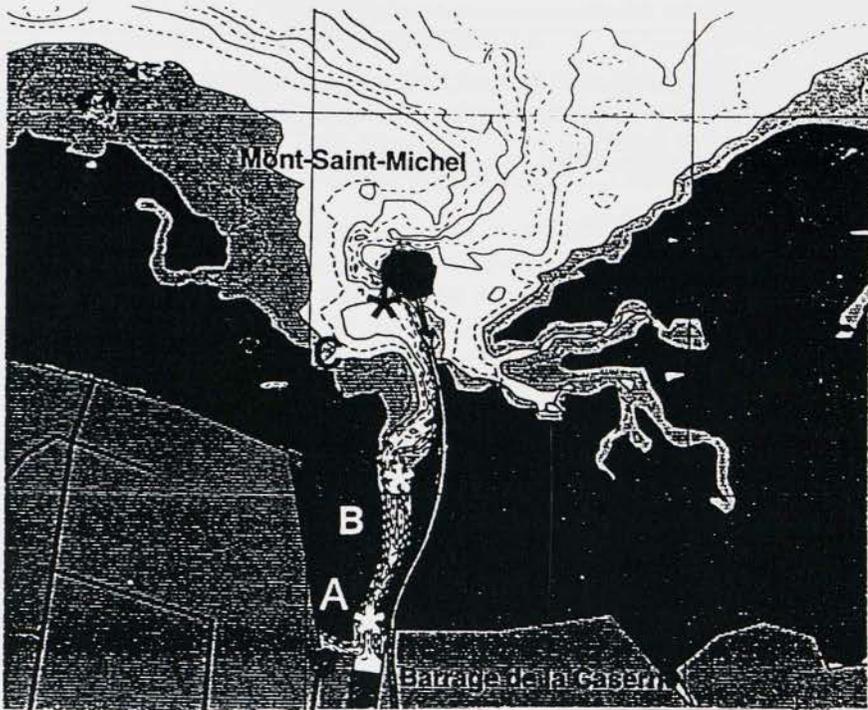
Une heure après pleine mer, la baie est soumise à un courant général Est – Ouest le long du littoral, les eaux s'évacuant préférentiellement au voisinage de la pointe de Cancale.

On retrouve, à partir de 3 heures après pleine mer, une orientation générale des courants vers le Nord-Ouest (300° Nord), avec des vitesses assez importantes du jusant à la limite de la petite baie, tandis que ces vitesses sont négligeables le long du littoral Ouest.

La *figure 49* donne les détails des courants dans la petite baie (en 1975) et, notamment, à l'entrée des zones estuariennes de la Sée – Sélune et du Couesnon qui, par suite du barrage de la Caserne, voit sa fonction estuarienne très diminuée.

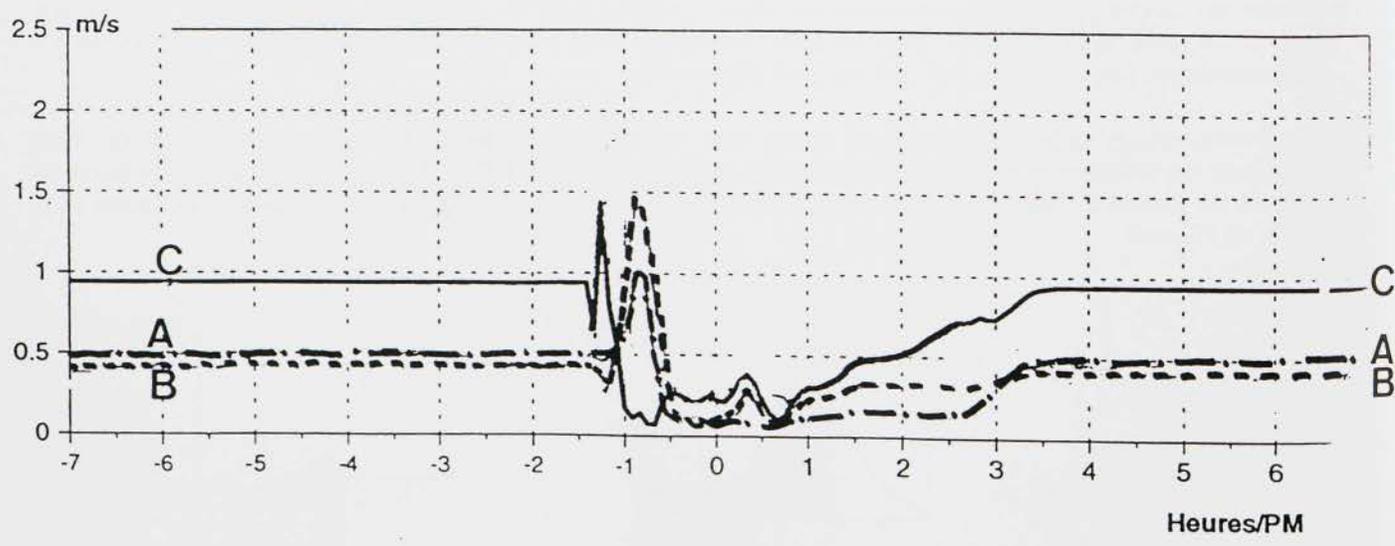
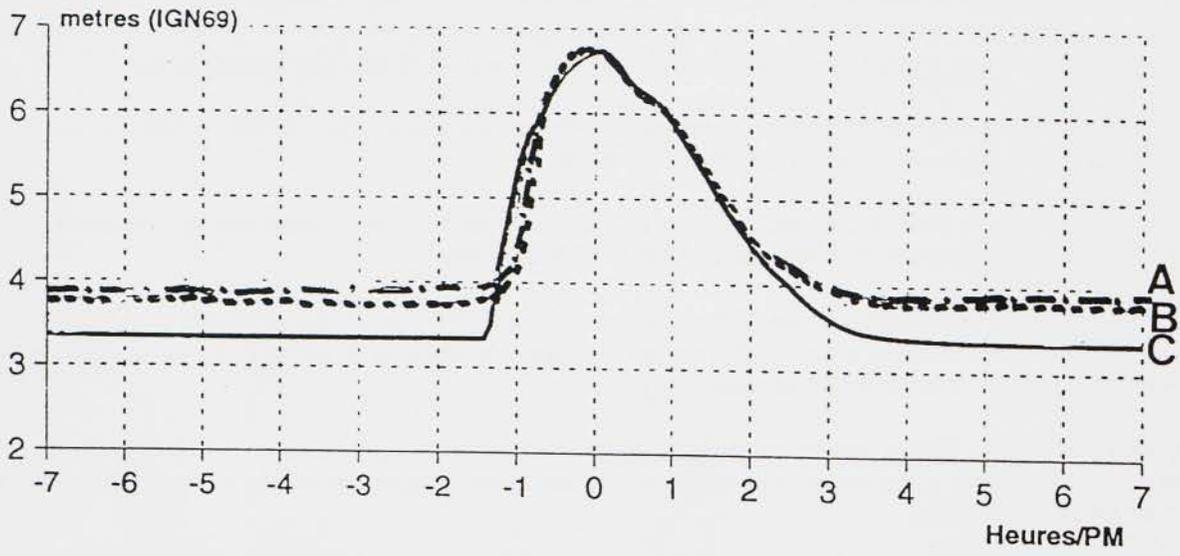
La comparaison avec les courants obtenus, dans les mêmes conditions de marées et de débits des rivières, mais avec l'état des fonds de 1997 – caractérisé par l'avancée du banc de l'Ouest vers l'Est et la déviation du chenal du Couesnon au large immédiat du Mont – montre bien la modification des courants de flot aux abords du Mont, les trajectoires passant d'une orientation Nord – Sud en 1975 (1 heure avant pleine mer) à une orientation Nord-Ouest – Sud-Est en 1997 [*Figure 50*].

De même, on constate 2 heures après pleine mer, une orientation assez différente des courants qui peut expliquer les érosions observées en nature dans cette zone entre 1975 et 1997, par suite de la déviation du chenal du Couesnon vers l'Est puis son orientation très marquée vers l'Ouest après avoir « échappé » au banc de l'Ouest.



SOGREAH
INGENIERIE

MODELE NUMERIQUE COURANTOLOGIQUE DE LA BAIE
COURBES DE MAREE DANS LE CHENAL DU COUESNON
ENTRE LE BARRAGE DE LA CASERNE ET LE MONT



Le détail des courants aux abords immédiats du Mont [Figure 51] apporte des précisions sur les courants dans le Couesnon aux abords immédiats du Mont, le flot n'apparaissant que 1,30 heure avant pleine mer au Nord-Est du Mont (le courant de jusant persistant dans le chenal du Couesnon jusqu'au Mont), puis pénétrant préférentiellement à l'Est du Mont (vers la criche Est) 1,15 heure avant pleine mer pour contourner ensuite le Mont et pénétrer dans le chenal du Couesnon à l'Ouest, avec des vitesses atteignant 1 m/s, venant attaquer la face Ouest du chenal au droit du Mont pour revenir dans le chenal entre le Mont et la Caserne en s'atténuant progressivement par suite de la fermeture du barrage au flot.

Dans ce chenal, les vitesses sont très faibles à nulles de 0,30 heure (environ) avant pleine mer à 0,30 heure après pleine mer où les courants de jusant apparaissent, mais beaucoup plus faibles à l'Ouest du Mont qu'à l'Est où la criche Est en se vidant crée des courants appréciables de 0,50 m/s. Ce phénomène s'atténue 1 heure après pleine mer et, 2 heures après pleine mer, on retrouve à la jonction entre le chenal du Couesnon et celui de la criche Est des vitesses appréciables atteignant ou dépassant 0,70 m/s, avec une orientation vers le Nord puis vers le Nord-Ouest après avoir contourné l'extrémité du banc de l'Ouest. Ce phénomène s'atténue rapidement 3 heures après pleine mer et, en fin de jusant, on ne retrouve pratiquement que les écoulements dus au débit propre du Couesnon (10 à 12 m³/s).

Cette étude à l'aide du modèle numérique a été complétée par une évaluation de la marée et des vitesses dans le chenal du Couesnon en 3 points situés respectivement à 400 m à l'aval du barrage de la Caserne (point A), à 1 km (point B) et aux abords du Mont (point C) dans l'état des fonds de 1997.

D'après cette étude, la marée commence à se faire sentir dans le chenal du Couesnon 1 heure ½ avant pleine mer, passant de +3,50 m (profondeur du chenal) à +6,70 m à pleine mer pour une marée de vives eaux moyennes et redescendant à la cote +3,50 m à 3,30 heures après pleine mer.

La pointe des vitesses de flot apparaît aux abords du Mont (point C) avec une vitesses instantanée de 1,50 m/s 1,25 heure avant pleine mer pour devenir très faible 0,9 heure avant pleine mer, le jusant apparaît entre 1 heure après pleine mer jusqu'à 3,5 heures après pleine mer ; au-delà on retrouve l'écoulement fluviale du Couesnon.

À 1 km ou à 0,4 km du barrage de la Caserne, la pointe des vitesses de flot atteint 1,50 m/s, 0,9 heure avant pleine mer avec une vitesse instantanée de 1,5 m/s à 1 m/s, puis diminue très rapidement pour tomber à moins de 0,25 m/s, 0,7 à 0,5 heure (½ heure) avant pleine mer ; les vitesses restent très faibles pendant près de 2 heures.

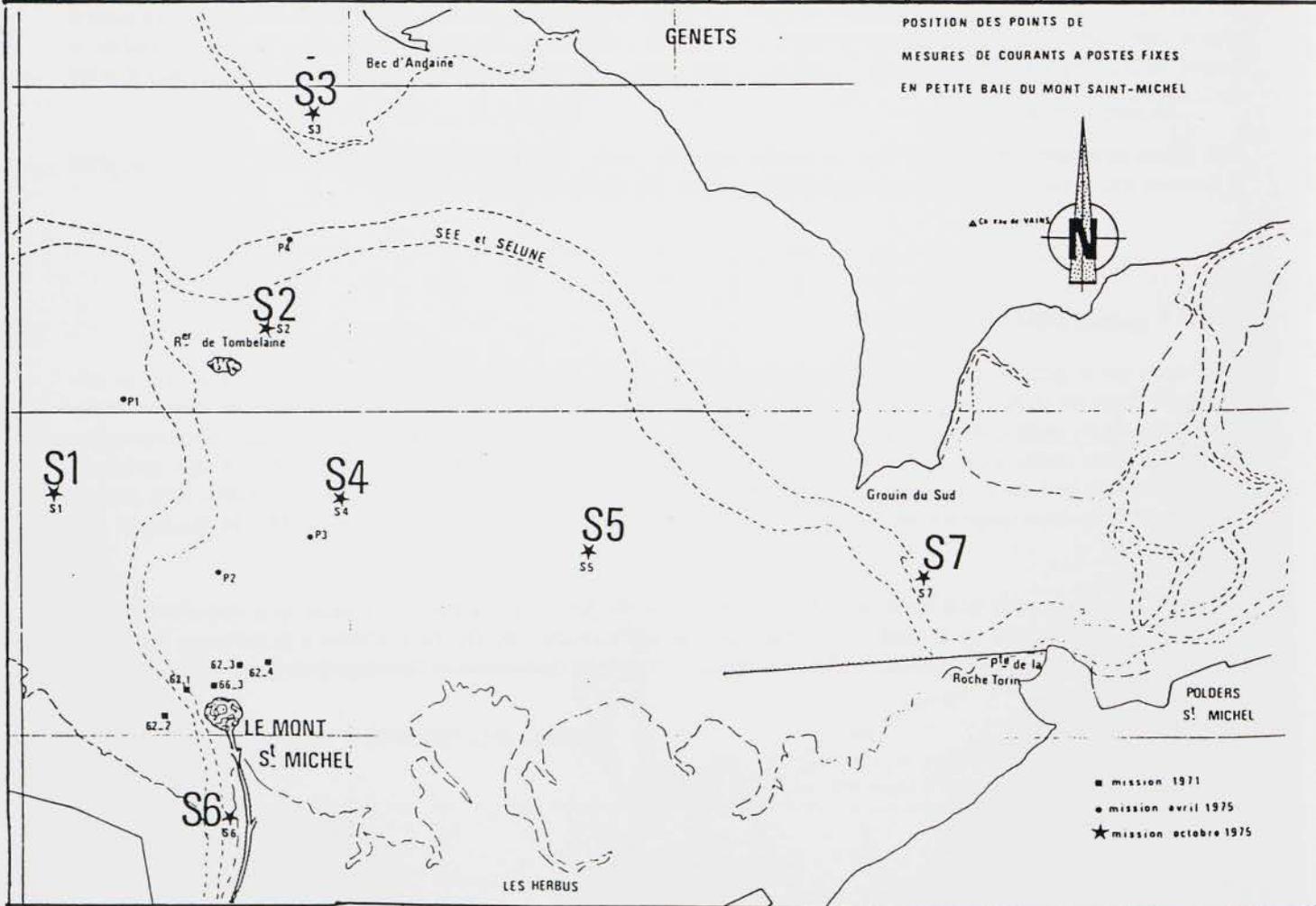
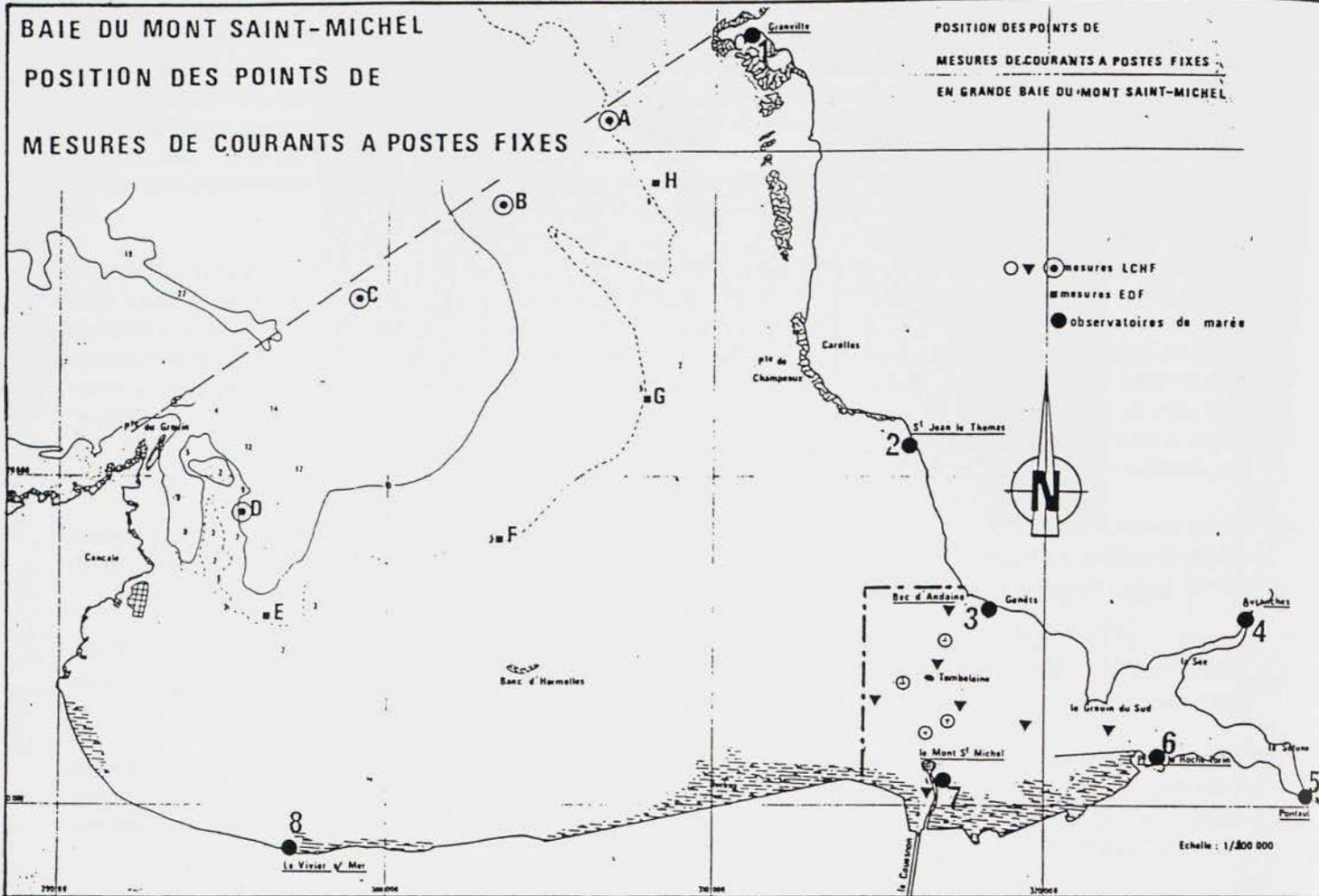
Les vitesses supérieures à 0,5 m/s ne durent, dans la partie supérieure du chenal et près du barrage, que 0,5 heure seulement lorsque le barrage est fermé par les portes à flot [Figure 52].

III.2.2.2 LES MESURES À POSTES FIXES

À l'entrée de la grande baie, les mesures L.C.H.F. à postes fixes ont porté sur 5 points répartis sur un alignement joignant la pointe du Roc de Granville à la pointe du Grouin de Cancale. Les mesures étaient faites à 3 profondeurs différentes (surface – mi-profondeur – fond) avec des coefficients de marées compris entre 84 et 103. Les mesures E.D.F. étaient faites à une profondeur constante de 2,5 m au-dessus des fonds et pour un coefficient de marée de 72 et réparties sur 3 postes situés sur un alignement sensiblement plus à l'intérieur de la baie joignant la pointe de Champeaux à un point situé au Sud immédiat de Cancale [Figure 53].

Les roses des courants obtenues ont été regroupées sur la figure 54 permettant d'avoir une vue d'ensemble des courants à l'entrée de la baie. On remarque que les courants de flot sont toujours supérieurs aux courants de jusant et que la circulation s'effectue à tous les postes dans le sens des aiguilles d'une montre.

FIGURE N°53 : POINTS DE MESURES DES COURANTS DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL
(1971 ET 1975 L.C.H.F.)



D'une façon très générale, les maxima des vitesses de flot sont observés 3 heures avant la pleine mer de Saint Malo et peuvent dépasser 1,5 m/s en vives eaux, avec des directions sensiblement perpendiculaires aux isobathes, ce qui se traduit aux abords de Cancale à l'Ouest de la baie par une direction de Nord-Nord-Est vers le Sud-Sud-Ouest, au centre de la baie par une direction Nord Ouest Sud Est en direction du Mont Saint Michel et à l'Est de la baie par une orientation sensiblement plus Est en direction de Carolles.

En jusant, dont la durée est plus grande que celle du flot et les vitesses plus faibles, le maximum des vitesses est obtenu 3 à 4 heures après la pleine mer de Saint Malo, sauf près de Cancale où ce maximum se produit 1 à 2 heures après la pleine mer.

Dans le tableau ci-après, une analyse assez schématique des courbes de courants relevées aux différents postes de mesures donne – pour chaque point – les durées du flot et du jusant et les vitesses maximales relevées.

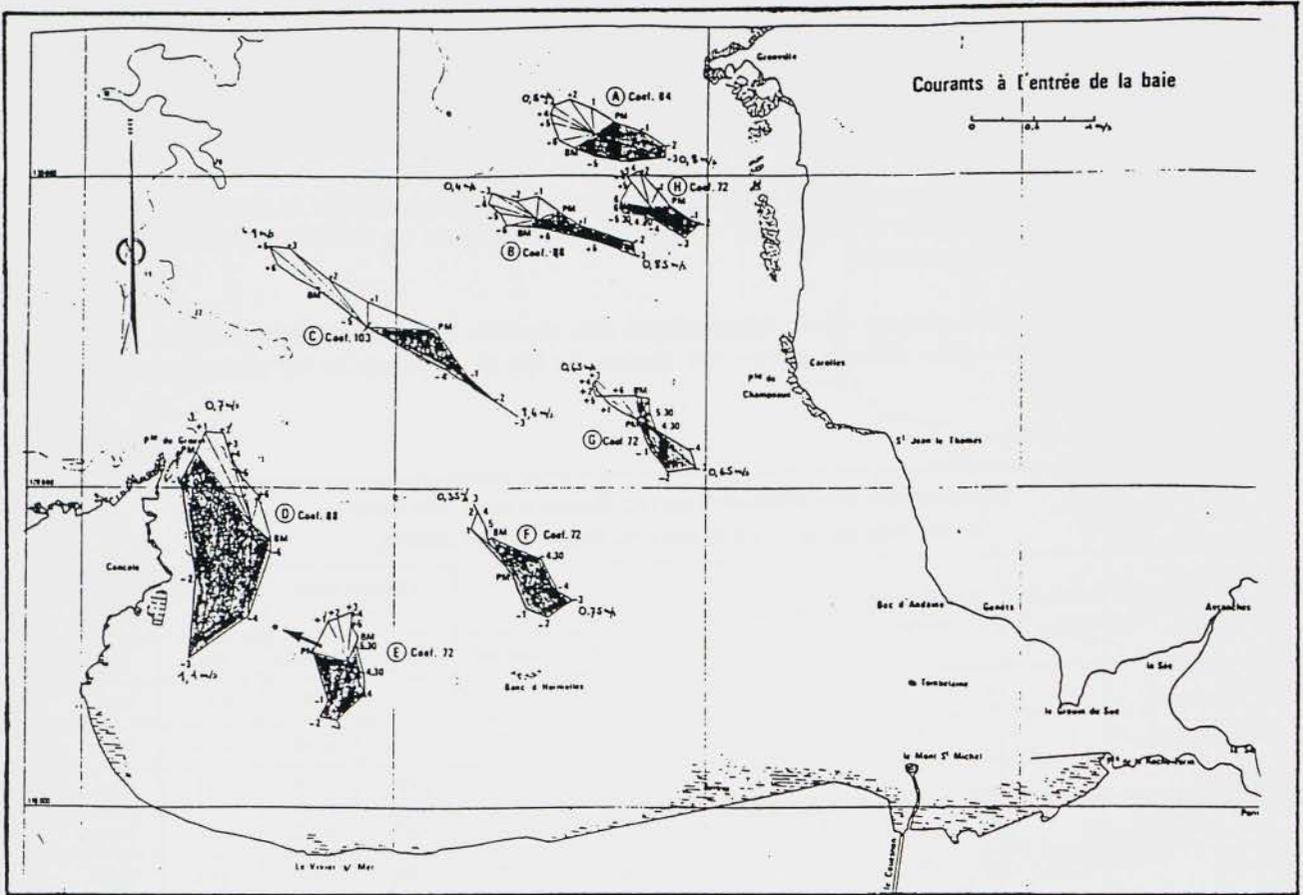
RÉPARTITION DES COURANTS ENTRE GRANVILLE ET CANCALE À L'ENTRÉE DE LA GRANDE BAIE DU MONT SAINT MICHEL									
N° poste	Distance Granville en km	Coefficient marée	Profondeur	Durée		Vitesse maxi m/s		Vitesse moyenne m/s	
				Flot	Jusant	Flot	Jusant	Flot	Jusant
A	4	84	Surf.	6,3	-	0,75	0,5	0,42	0,40
			½	6	6,2	0,70	0,48	0,45	0,35
			Fond	6,1	6,2	0,65	0,35	0,37	0,25
B	8,5	88	Surf.	5,3	7	1,05	0,70	0,60	0,44
			½	5,45	6,85	0,98	0,60	0,55	0,40
			Fond	5,75	6,55	0,95	0,50	0,50	0,27
C	14 (centre baie)	70	½	5,85	6,65	1,1	0,75	0,61	0,49
		96-103	½	5,65	6,85	1,4	0,90	0,81	0,55
		109-113	½	5,85	6,65	1,45	1,0	0,83	0,64
D	20 (pointe Cancale)	88-85	Surf.	4,5	7,85	1,15	0,85	0,64	0,59
			½	4,5	7,85	1,20	0,85	0,64	0,60
			Fond	4,35	7,95	1,10	0,70	0,56	0,49

Précisons que les mesures E.D.F. de 1953 donnent sur un alignement pointe de Champeaux – Cancale une vitesse de flot de 0,75 m/s et de 0,35 à 0,45 m/s en jusant (à 2 m du fond) pour un coefficient de marée de 72, ce qui conduirait pour un coefficient 105-110 à des vitesses de flot de 1,15 m/s qui se rapprochent des vitesses mesurées par le L.C.H.F. au centre de l'entrée de la grande baie.

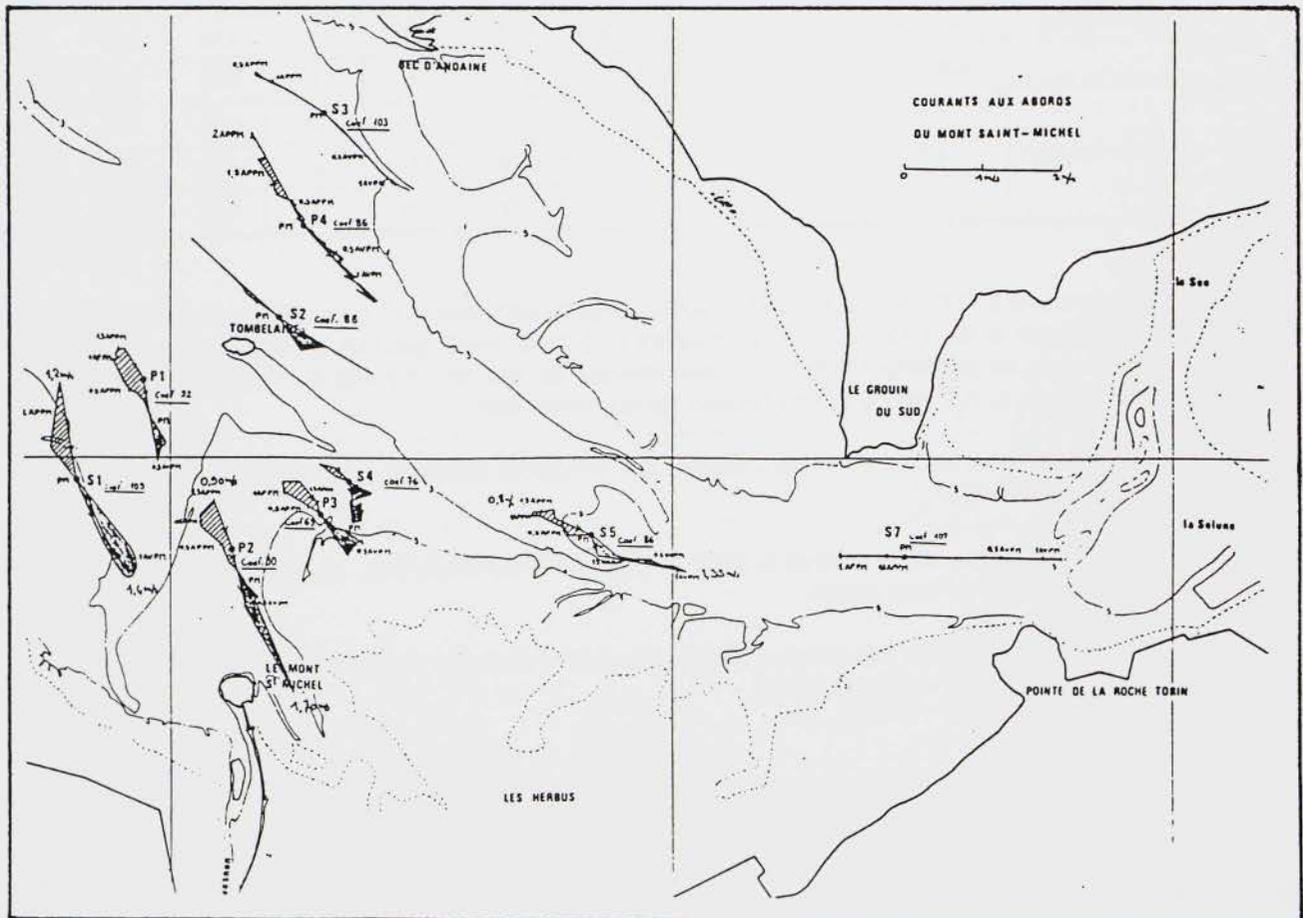
L'étude du tableau donnant les répartitions des vitesses aux différents points et aux différentes profondeurs conduit aux remarques suivantes :

- Les différences de vitesses entre le fond et la surface sont relativement faibles, les rapports étant voisins de 0,90 en flot et de 0,70 à 0,75 en jusant.
- Les vitesses de flot sont toujours supérieures à celles du jusant (1,3 fois environ) et la durée de flot plus faible que celle du jusant (1,17 fois plus faible).

FIGURE N°54 : RÉPARTITION DES ROSES DES COURANTS À L'ENTRÉE DE LA GRANDE BAIÉ



ROSE DES COURANTS À L'ENTRÉE DE LA PETITE BAIÉ



- En ramenant les valeurs des vitesses « V » à un même coefficient « C » 100 par une expression de la forme :

$$\frac{V1}{V2} = 0,87 \frac{C1}{C2}$$

qui tient compte des différentes mesures effectuées, on aurait pour la moyenne des vitesses de flot et de jusant (moyenne sur la verticale et sur la durée d'un flot et d'un jusant, les répartitions suivantes :

VITESSES MOYENNES POUR UNE MARÉE DE COEFFICIENT 100					
Postes	A		B	C	D
	Est baie			Centre baie	Ouest baie
Flot	0,43		0,55	0,75	0,62
Jusant.....	0,35		0,36	0,55	0,56

En tenant compte de ces vitesses moyennes, des durées respectives du flot et du jusant et des profondeurs moyennes en chaque poste de mesure, on arrive à la répartition suivante des volumes d'eau qui entrent et sortent de la grande baie à chaque marée de coefficient 100 :

VOLUMES D'EAU PÉNÉTRANT ET SORTANT DANS LA GRANDE BAIE AU COURS DU FLOT ET DU JUSANT – MARÉE DE COEFFICIENT 100							
Postes		Pointe Granville	A	B	C	D	Pointe Cancale
Distances en km		4	4	6	6		2
V 10 ⁶ m ³	Flot	390	530	1.490	1.540		290
	Jusant	330	435	1.250	1.690		530

Au total, il pénétrerait en flot et sortirait en jusant et par marée de vive eau (coefficient 100), 4,2 milliards de m³ d'eau, le calcul donnant les mêmes valeurs en flot et en jusant, mais avec une répartition sensiblement différente qui montrerait que les débits de jusant sont plus importants dans l'Ouest de la baie – près de la pointe de Cancale – et ceux de flot légèrement supérieurs au centre de la baie et à l'Est, les écarts restent faibles.

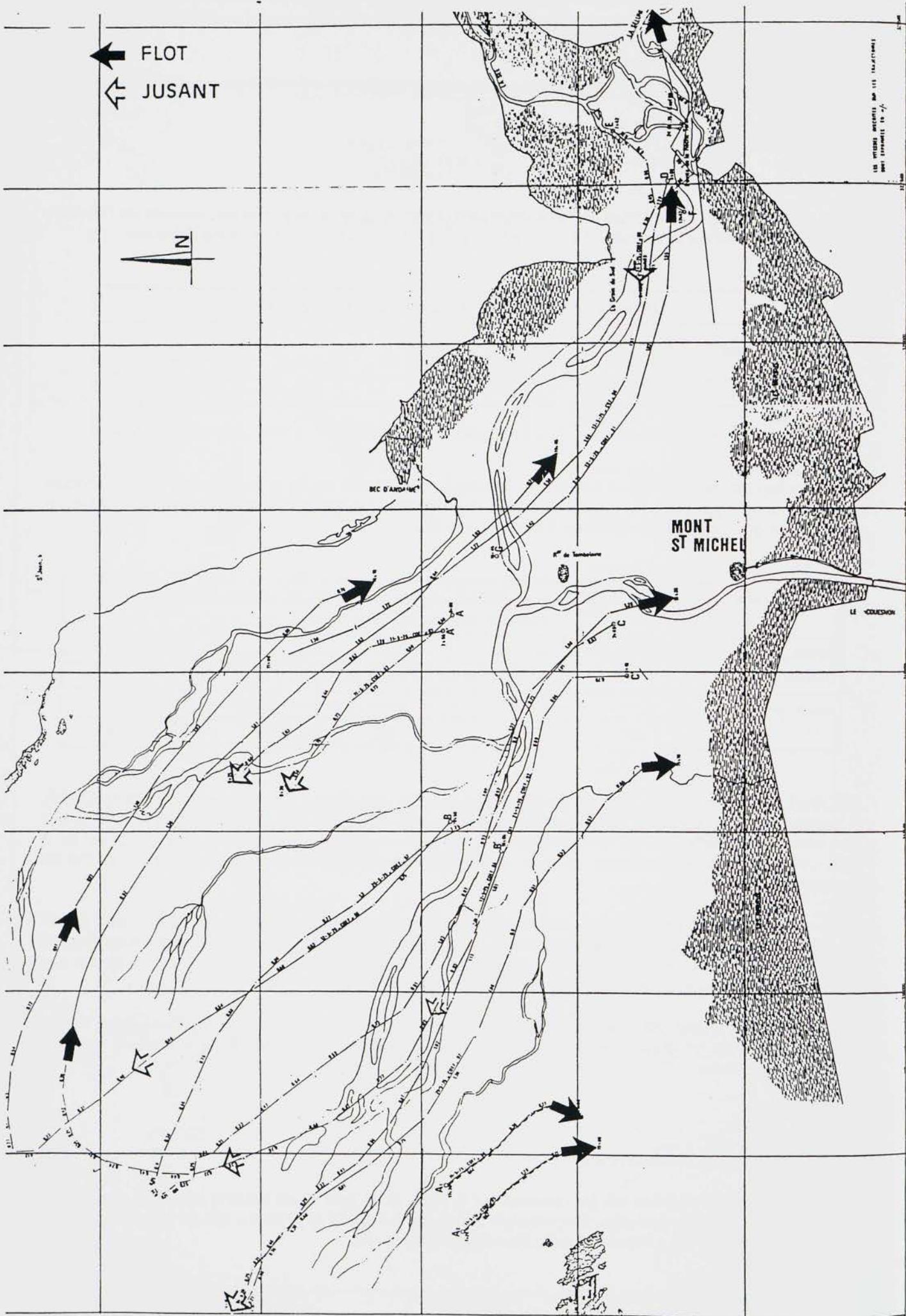
En évaluant la capacité d'accumulation des eaux marines dans cette grande baie de 500 km² dont 250 km² en partie découverte (estran), on arriverait à des valeurs analogues, une marée de 11 m d'amplitude (coefficient 100) introduit sur les 250 km² d'estran un volume de 1,375.10⁹ m³ et de 2,75.10⁹ m³ sur les parties profondes non découvertes, soit un total de capacité de 4,12 milliards de m³.

Au cours d'une année (705 marées), il pénétrerait et sortirait de la grande baie du Mont Saint Michel 1.800 milliards de m³ d'eau, soit deux fois plus que pour l'estuaire de la Gironde et 9 fois plus que pour l'estuaire de la Seine.

III.2.2.2.3 LES TRAJECTOIRES DES COURANTS

Les trajectoires des courants ont été réalisées sur la partie de la baie située entre la pointe de Champeaux (Carolles) au large et le fond de la baie s'étalant depuis l'embouchure de la Sée – Sélune jusqu'au banc des Hermelles situé à 11 km à l'Ouest du Mont Saint Michel [Figure 55].

FIGURE N°55 : TRAJECTOIRE DES COURANTS DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL



LES VIGNES DÉLIMITÉES SUR LES CARTES MARITIMES SONT DÉSIGNÉES EN "/>

Les mesures ont été faites en Mai 1975 pour des coefficients de marée compris entre 81 et 92, c'est-à-dire pour des vives eaux moyennes.

En jusant, les flotteurs lancés 1 heure après la pleine mer de Saint Malo au débouché de la Sée et Sélune, passent au Nord de Tombelaine, à mi-distance entre Tombelaine et le bec d'Andaine, et accusent des vitesses variant entre 1,40 et 1,75 m/s.

Les flotteurs lancés à Tombelaine, 1 heure après la pleine mer, s'orientent vers le Nord-Ouest mais avec des vitesses plus faibles variant entre 0,70 et 1 m/s.

Ceux issus des abords du Mont Saint Michel et légèrement à l'Ouest, toujours 1 heure après la pleine mer, se sont, à cette époque, dirigés vers l'Ouest – Nord-Ouest avec des vitesses ne dépassant pas 1,2 m/s et étant en moyenne de 0,7 à 0,8 m/s pour s'arrêter après 6 heures à 7,5 km environ dans l'Ouest de la pointe de Champeaux. Après inversion des courants, certains de ces flotteurs seront ramenés vers le Mont en flot, tandis que d'autres seront déviés par l'Est puis ramenés dans la petite baie pour passer entre Tombelaine et le bec d'Andaine.

En flot, les flotteurs lancés au large, à 8 km au Sud-Ouest de la pointe de Champeaux, reviennent vers le Mont Saint Michel et atterrissent à 2 km à l'Ouest du Mont dans la zone des polders. Ceux lancés au large à 6 km au Sud-Ouest de la pointe de Champeaux arrivent sur le Mont et dans le Couesnon, tandis que ceux provenant d'un point situé à 4 km de Champeaux s'orientent vers l'Est et passent entre Tombelaine et le bec d'Andaine pour s'engouffrer dans l'embouchure de la Sée – Sélune avec des vitesses pouvant atteindre 2 m/s.

Dans l'état des fonds de 1975, on pouvait estimer, tant en jusant qu'en flot, que les masses d'eau qui passent à l'Est de Tombelaine alimentaient la zone estuarienne de la Sée et de la Sélune. Le Mont Saint Michel proprement dit, et ses abords immédiats, étaient tributaires des masses d'eau situées à l'Ouest d'un alignement Sud-Est – Nord-Ouest passant par Tombelaine.

III.2.2.3. LES COURANTS DE MARÉES DANS LA PETITE BAIE ET AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL

La petite baie du Mont Saint Michel, à caractère estuarien, est délimitée comme il a été dit par un arc de cercle passant à 3 km environ au large de Tombelaine et venant s'appuyer à l'Est sur le bec d'Andaine. Sa superficie ne représente que le septième de celle de la grande baie, soit environ 70 km².

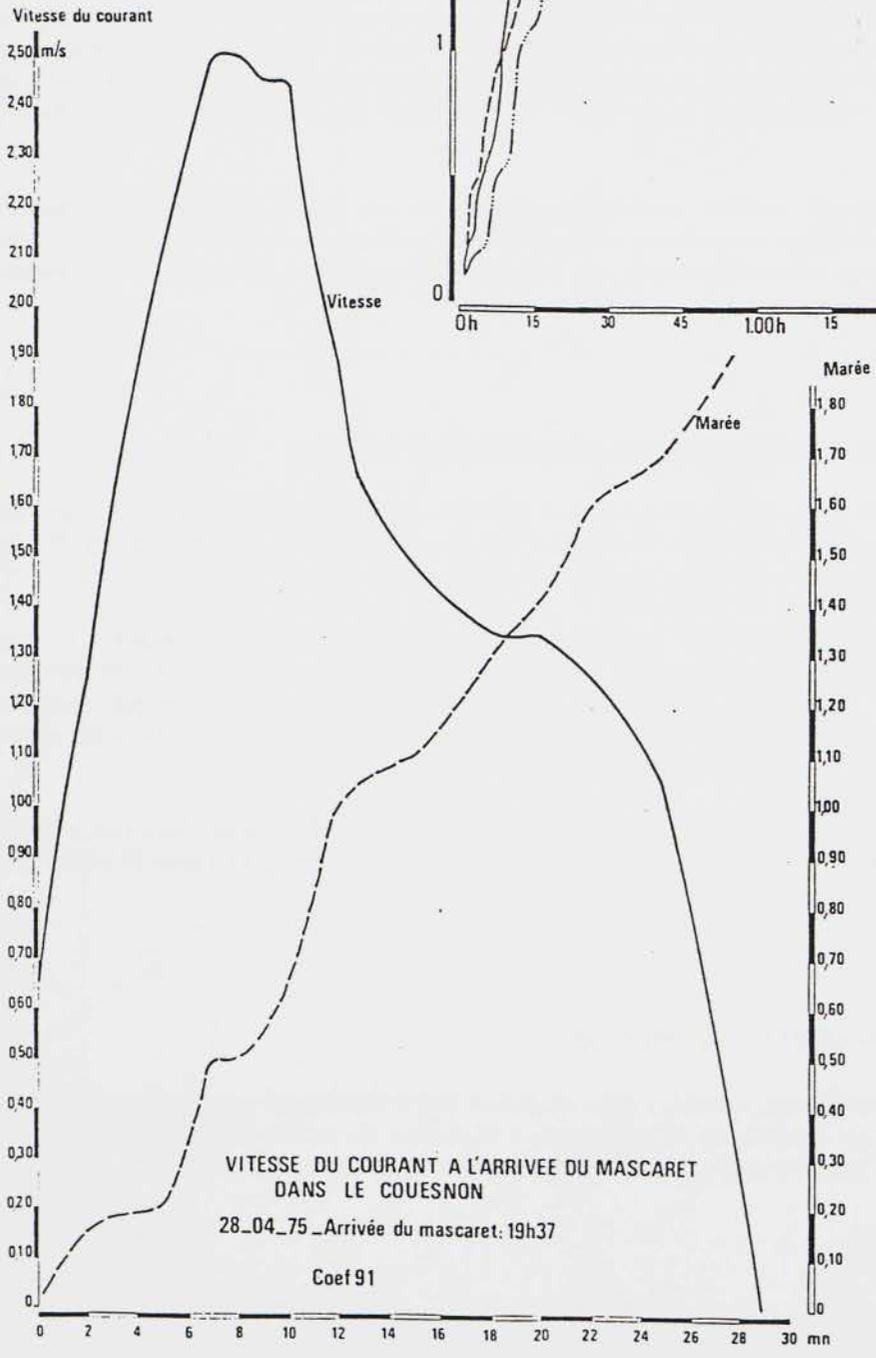
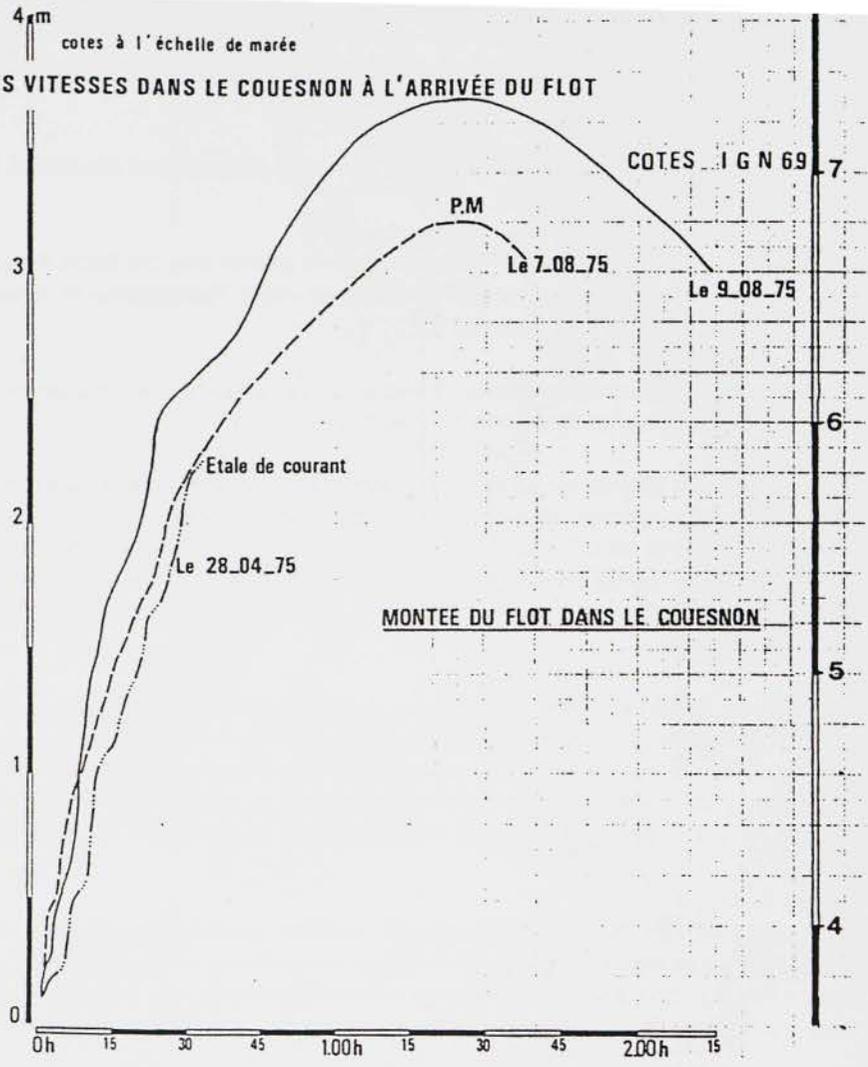
Les mesures à postes fixes ont été réalisées en 7 points à l'aide de courantographes MECABOLIER, suspendus à des potences, situés à 0,40 m au-dessus des fonds et répartis, d'une part sur un alignement issu du bec d'Andaine et passant par Tombelaine (postes S1 – S2 – S3) et sur une radiale passant entre le Grouin du Sud et la pointe Roche Torin et entre le Mont Saint Michel et Tombelaine (postes S4 – S5 – S7), un point singulier étant mesuré dans le Couesnon entre le barrage et le Mont (poste S6).

Par ailleurs, différentes mesures de courants étaient réalisées tout autour du Mont Saint Michel et en 5 points à l'aide de courantomètres, portant à 12 points les mesures à postes fixes des courants dans la petite baie du Mont Saint Michel [24.a.b.].

III.2.2.3.1 RÉPARTITION DES COURANTS À L'ENTRÉE DE LA PETITE BAIE

Les courants de flot qui pénètrent dans la petite baie du Mont Saint Michel ne peuvent se produire, compte tenu des profondeurs, qu'à partir de la mi-marée, c'est-à-dire au moment où la vitesse ascensionnelle de l'eau est maximale et atteint près de 1 m en 15 minutes en marée de vives eaux.

FIGURE N°56 : RÉPARTITION DES VITESSES DANS LE COUESNON À L'ARRIVÉE DU FLOT



La durée du flot ne peut dépasser 2 heures ½ à 3 heures environ, cette durée se réduisant à moins d'une heure lorsque l'on arrive en fond de baie dans la Sée et la Sélune ou entre le Mont Saint Michel et le barrage du Couesnon.

Les courants engainent tout d'abord les dépressions, puis s'étalent progressivement sur les bancs limitrophes et remontent vers le fond de la baie avec des vitesses très importantes pouvant atteindre ou dépasser 2 m/s.

Cette propagation peut se faire – notamment au Nord de Tombelaine – sous l'aspect d'une lame d'eau de 0,20 m d'épaisseur qui s'amplifie au fur et à mesure de sa progression pour devenir une grosse vague ou « barre » de 0,50 à 0,70 m d'épaisseur qui remonte rapidement le lit des rivières, formant au moment des vives eaux un mascaret.

Le jusant se produit après l'étalement de pleine mer, qui peut être décalée de 15 à 20 mn au fond de la baie par rapport à Granville, mais avec un abaissement du niveau des eaux beaucoup plus lent atteignant, par exemple à Pontaubault et en marée de vive eau, 1 m la première heure et plus de 1 heure ½ pour le mètre suivant, la diminution des hauteurs étant ensuite très lente, voire inexistante. Au Mont Saint Michel et à Tombelaine, on a mesuré, après la pleine mer, un abaissement du niveau de 2,60 m en 2 heures environ, suivi par une lente évolution sur plus de 5 heures pendant lesquelles les eaux ne s'écoulent que dans le lit des chenaux avec drainage très lent des estrans limitrophes. Au total, la durée du jusant, c'est-à-dire du vidage de la petite baie, peut dépasser 9 heures.

Remplissage rapide sur l'ensemble des fonds en flot avec des violents courants, vidage plus lent en jusant en empruntant préférentiellement les chenaux issus des rivières ou formés par le drainage des fonds latéraux, est donc une des caractéristiques de la petite baie du Mont Saint Michel que les roses des courants relevées en 1971 et 1975 illustrent [Figure 54].

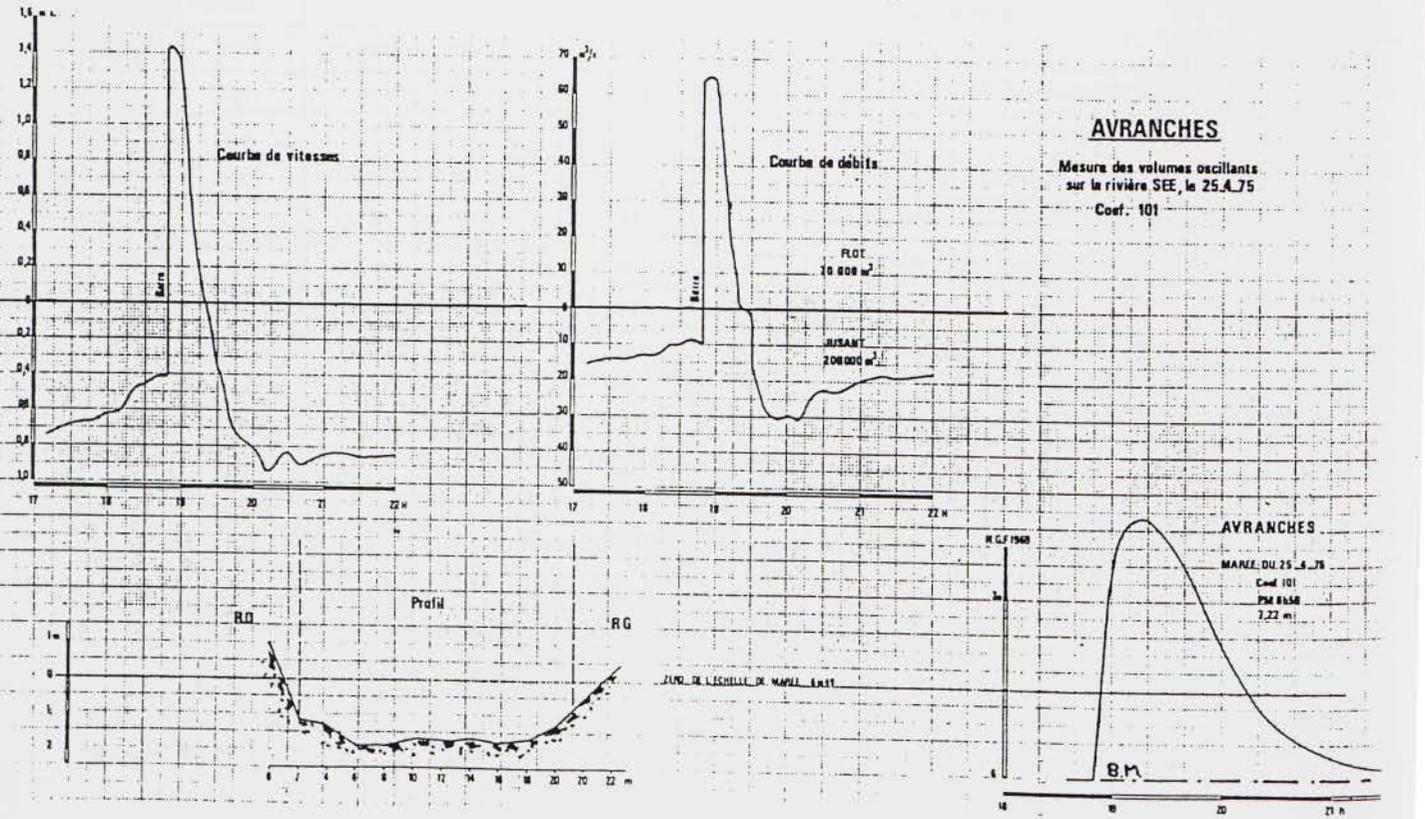
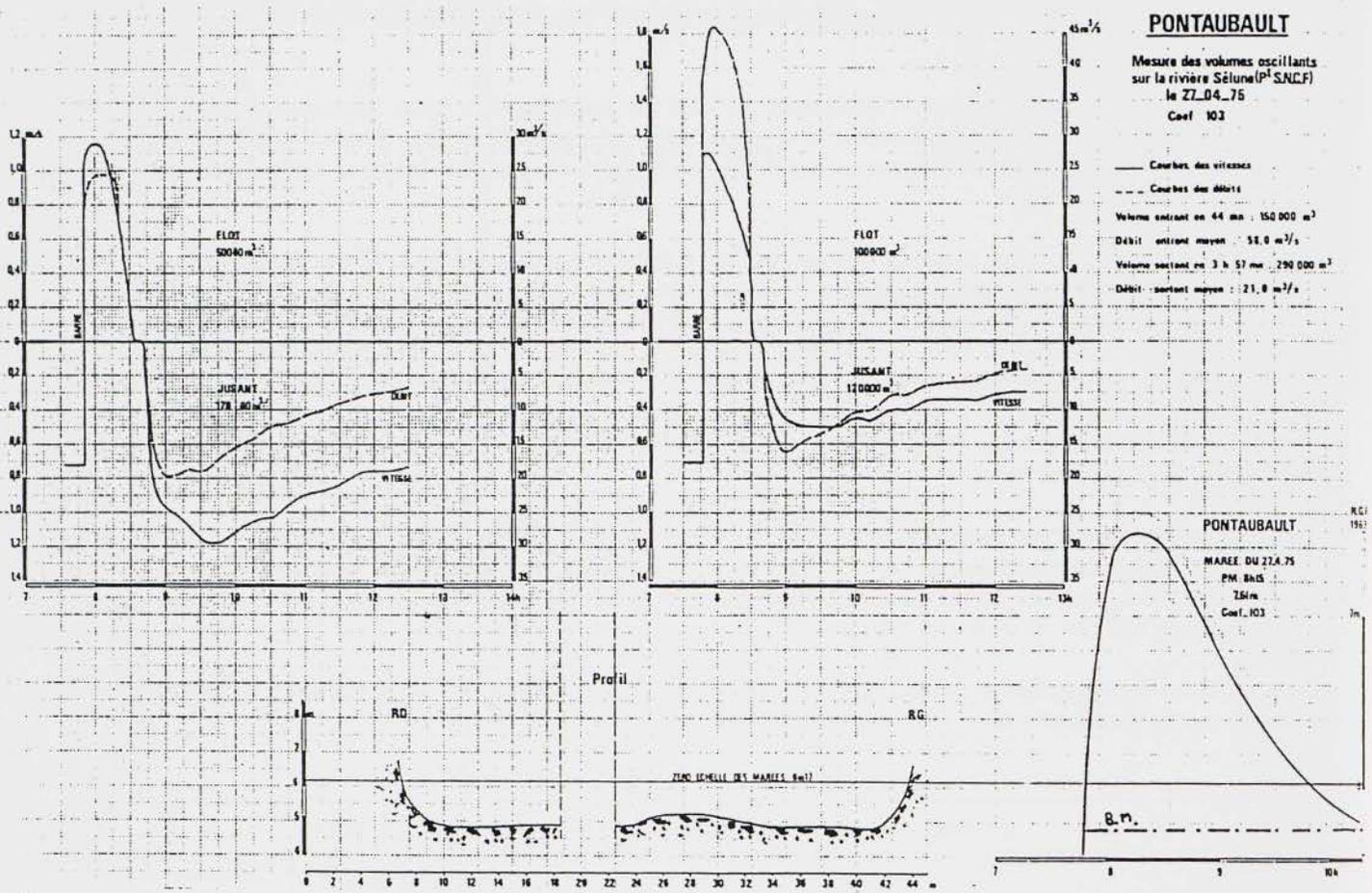
Le tableau ci-après donne un aperçu des vitesses maximales (moyenne sur la hauteur) mesurées en différents points de la petite baie, ainsi que de leur direction.

VITESSES MAXIMALES EN M/S ET DIRECTIONS MOYENNES EN DEGRÉS						
Poste	Emplacement	Coef. marée	Vitesse en m/s		Directions moyennes en degrés	
			Flot	Jusant	Flot	Jusant
S1	1.600 m Sud-Ouest Tombelaine	88	2,0	1,5	150	350
S2	375 m Nord-Est Tombelaine	88	1,6	1,5	120	310
S3	875 m Sud-Ouest bec d'Andaine	88	1,35	0,90	135	300
S4	Entre Mont Saint Michel et Tombelaine	69	0,30	0,20	160	295
S5	Entre Tombelaine et pointe Roche Torin	86	1,35	0,8	100	295
S6	Chenal Couesnon – Mont Saint Michel – Caserne	91	2,5	-	180	360
S7	Entre Grouin Sud et Roche Torin	107	2,0	0,4	90	270
P1	750 m Sud-Ouest Tombelaine	92	1,16	0,47	160	305
P2	1.100 m Nord Mont Saint Michel	90	2,15	0,80	155	310
P3	1.500 m Nord – Nord-Est Mont Saint Michel	78	0,95	0,50	130	305
P4	Entre bec d'Andaine et Tombelaine	86	2,1	1,4	135	325

Tous postes confondus, on constate, qu'en moyenne, les vitesses maximales des courants de flot sont 2 fois plus importantes que celles de jusant, mais inversement leur durée d'action est 2 à 3 fois plus petite.

En exploitant ces différentes mesures, Pierre DOULCIER [18] a évalué les volumes d'eau qui pénètrent et sortent de la petite baie du Mont Saint Michel au cours d'une marée de vive eau moyenne de coefficient 88.

FIGURE N°57 : VITESSES ET VOLUMES OSCILLANT DANS LA SÉE ET LA SÉLUNE



VOLUMES ENTRANT ET SORTANT DE LA PETITE BAIE EN MILLIONS DE M³ (MARÉE DE VIVES EAUX MOYENNES, COEFFICIENT 88)				
Sections	Nord – Abords bec d'Andaine	Centre – Fonds de +1,5 m	Sud – Fonds de +2 à +8 m	Total
Largeur (m)	1.125	2.875	3.250	7.250
Flot	12,7	64,3	19	96
Jusant	6,3	78	12,9	97,2

Ces volumes oscillants calculés à partir des mesures des vitesses recouperont ceux qui avaient pu être évalués à partir des capacités d'emmagasinement de la petite baie (voir chapitre I).

Au total, en vive eau moyenne, près de 100 millions de m³ d'eau entrent et sortent de la petite baie alors qu'il peut pénétrer et sortir 4 milliards de m³ d'eau dans la grande baie, soit 40 fois plus ; valeurs qui permettent de mieux situer l'importance relative de ces deux zones l'une par rapport à l'autre.

III.2.2.3.2 RÉPARTITION DES COURANTS AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL

La répartition des courants aux abords immédiats du Mont Saint Michel dépend en partie de la position du chenal du Couesnon et peut donc subir des variations appréciables suivant la morphologie des fonds.

Les mesures exploitées ont été réalisées en 1971 dans un périmètre de 250 à 300 m autour du Mont et des mesures complémentaires ont été réalisées dans le Couesnon entre le Mont Saint Michel et le barrage de la Caserne en 1975, puis par la Société RIVAGES en 1996.

Dans le Couesnon, la montée du flot est très brutale, la surélévation du niveau de l'eau atteignant 3 m en 45 minutes en vive eau (le 09/08/1975), l'étalement étant atteint 1 heure ½ après l'arrivée du flot.

Cette montée brutale du flot produit **un véritable mascaret avec des vitesses instantanées qui passent de 0 m/s à 2,5 m/s en 8 à 10 minutes et redescendent très rapidement pour tomber à 1,5 m/s 15 minutes après l'arrivée du flot et s'annuler après 30 minutes** avec une réflexion de l'onde marée sur le barrage [Figure 56].

À l'Ouest du Mont et à 400 m environ, les courants de flot atteignent – pour une marée de 80 – une vitesse de 2 m/s et s'orientent au début du flot vers l'Est – Nord-Est – c'est-à-dire vers le Mont pour rapidement s'incliner vers l'Est – Sud-Est pour pénétrer dans le Couesnon.

À 300 m au Nord-Ouest du Mont – pratiquement dans le chenal du Couesnon de l'époque – le flot s'oriente vers le Mont et l'entrée du Couesnon avec une vitesse de 1 m/s (coefficient 73), tandis que le jusant part vers le Nord avec une vitesse de 0,30 à 0,40 m/s 1 heure à 1 heure ½ après la pleine mer.

Au pied du Mont et à 100 m au Nord, les courants de flot atteignent 1,30 à 1,50 m/s, mais sont orientés vers le Sud-Est avec une tendance à contourner le Mont vers l'Est, tandis que plus au large, à 300 m du Mont, ils sont orientés vers le Sud avec une vitesse de 1,10 m/s (coefficient 82), le jusant s'orientant vers le Nord quart Nord-Est avec une vitesse de 0,45 m/s.

À 500 m vers le Nord-Est du Mont, on retrouve un flot orienté entre le Sud quart Sud-Est avec une vitesse de 0,80 m/s (coefficient 82) et un jusant orienté vers le Nord avec une vitesse de 0,45 m/s.

Dans tous les cas, si les courants près du Mont restent violents en flot (supérieurs à 1 m/s et atteignant 2,6 m/s dans le Couesnon), ils ne se font sentir que sur une période très courte (en général inférieure à 1 heure, voire ½ heure) et les courants de jusant ou de vidage restent faibles et inférieurs à 0,50 m/s en marée de vive eau moyenne.

Bien que non mesuré en nature, il est possible qu'en fin de flot un courant contourne le Mont en se dirigeant vers l'Est. Ce phénomène peut être dû à la surcote qui pouvait se produire en flot, en 1975, à l'Ouest du Mont après remplissage du Couesnon, réflexion de l'onde marée sur le barrage et déversement d'une partie des eaux un peu avant la pleine mer vers l'Est en passant au pied du Mont et au large.

Un tel phénomène avait été observé sur le « modèle pilote » ½ heure avant la pleine mer, une partie de ces courants pénétrant dans la « criche Est » ce qui pourrait expliquer sa stabilité relative d'autant plus qu'en vidage cette même criche pouvait être, lorsque le grand banc était moins développé (avant 1959), soumise à des courants de jusant appréciables.

Les mesures faites en 1996 [43] ont été réalisées plus spécialement dans le chenal du Couesnon à des distances en aval du barrage de la Caserne de 200 m, 350 m, 850 m, 1.875 m (droit du parking Ouest du Mont), 3.200 m (100 m au Nord-Est du Mont) et 4.200 m (1.000 m au Nord-Est du Mont). Certaines mesures ont été réalisées en amont du barrage à 250 m, 1.150 m et 1.650 m avec une ou deux portes à flot du barrage ouvertes.

Avec les portes à flot du barrage en fonctionnement, empêchant la marée de pénétrer dans le Couesnon, les mesures ont été réalisées pour différents coefficients compris entre 65 et 93, mais ne sont pas simultanées, ce qui rend difficile leur exploitation qui ne prend pas toujours en compte le début du flot (mascaret) particulièrement violent. La pleine mer prise comme référence est celle de Saint-Malo, la pleine mer locale étant souvent en retard de 10 à 15 minutes par rapport à Saint-Malo.

VITESSES MAXIMALES MESURÉES – PORTES À FLOT EN FONCTIONNEMENT – DISTANCES EN AVAL DU BARRAGE									
Points de mesures	200 m		350 m	850 m	1.850 m		100 m Nord- Est du Mont	1.000 m Nord-Est du Port	
Coefficient de marée	93	73	83	71	83	71	65	88	65
Vitesse maxi (m/s)	0,40	0,30	0,70	0,90	2,12	1,5	0,6	2,1	1,0
Heure par rapport à pleine mer (en mn)	+2	-31	-30	-10	-50	-22	-30	+2	-43

Lorsqu'elle a pu être mesurée, la durée du flot est de 30 minutes environ et se produit, lorsque le barrage est fermé, 30 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo, soit 40 à 45 minutes avant la pleine mer locale.

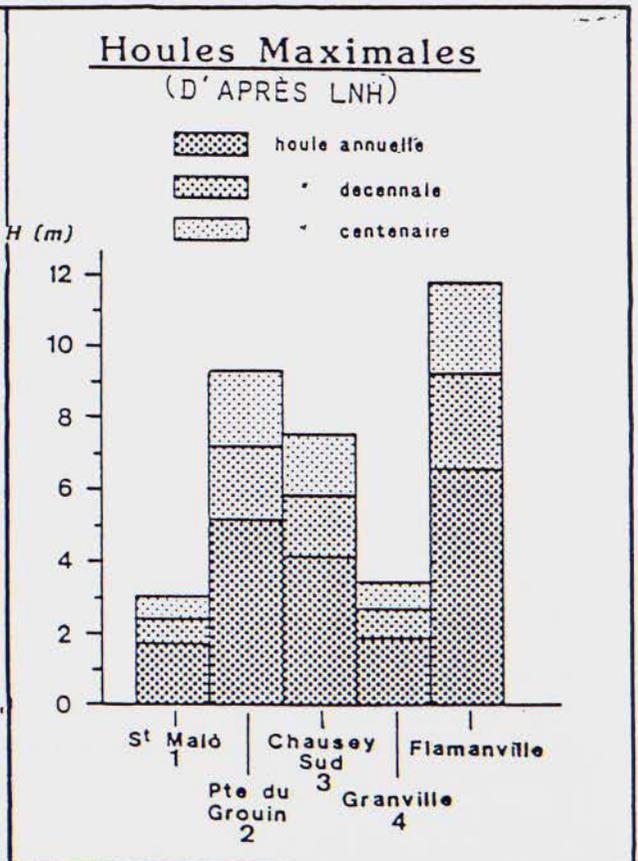
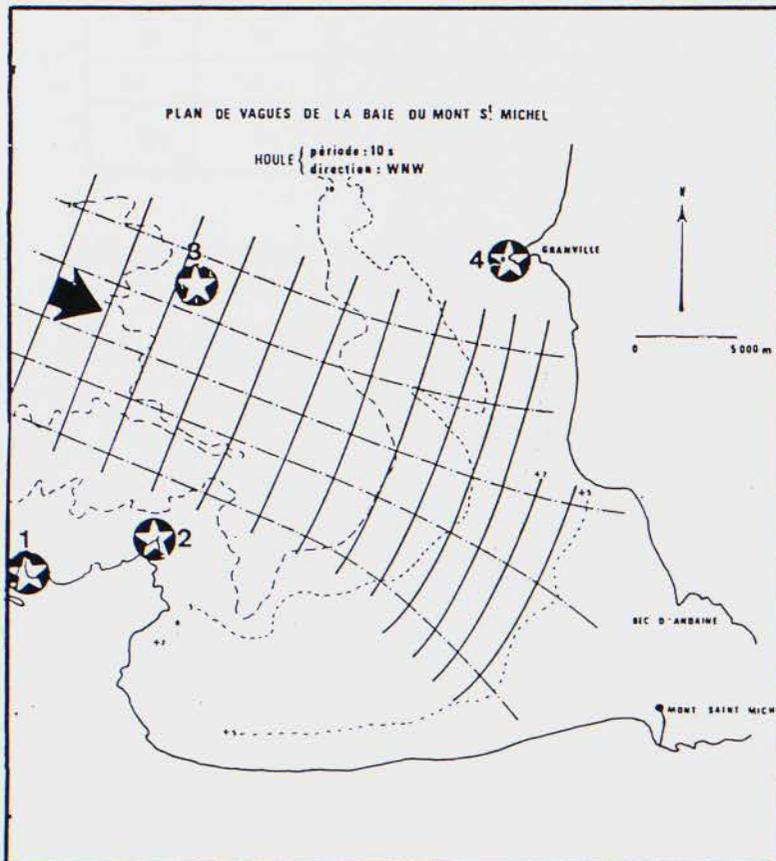
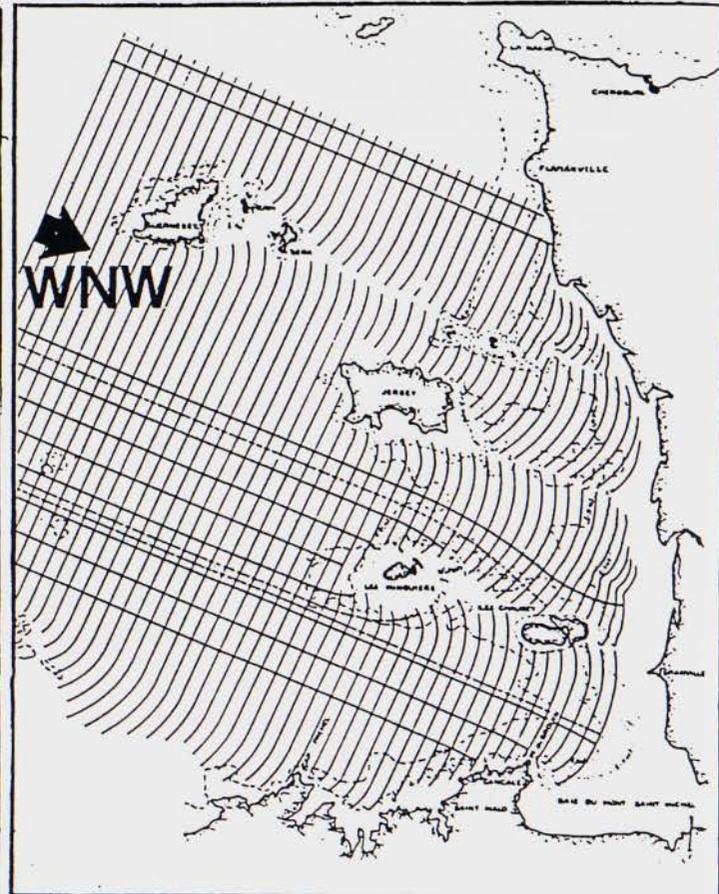
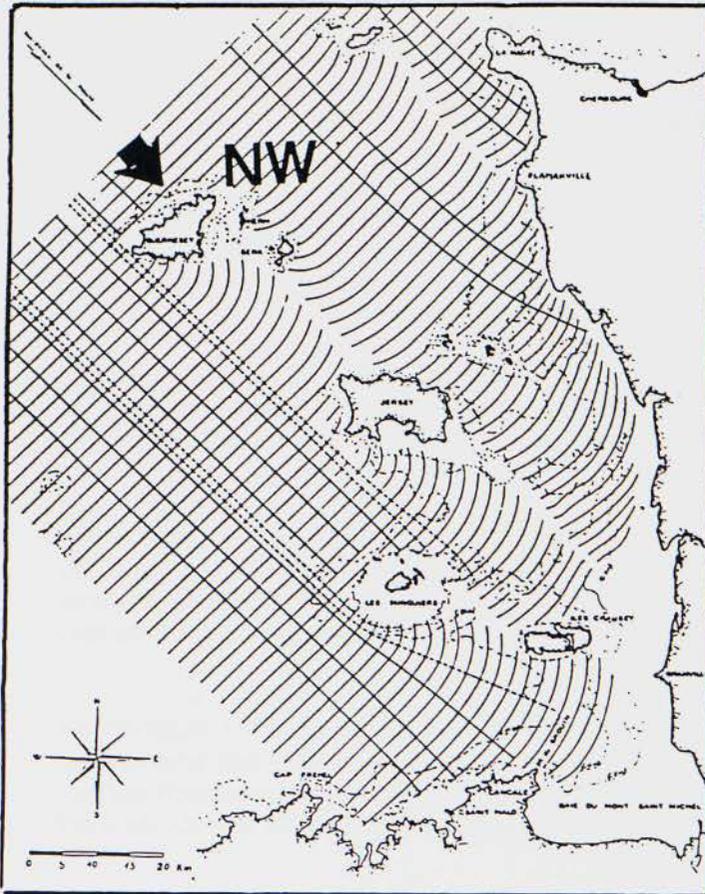
Les mesures faites avec une ou deux portes à flot ouvertes seront développées dans le chapitre relatif aux mouvements sédimentaires possibles dans le Couesnon avec pénétration de la marée.

III.2.2.3.3 RÉPARTITION DES COURANTS DANS LES RMÈRES

Dans la Sélune, la marée peut remonter jusqu'au barrage de la « Roche qui boit » situé à une quinzaine de kilomètres de l'embouchure.

En vive eau, on retrouve à Pontaubault des vitesses atteignant 1 m/s en flot dont la durée ne dépasse pas 1 heure, tandis que les vitesses de jusant – renforcées par le débit propre de la rivière – présentent une pointe ½ heure après la renverse, avec des vitesses de 1 m/s, mais diminuant ensuite progressivement sur plus de 5 heures [Figure 57].

FIGURE N°58 : LES HOULES AU LARGE ET À L'ENTRÉE DE LA GRANDE BAYE



Le même phénomène est obtenu sur la Sée à Avranches, mais avec une pointe de vitesse de flot atteignant 1,40 m/s et un jusant ne dépassant pas 0,80 m/s.

Le tableau ci-après donne, pour une marée de vive eau, les volumes d'eau entrant (en moins d'une heure) et sortant (en plus de 4 heures) ainsi que les débits moyens entrant et sortant de ces rivières, la différence des volumes correspond aux apports propres des rivières.

VOLUMES OSCILLANTS DANS LA SÉE ET LA SÉLUNE EN VIVE EAU						
Rivières	Flot			Jusant		
	Durée	Volumes entrant en m ³	Débit moyen en m ³ /s	Durée	Volumes sortant en m ³	Débit moyen en m ³ /s
Sélune – Pontaubault	45 mn	150.000 à 240.000	58 à 77	4 h	290.000	21 à 27
Sée – Avranches	30 mn	70.000 à 115.000	33 à 47	4 h	200.000 à 250.000	23 à 34

Ces volumes oscillants qui, en regroupant les deux rivières Sée et Sélune, atteindraient au maximum 300.000 m³ à 400.000 m³, ne représentent qu'une fraction infime des volumes qui pénètrent et sortent de la petite baie, environ 4/1.000^{ème} de ces volumes.

Par contre, les apports d'eau douce en crue, pendant toute la durée d'une marée, sont loin d'être négligeables et peuvent représenter, comme nous le verrons dans le paragraphe d'hydrologie, près de 10 % du volume d'eau sortant au cours du jusant dans la totalité de la petite baie.

Les courants et les volumes d'eau oscillant dans le Couesnon, en amont du barrage (actuellement en fonctionnement avec des portes à flot), seront développés dans un paragraphe spécial traitant les risques d'envasement du Couesnon après aménagement.

III.2.3. Les houles et clapots

Compte tenu de la morphologie des fonds, les « houles » ne peuvent pénétrer dans la petite baie et atteindre le Mont Saint Michel qu'au moment des pleines mers et après avoir subi un amortissement important par frottement sur les fonds, ce qui en réduit leur action mais ne les supprime pas totalement [Figure 58].

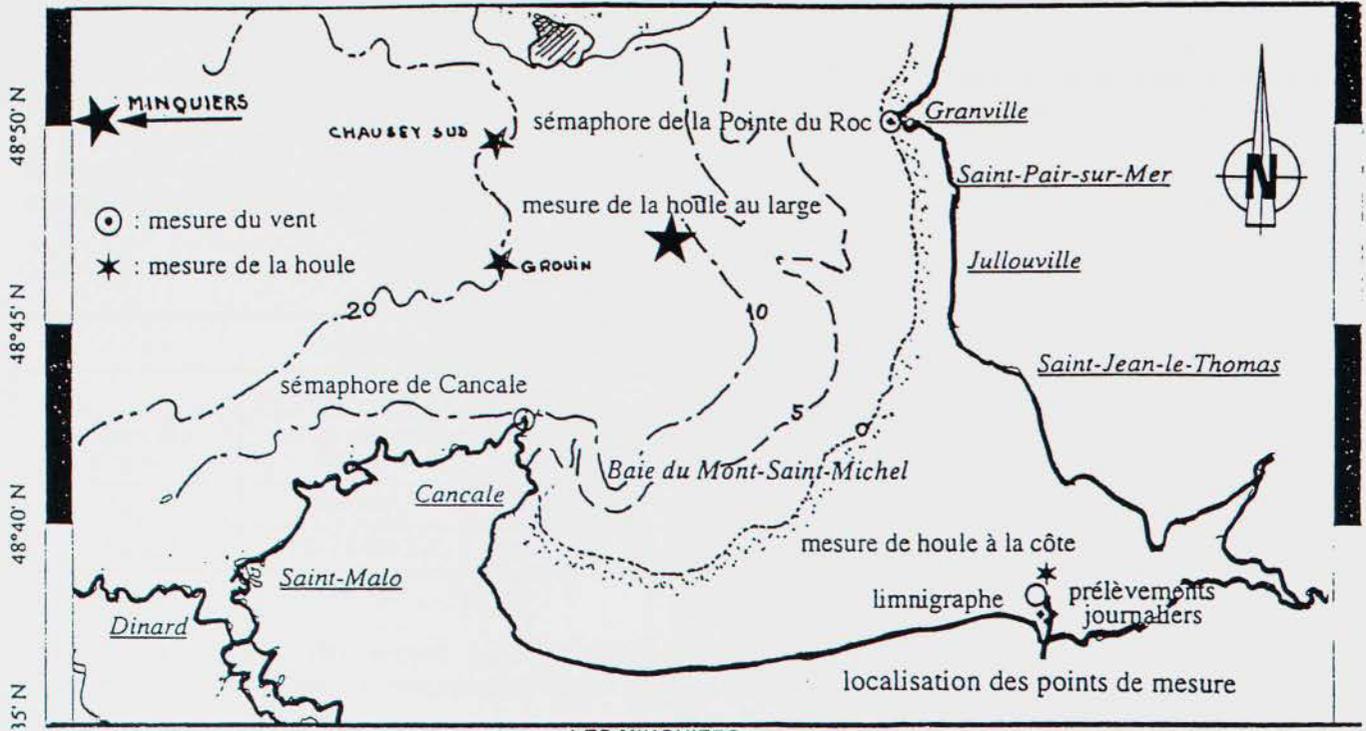
Sous l'action des vents, des « clapots » pourront également être soulevés et vu l'étendue du plan d'eau à pleine mer, peuvent atteindre des valeurs appréciables.

III.2.3.1. LES HOULES DANS LA GRANDE BAIE DU MONT SAINT MICHEL

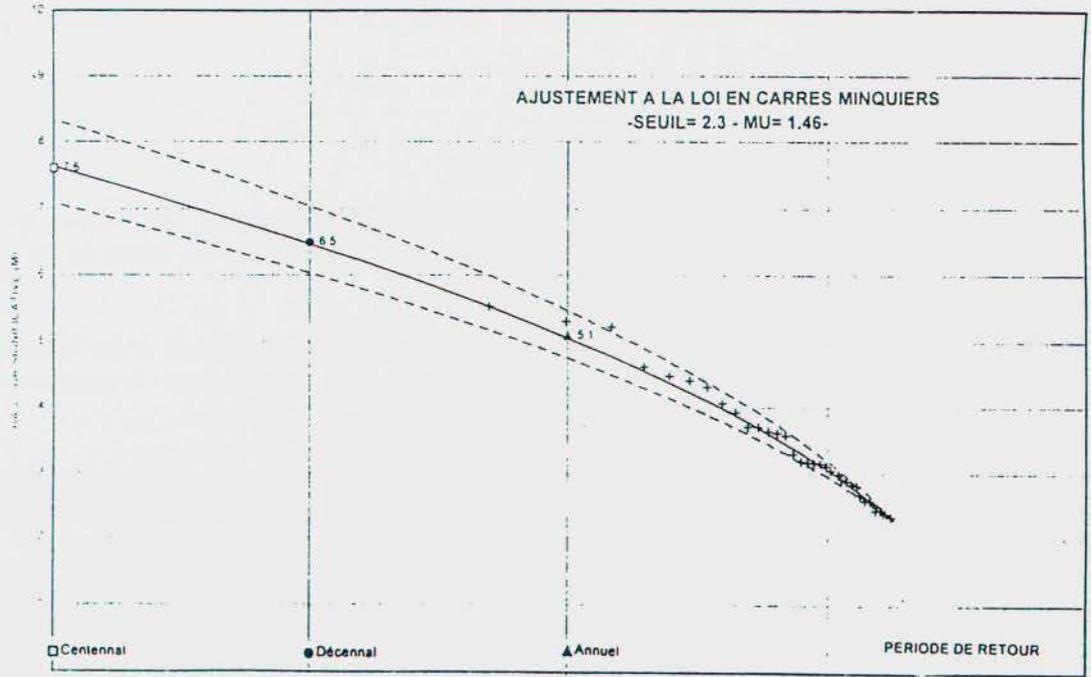
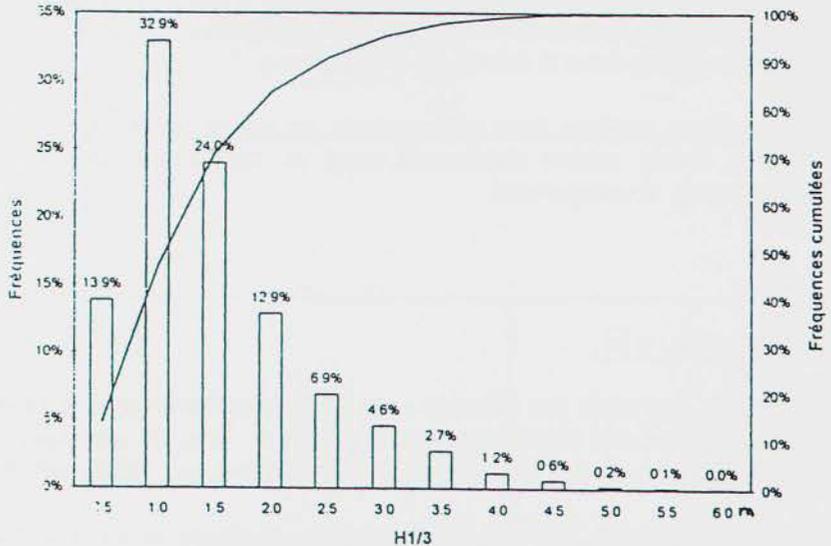
Dans le golfe normand-breton, on dispose, pour l'évaluation des caractéristiques des houles, des mesures faites par le S.T.N.M.T.E. [48] près du plateau des Minquiers, à 60 km au large de Granville, et par E.D.F. / L.N.H. au Sud de Chausey et à la pointe du Grouin.

À l'entrée de la grande baie du Mont Saint Michel, une bouée de houle (Datawell) a été installée entre le 20 Février et le 27 Mai 1997 avec des mesures simultanées avec un houlographe à pression implanté à 900 mètres au Nord du Mont Saint Michel [22.a].

Les houles du large mesurées aux Minquiers, par une profondeur de 38 m, proviennent principalement de la direction Nord-Ouest (300 – 310 et 320°) et l'on constate que 80 % environ des houles ont des hauteurs significatives (H_{1/3}) inférieures à 2 m et 2 % seulement supérieures à 4 m.



LES MINQUIERS
DU 17/03/92 AU 15/01/98 - 5888 données



L'estimation des houles extrêmes en ce point a été réalisée par la méthode dite du « renouvellement » à partir des mesures in situ [Figure 59] ; les valeurs étant indiquées ci-dessous :

HOULE	HAUTEUR SIGNIFICATIVE	INTERVALLE DE CONFIANCE À 70 %
Annuelle	5,1 m	De 4,7 m à 5,5 m
Décennale	6,5 m	De 6 m à 7,1 m
Centennale	7,6 m	—

Les mesures faites au large de Granville, à Videcoq, montraient que les hauteurs des houles n'étaient plus que de 30 % de celles des Minquiers.

À Chausey Sud et à la pointe du Grouin, les hauteurs des houles annuelles et décennales sont données ci-dessous :

HOULE	CHAUSEY SUD	POINTE DU GROUIN
Annuelle	2,6 m	3,4 m
Décennale	2,7 m	3,5 m

L'examen de ces résultats montre que les houles subissent un amortissement important entre le large et ces deux emplacements ; les houles à Chausey Sud et pointe du Grouin n'étant plus que de 50 à 55 % de celles relevées près du plateau des Minquiers.

Le point de mesure implanté à l'entrée de la grande baie du Mont Saint Michel en 1997 se trouvant au voisinage de ces deux points, on admettra que les amortissements mesurés lui sont applicables [48].

III.2.3.2. LES HOULES ET CLAPOTS DANS LA PETITE BAIE

Compte tenu des faibles profondeurs dans la petite baie, les houles ne pourront se propager qu'à pleine mer en subissant un épanouissement latéral important qui réduira considérablement les possibilités d'atteindre des valeurs appréciables de l'amplitude résiduelle près du Mont.

Les mesures faites en nature à 900 m au Nord du Mont Saint Michel, à l'aide d'un capteur de pression (type S4DW), entre le 07 Mars et le 20 Mai 1997, montrent qu'au cours de cette période les hauteurs significatives des houles sont très faibles. Plus de 20 % sont inférieures à 5 cm et plus de 50 % sont comprises entre 5 et 15 cm. Les hauteurs maximales légèrement supérieures à 70 cm, n'ont été enregistrées que le 06 Mai 1997.

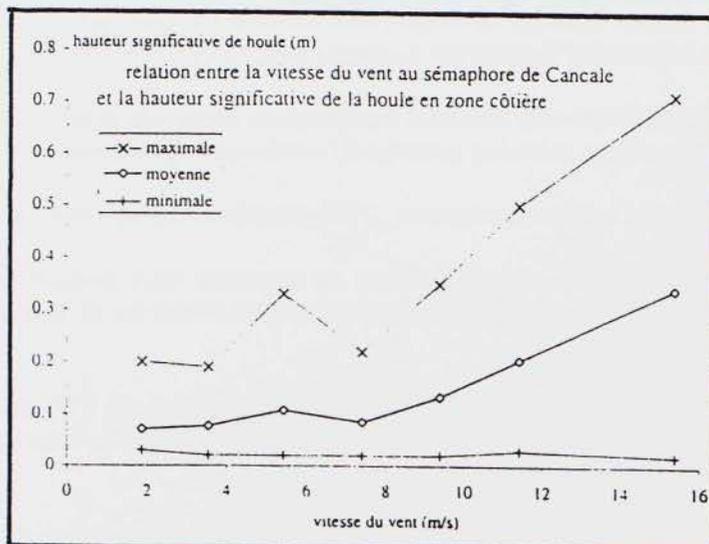
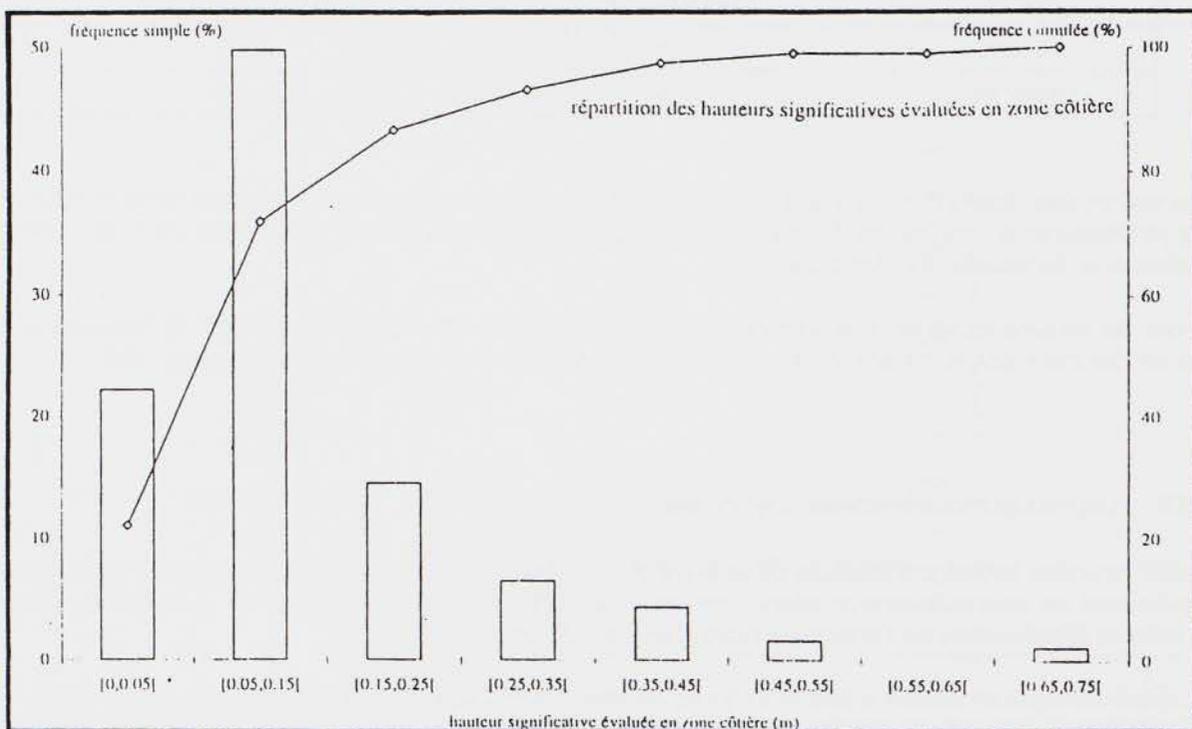
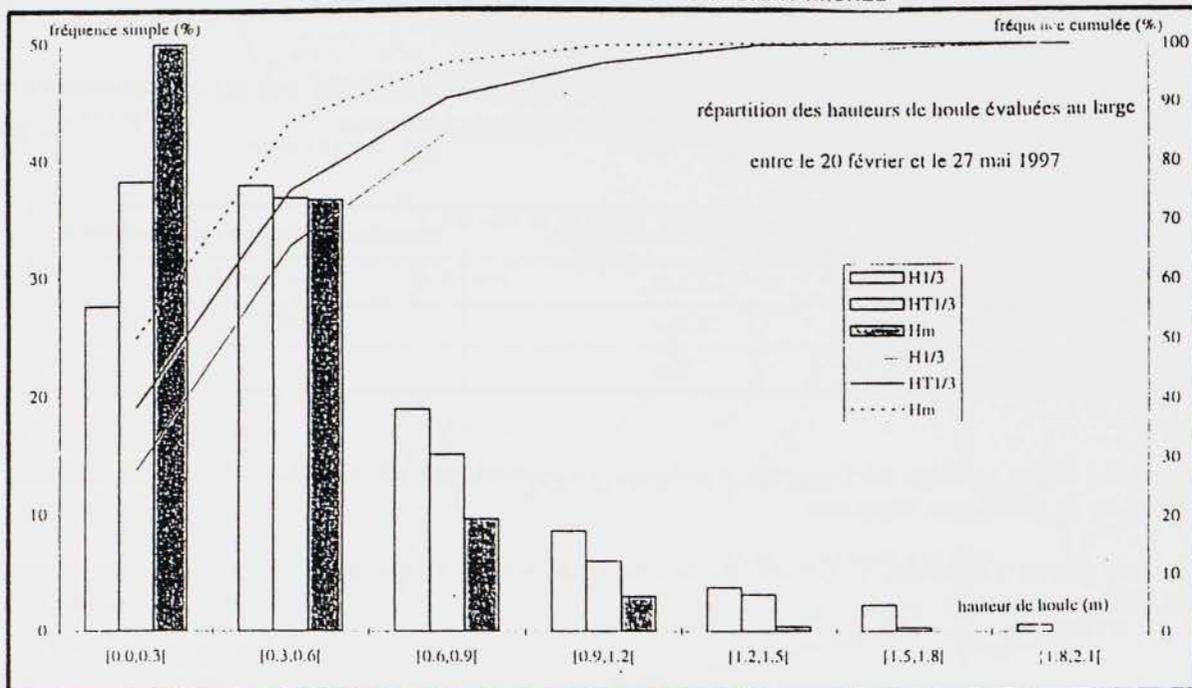
La figure 60 donne la répartition des hauteurs significatives mesurées près du Mont, en zone dite côtière, que l'on peut comparer aux valeurs relevées au large à l'entrée de la grande baie.

Les périodes relevées sont en général courtes ; 75 % étant inférieures à 4 ou 5 secondes.

Un amortissement de 75 à 80 % peut être retenu en moyenne, tous niveaux du plan d'eau confondus et en absence significative du vent, entre les agitations mesurées à l'entrée de la grande baie et les abords immédiats du Mont.

Compte tenu que l'agitation à l'entrée de la grande baie a été évaluée à 50 ou 55 % de celle du grand large aux Minquiers, l'agitation résiduelle au Mont due uniquement à l'action des houles au large, ne serait plus que de 10 % environ.

FIGURE 60 :
HOULES À L'ENTRÉE DE LA BAIE ET AU MONT SAINT MICHEL



Ce résultat est comparable aux valeurs d'agitations proposées par le S.N.T.M.T.E. qui donne, aux abords du Mont Saint Michel, une houle maximale annuelle de 0,65 m, une houle décennale de 0,85 m et centennale de 1,20 m.

Pour les clapots soulevés par des vents violents soufflant du Nord-Ouest sur un plan d'eau de plus de 30 km de longueur, on pourrait avoir des relevés comparables, comme le montre le tableau ci-après évalué par la méthode de SVERDRUP – MUNK – BRETSCHNEIDER et le CERC pour une profondeur d'eau de 4 m.

VITESSE DU VENT À 10 M	DURÉE	HAUTEUR DE CLAPOT (EN M)	PÉRIODE (EN S)
10 m/s	1 h 45 mn	0,68	3,1
15 m/s	1 h 20 mn	0,96	3,6
20 m/s	1 h 05 mn	1,20	4,1
25 m/s	55 mn	1,41	4,4

Ces valeurs théoriques semblent légèrement supérieures à celles constatées en nature, en rattachant la vitesse du vent au sémaphore de Cancale avec l'agitation mesurée aux abords du Mont [Figure 61] et l'on peut estimer qu'une agitation maximale voisine de 1 m puisse être retenue aux abords du Mont Saint Michel.

III.3. FACTEURS HYDROLOGIQUES

En dehors des petits ruisseaux Biez Jean et Guyoult, qui se jettent à l'Ouest de la grande baie du Mont Saint Michel, respectivement à Saint Benoît des Ondes et au Vivier sur Mer, toutes les rivières ayant des bassins versants appréciables se déversent dans la petite baie apportant une masse d'eau douce appréciable.

III.3.1. Les rivières et ruisseaux qui se déversent dans la petite baie du Mont Saint Michel

Trois rivières principales se jettent dans la petite baie du Mont Saint Michel : la Sée, la Sélune et le Couesnon.

Des petits ruisseaux drainant les terrains limitrophes situés à l'Est du Mont se déversaient également au siècle dernier sur les grèves situées entre la pointe de Roche Torin et la Caserne. Ces ruisseaux : la Guintre, la Rive et le Landais ont été déviés, le premier vers la Sélune à l'Est de la pointe de Roche Torin, les deux autres dans le canal d'Ardevon qui débouche dans le Couesnon entre le pont de Beauvoir et le barrage de la Caserne.

Tous ces rivières et ruisseaux subissaient des divagations importantes à travers les grèves, mettant en péril les terrains poldérisés et balayant des secteurs importants passant de Genêts à l'Est à la Chapelle Sainte Anne à l'Ouest. La Sée et la Sélune ont passé, au milieu du siècle dernier, entre le Mont Saint Michel et la terre et le Couesnon a longé le littoral vers l'Ouest passant au pied de Raz du Couesnon pour venir déboucher dans la baie près de Sainte Anne, à 10 km à l'Ouest du Mont, ou se détournant complètement vers l'Est pour passer entre le Mont et Tombelaine.

Des canalisations et digues, réalisées vers l'année 1860, allaient s'opposer ou tout au moins limiter les divagations de ces rivières, montrant l'importance qui était attachée à leur puissance érosive sur les terrains et les grèves littorales qui se sont ainsi progressivement ensablées atteignant actuellement des cotes de +8 m I.G.N. 69 supérieures au niveau des plus hautes mers.

FIGURE N°62 : LES BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES ET RUISSEAUX QUI SE DÉVERSENT
DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

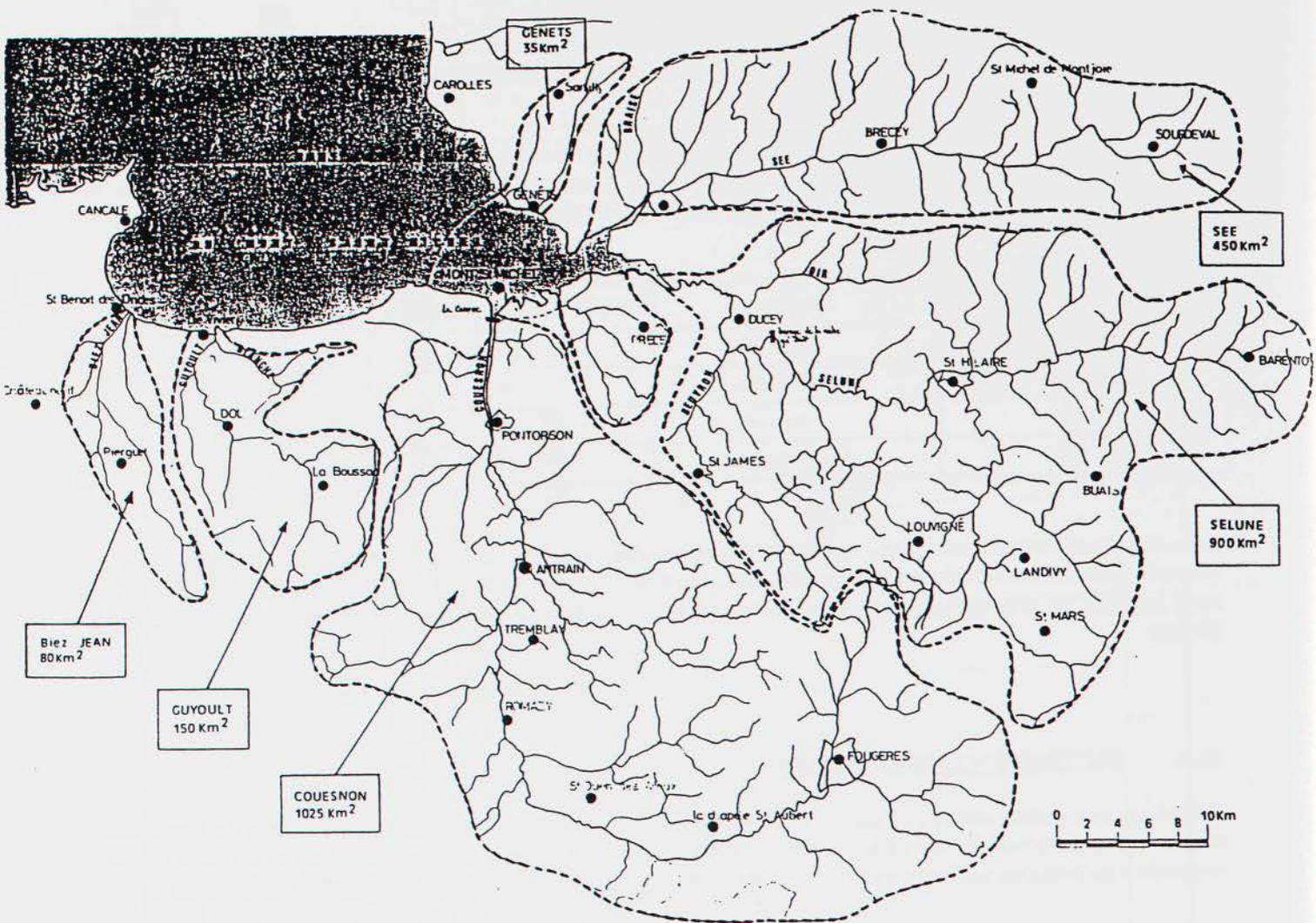
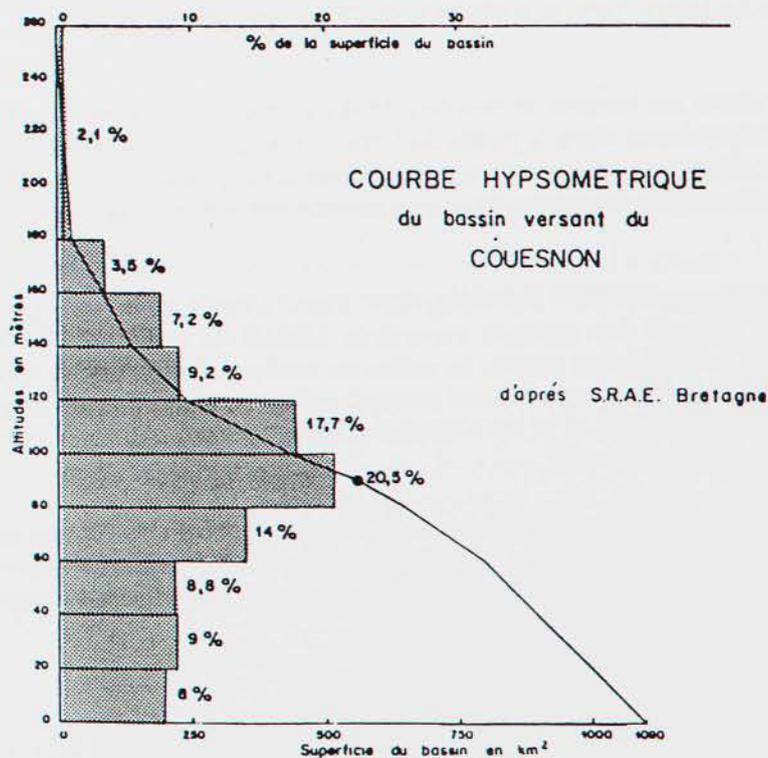


FIGURE N°63 : COURBE HYSOMÉTRIQUE DU BASSIN DU COUESNON



III.3.2. Les bassins versants des rivières et les bassins drainants des ruisseaux

Les bassins versants des rivières et ruisseaux qui se jettent dans la baie du Mont Saint Michel représentent une superficie totale d'environ 2.700 km² dont la répartition est donnée dans le tableau ci-après et sur la figure 62.

SUPERFICIE DES BASSINS VERSANTS OU DRAINANTS DES RIVIÈRES ET RUISSEAUX EN KM ²							
Rivières et ruisseaux	Rivières			Ruisseaux			
	Sée	Sélune	Couesnon	Biez Jean	Guyoult	Guintre et Landais	Genêts
Superficie en km ²	450	900	1.025	80	150	50	35

À eux seuls, les bassins versants des rivières Sée, Sélune et Couesnon représentent près de 90 % de la superficie totale des bassins qui alimentent la grande baie.

Ces bassins versants se situent à des altitudes comprises entre 0 et 150 m, plus de la moitié du bassin du Couesnon étant située entre les cotes 60 et 120 [Figure 63] et l'on peut estimer que près de la moitié de ce bassin est constituée de granite (45 %), le reste étant réparti entre des schistes briovériens (43 %) et métamorphiques (12 %).

Un barrage réalisé sur la Sélune, à une quinzaine de kilomètres de son embouchure (barrage de la « Roche qui boit »), limite la propagation de la marée et écrête partiellement les débits de crue.

Sur le Couesnon, à son débouché dans la baie, le barrage de la « Caserne » s'oppose à la remontée de la marée grâce à des portes à flot et la sédimentation qui se produit dans l'embouchure peut modifier les écoulements des crues au début de leur apparition. On peut estimer que sur ses 30 derniers kilomètres, les fonds du Couesnon présentent une pente moyenne de 0,15/1.000^{ème} environ.

III.3.3. Débits des rivières - Apports d'eau douce

Le Couesnon a un débit moyen annuel à Pontorson (bassin versant de 1.020 km²) atteignant 10,2 m³/s [24.h.]. Le débit mensuel est plus élevé en Février où il atteint 23 m³/s et plus bas en Août et Septembre où il n'est que de 2,3 m³/s.

On estime qu'un débit moyen journalier de 50 m³/s est dépassé 3 jours par an et que pendant 130 jours par an le débit dépasse 10,2 m³/s.

Le tableau ci-après donne la répartition des débits mensuels moyens à Pontorson calculés à partir des moyennes de 1968 à 1982 [Figure 64].

COUESNON - DÉBITS MOYENS MENSUELS À PONTORSON EN M ³ /S											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
16,5	23	16,7	12,5	13	8,2	5,8	2,4	2,35	4,3	7	11,5

Cette répartition moyenne sur une quinzaine d'années présente de nombreuses exceptions tant pour les débits moyens mensuels - avec des successions d'années sèches et d'années pluvieuses - que pour la répartition des débits mensuels qui ont pu atteindre par exemple, en Mai 1981 et Mai 1983, des valeurs de 98 m³/s et 60 m³/s.

FIGURE N° 64 : RÉPARTITION DES DÉBITS MENSUELS DU COUESNON À ROMAZY

Couesnon à Romazy

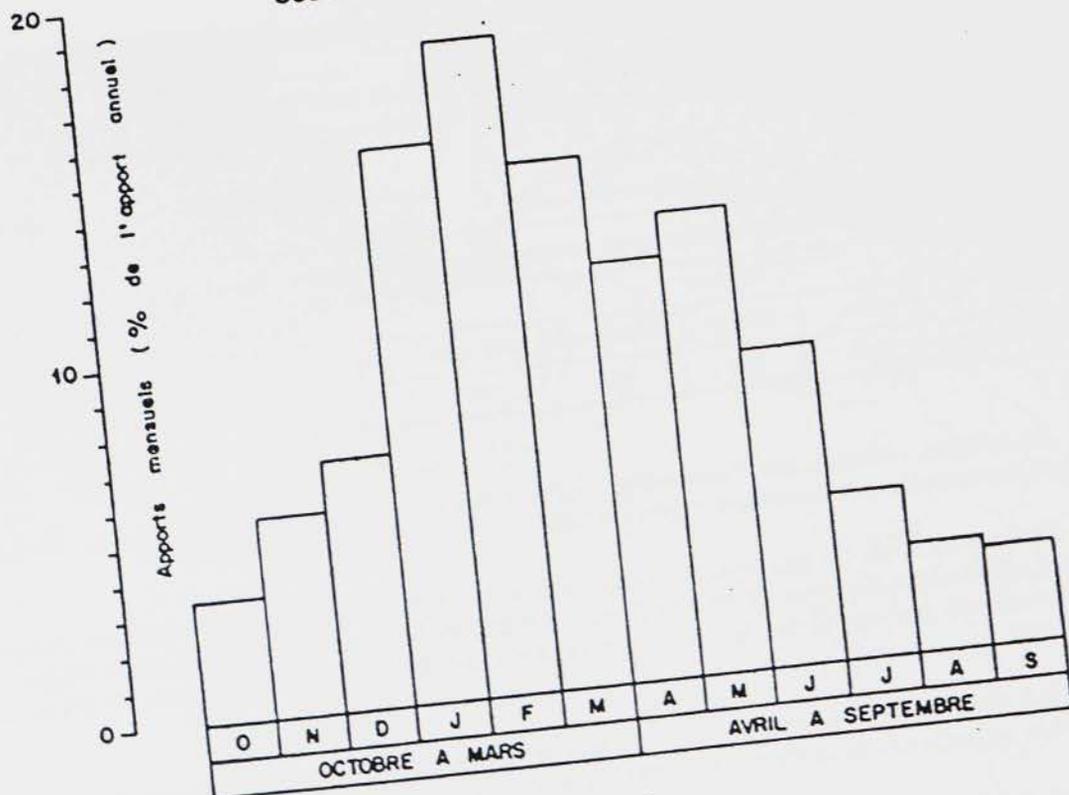
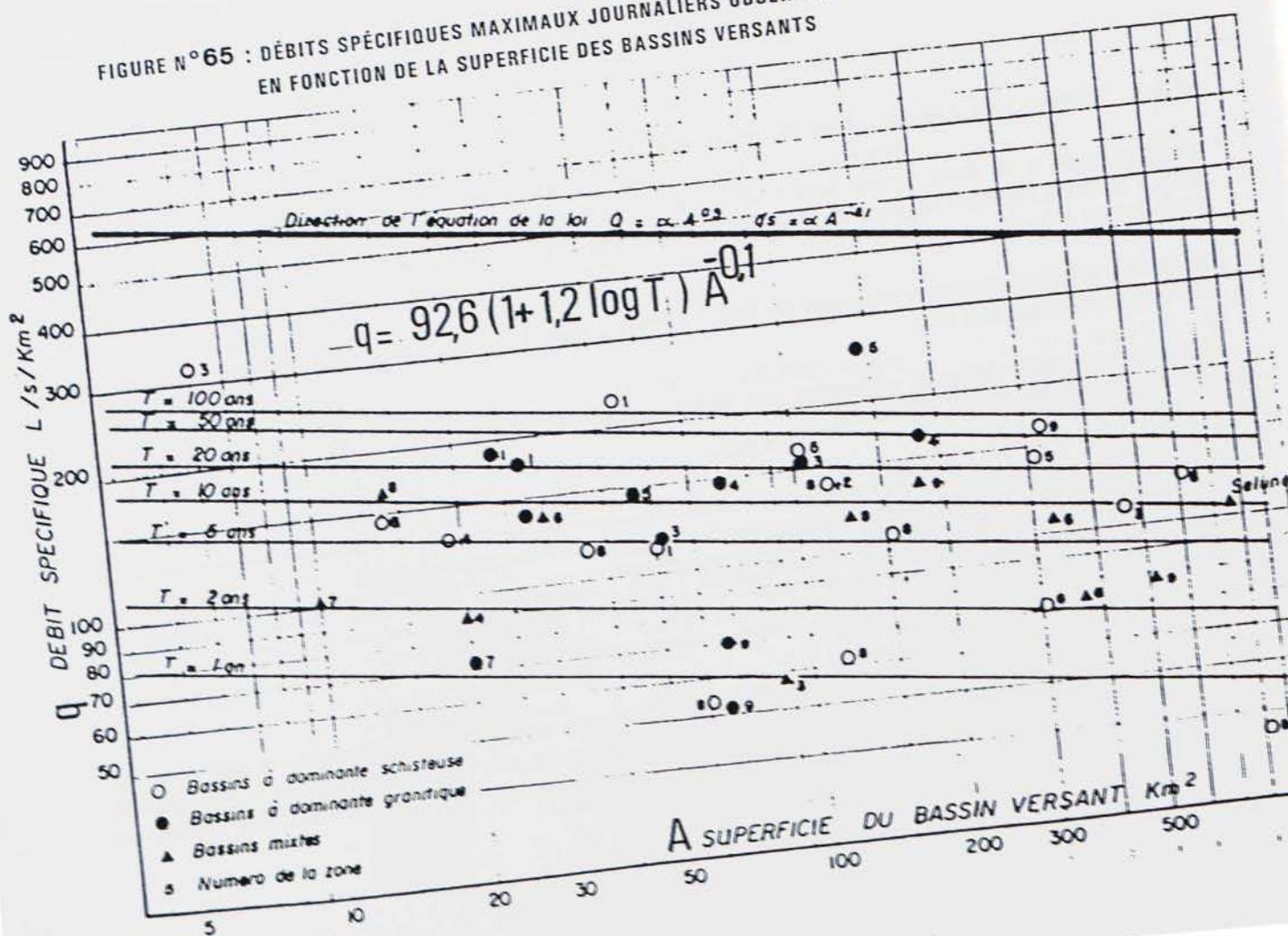


FIGURE N° 65 : DÉBITS SPÉCIFIQUES MAXIMAUX JOURNALIERS OBSERVÉS EN BRETAGNE EN FONCTION DE LA SUPERFICIE DES BASSINS VERSANTS



Des études plus complètes [49.a. et b.] ont montré que le taux d'écoulement des eaux dans les rivières (à Pontorson), par rapport au taux de précipitation pluviométrique sur le bassin versant, atteint 38 % ; le débit absorbé par le sol, la végétation... étant de 62 %.

Entre une année « sèche » où la pluviosité n'est que de 80 % de la pluviosité moyenne (855 mm/an) et une année « pluvieuse » où elle dépasse 120 %, on aura donc des écarts d'apports d'eau douce annuels variant entre 260 millions de m³ et 400 millions de m³/an.

Pour les débits journaliers de crue, une étude spécifique réalisée sur les cours d'eau de Bretagne, avec différentes natures géologiques des bassins versants, a permis d'établir une loi qui dépend uniquement de la superficie des bassins versants et de la pluviosité, la nature géologique des bassins versants n'ayant pas – pour cette région – une influence déterminante [Figure 65].

$$qs = 92,6 (1 + 1,2 \text{ Log } T) A^{-0,1}$$

avec :

- qs = Débit journalier spécifique en l/s/km².
- T = Fréquence d'apparition / durée de retour en année.
- A = Superficie du bassin versant en km².

Pour le Couesnon, ces débits de crue se répartissent de la façon suivante à Pontorson.

DÉBITS JOURNALIERS SPÉCIFIQUES DE CRUE – BASSIN VERSANT 1.020 KM²				
Probabilité	Annuel – 1	Décennal – 10	Centennal – 100	Millénaire – 1.000
Débits de crue en m ³ /s	50	105	160	220

En une journée de crue centennale, le Couesnon pourrait apporter près de 13 millions de m³ d'eau douce dans la baie.

Inversement les débits d'étiage peuvent être très faibles – tombant pendant 1 jour par an à 0,30 m³/s ; pendant 10 jours/an à 1,8 m³/s et 30 jours/an (1 mois) à 2,25 m³/s. Les apports d'eau douce pouvant descendre pendant 30 jours par an à moins de 200.000 m³ par jour.

Dans le cas du Couesnon, on ne saurait négliger l'importance des marais et zones inondables situés dans le cours inférieur de la rivière à des cotes comprises pour certains entre +6 et +7 m I.G.N. 69. Ces zones inondables peuvent écriéter l'arrivée brutale d'une crue en produisant un effet tampon d'accumulation et de restitution des eaux. Sans compter les marais des polders de l'Ouest la superficie de ces marais atteindrait plus de 1.500 hectares, dont plus de la moitié se situerait entre Pontorson et Antrain.

La Sélune a un débit moyen annuel à Vézins (bassin versant de 720 km²) qui atteint 8 à 10 m³/s, soit un débit moyen mensuel à l'embouchure (bassin de 900 km²) de 10 à 12,5 m³/s si l'on admet une loi proportionnelle à la superficie des bassins versants.

Le tableau ci-après donne la moyenne des débits mensuels entre les années 1956 et 1965 à l'embouchure ramenée en admettant un coefficient multiplicateur de 1,25 par rapport aux débits mesurés à Vézins.

DÉBITS MOYENS MENSUELS DE LA SÉLUNE À SON EMBOUCHURE EN M³/S											
Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
18,5	18,5	17,2	13,8	7,9	5,8	4	3,7	6	5,5	11,4	21,8

En admettant la même loi que pour le Couesnon, les débits journaliers de crue se répartiraient de la façon suivante à l'embouchure.

DÉBITS JOURNALIERS SPÉCIFIQUES DE CRUE – BASSIN VERSANT 900 KM²				
Probabilité	Annuel – 1	Décennal – 10	Centennal – 100	Millénaire – 1.000
Débits de crue en m ³ /s	45	95	145	195

Au total, la Sélune apporterait en moyenne 350 millions de m³ d'eau douce par an dans la petite baie, mais au cours d'une crue décennale elle peut apporter plus de 8 millions de m³ en une journée.

Pour la Sée, on ne dispose pas de valeurs sur la répartition des débits – LE COQ [28.a.] dans son étude de 1913 admettait que les débits moyens de la Sée étaient de 40 % de celui de la Sélune. En prenant les superficies des bassins versants aux embouchures on aurait un rapport de 50 %.

Le débit moyen de la Sée serait donc de 6 m³/s et le débit de crue décennale pourrait atteindre près de 50 m³/s.

Les deux rivières Sée – Sélune ayant leur confluence immédiatement en amont de l'alignement Roche Torin – Grouin du Sud, pourraient avoir des actions « cumulatives » à leur pénétration dans la petite baie du Mont Saint Michel, avec des débits cumulés en pointe de crue décennale atteignant près de 150 m³/s et 220 m³/s par jour pour la crue centennale.

Au total, ces deux rivières apporteraient en moyenne 525 millions de m³ par an d'eau douce dans la baie avec des écarts compris entre 650 millions de m³ par an pour les années pluvieuses et 400 millions de m³ par an pour les années sèches.

Pour les petits ruisseaux Guintre et Landais, une étude réalisée en 1992 par la D.D.A. donne les caractéristiques suivantes [20] :

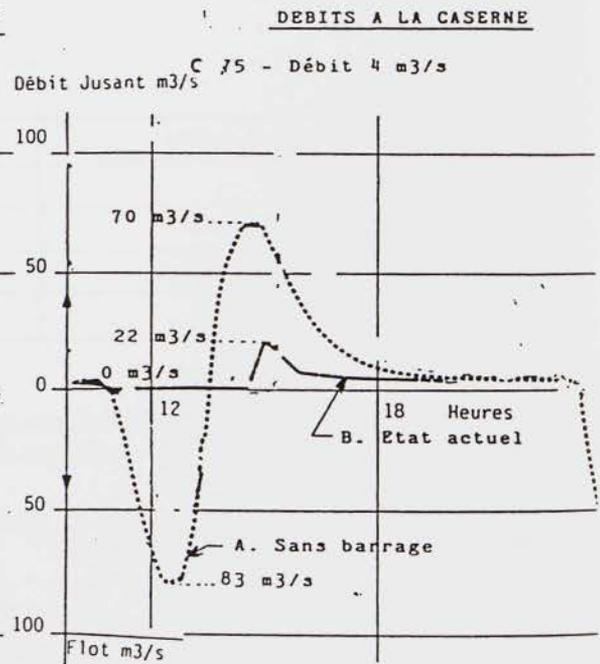
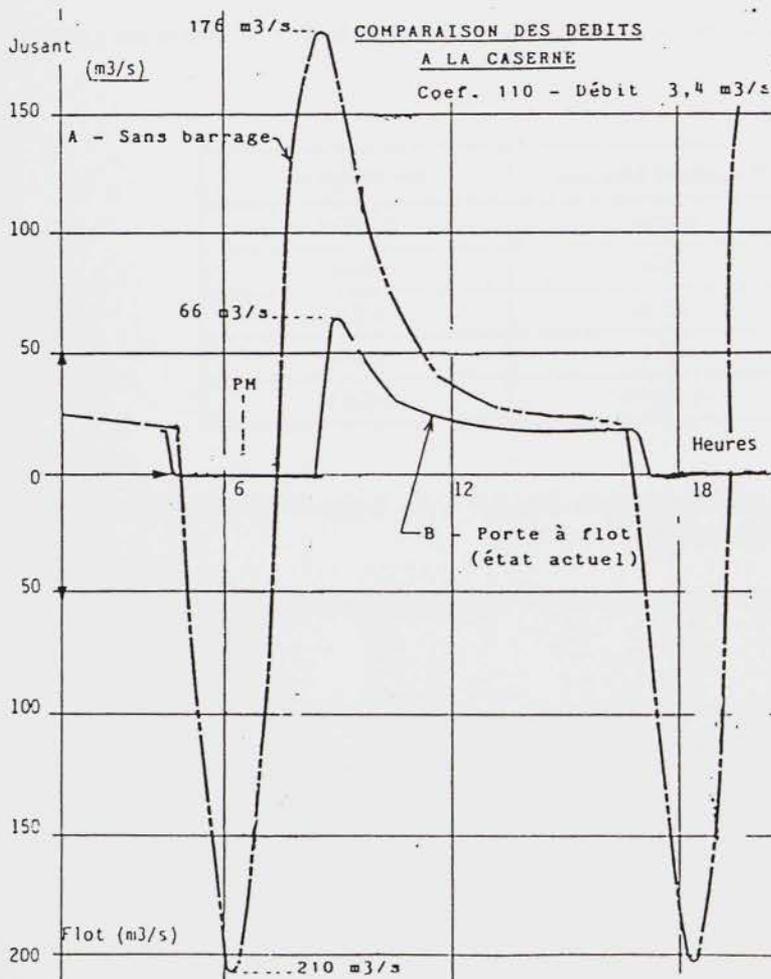
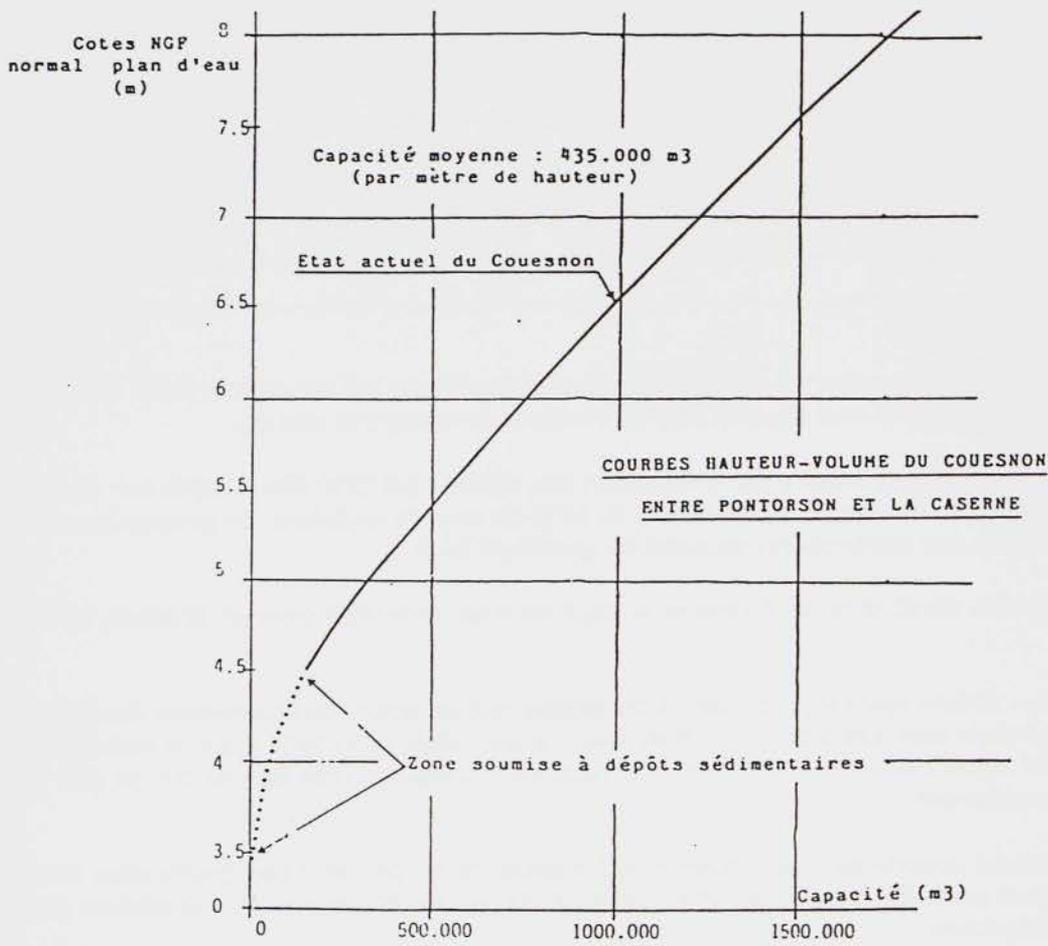
	RUISSEAU LANDAIS	LA GUINTRE
Longueur actuelle	6.800 m	8.300 m
Source	30 m	45 m
Pente moyenne	3,5 ‰	4,8 ‰
Pente secteur aval	0,4 ‰	0,2 ‰
Bassin versant	1.290 ha	5.400 ha

Les bassins versants de ces deux ruisseaux ne représentent que 2,7 % de la superficie totale des bassins versants alimentant la petite baie du Mont Saint Michel à l'Est du Mont.

Les débits de ces ruisseaux restent très faibles et le registre des Ponts et Chaussées donne les valeurs suivantes :

RUISSEAUX	DÉBITS EN M³/S		
	DÉBIT MOYEN	ÉTIAGE	CRUE
Landais	0,017	0	0,037
Guintre	0,066	0	0,758

FIGURE N°66 : PROPAGATION DE LA MARÉE DANS LE COUESNON AVANT ET APRÈS LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE LA CASERNE (MODÈLE MATHÉMATIQUE)



Une approche basée sur la surface des bassins versants de ces ruisseaux et de l'intensité des pluies (méthode « Crupédix » D.D.A.) donnerait, pour la crue décennale, un débit maximum de 3 m³/s pour le Landais et de 9 m³/s pour la Guintre, mais ces débits théoriques seraient 3 fois plus forts que ceux que l'on a pu mesurer en nature après les fortes pluies de 1988 ou que l'on aurait pu estimer par la méthode « Socose » (débit décennal maxi de 3 m³/s pour la Guintre et 1,2 m³/s pour le Landais).

Ces valeurs montrent que, dans leur état actuel, ces ruisseaux ne peuvent avoir, même après canalisation et rejet dans la baie, une efficacité valable pour l'entretien des profondeurs aux abords du Mont.

III.3.4. Influence des débits des rivières se superposant à l'action de la marée

Une approche à l'aide d'un modèle mathématique [49.a.] a été faite en 1988 pour le cours aval du Couesnon, avec la schématisation des zones inondables latérales, afin d'avoir un aperçu de l'influence des débits fluviaux se superposant aux marées avant et après construction du barrage de la Caserne en 1969.

La figure 66 donne la propagation de la marée avec « l'estuaire naturel » entre Beauvoir et Sougeal, ainsi que les cotes des pleines mers et de basses mers atteintes par la superposition de la marée et de différents débits. Sur cette même figure, les niveaux atteints avec le barrage de la Caserne muni de « portes à flot » sont indiqués.

On constate, d'après ces figures, que :

- La réalisation du barrage de la Caserne a permis d'abaisser les lieux des pleines mers d'environ 0,50 m en aval de Pontorson pour des crues atteignant 67 m³/s à Antrain et une marée de vive eau de coefficient 110. En amont de Pontorson, les cotes varient, avec ou sans barrage, entre +7,5 m à Pontorson et +8,10 m au pont des Barres entraînant pour ce débit de 67 m³/s l'inondation des terrains limitrophes.
- Pour des débits plus faibles, l'amélioration est beaucoup plus sensible, le niveau des pleines mers de vives eaux variant, pour un débit de 13,4 m³/s, entre 7,2 et 7,6 m entre Sougeal et la Caserne dans l'état sans barrage et s'abaissant à moins de 5 m entre la Caserne et Pontorson et à 6,80 m à Sougeal avec le barrage de la Caserne, pratiquement sans risque d'inondation. Cette amélioration est encore plus sensible en étiage avec un débit de 4 m³/s où le niveau des pleines mers s'abaisse de 1,30 à 1 m entre la Caserne et Pontorson ; le phénomène n'étant plus sensible à l'amont.
- Dans tous les cas, le niveau des basses mers est peu affecté par la réalisation du barrage, les niveaux des pleines mers et des basses mers restant confondus en crue (débit de 67 m³/s à Antrain) à 10 km en amont du débouché en mer à la Caserne.

III.3.5. Influence possible des débits des rivières dans la petite baie du Mont Saint Michel

Au cours d'une année moyenne, les apports d'eau douce de toutes les rivières et ruisseaux, qui se jettent dans la petite baie du Mont Saint Michel, atteignent 850 à 900 millions de m³/an.

Cette valeur est à rapprocher des volumes annuels qui pénètrent et sortent de la petite baie et de la grande baie du Mont Saint Michel sous le jeu des marées.

VOLUMES ANNUELS ENTRANT ET SORTANT EN MILLIARDS DE M ³ /AN		
Grande baie	Petite baie	Apports d'eau douce
1.800	65	0,9

Répartis sur une année moyenne, ces apports d'eau douce peuvent apparaître comme faibles dans la petite baie et voisins de 1,5 %. Ils sont négligeables dans la grande baie (de 500 km² de superficie) et atteignent 0,5/1.000^{ème}.

Si ces comparaisons sont faites sur un débit journalier de crue agissant pendant une marée de vive eau ou une marée moyenne, les rapports deviennent très différents et font mieux ressortir l'influence possible d'une crue sur les échanges d'eau dans la petite baie.

VOLUME OSCILLANT AU COURS D'UNE MARÉE DE VIVE EAU ET APPORTS D'EAU DOUCE PENDANT LA MARÉE EN CRUE ANNUELLE ET DÉCENNALE (EN MILLIONS DE M³)			
Grande baie	Petite baie	Apports d'eau douce	
		Crue annuelle	Crue décennale
4.200	100 x 2	9	15

On voit que les apports d'eau douce dans la petite baie peuvent représenter en crue 7,5 % des volumes d'eau oscillants (flot + jusant) en vive eau, ce qui n'est pas négligeable ; ce rapport atteignant 10 % pour une marée moyenne et pouvant prendre une importance très appréciable pour les remaniements sédimentaires dans la petite baie.

En fait, ces apports d'eau douce estimés pendant la totalité d'une marée ne peuvent être directement comparés aux volumes oscillants qui pénètrent et sortent de la petite baie pendant une partie de la marée en flot et sur une durée beaucoup plus longue en jusant.

À l'entrée de la petite baie sur l'alignement bec d'Andaine – Tombelaine – le Mont, la durée du flot ne dépasse pas 2 heures ½ à 3 heures et celle du jusant 9 heures ½ à 10 heures. Les volumes oscillants se répartissent sur ces durées, ce qui explique la brutalité des courants de flot au remplissage de la baie. Le vidage en jusant s'effectue principalement au cours des 3 heures après la pleine mer, suivi pendant les 6 heures suivantes d'un lent « essorage » des grèves gorgées d'eau qui va s'écouler dans les chenaux dans lesquels les débits fluviaux d'eau douce continuent de se déverser pendant tout le jusant qui va durer 3 fois plus que le flot.

APPORTS D'EAU DOUCE AU COURS D'UN FLOT ET D'UN JUSANT DE VIVE EAU (CRUE ANNUELLE ET CRUE DÉCENNALE, EN MILLIONS DE M³)			
Flot		Jusant	
Crue annuelle	Crue décennale	Crue annuelle	Crue décennale
2,15	3,5	6,85	11,2

Ces débits d'eau douce qui vont s'écouler pendant la plus grande partie du jusant sur des fonds pratiquement émergés, vont avoir un pouvoir érosif important, ré-entraînant dans les chenaux et filandres une partie des sédiments apportés au flot, approfondissant ces chenaux, créant des méandres, provoquant leur divagation avec un balayage épisodique sur de grandes superficies, s'opposant aux accumulations sédimentaires et à l'extension des schorres et par là des herbues.

III.3.6. Apports solides des rivières

On ne dispose pas d'évaluations précises des apports solides des différentes rivières Sée, Sélune et Couesnon.

L'application des équations de Fleming [37.e.], donnant une évaluation des débits solides en suspension (en tonnes) en fonction de la superficie des bassins versants de faibles pentes et couverts de végétation, conduirait aux ordres de grandeur suivants :

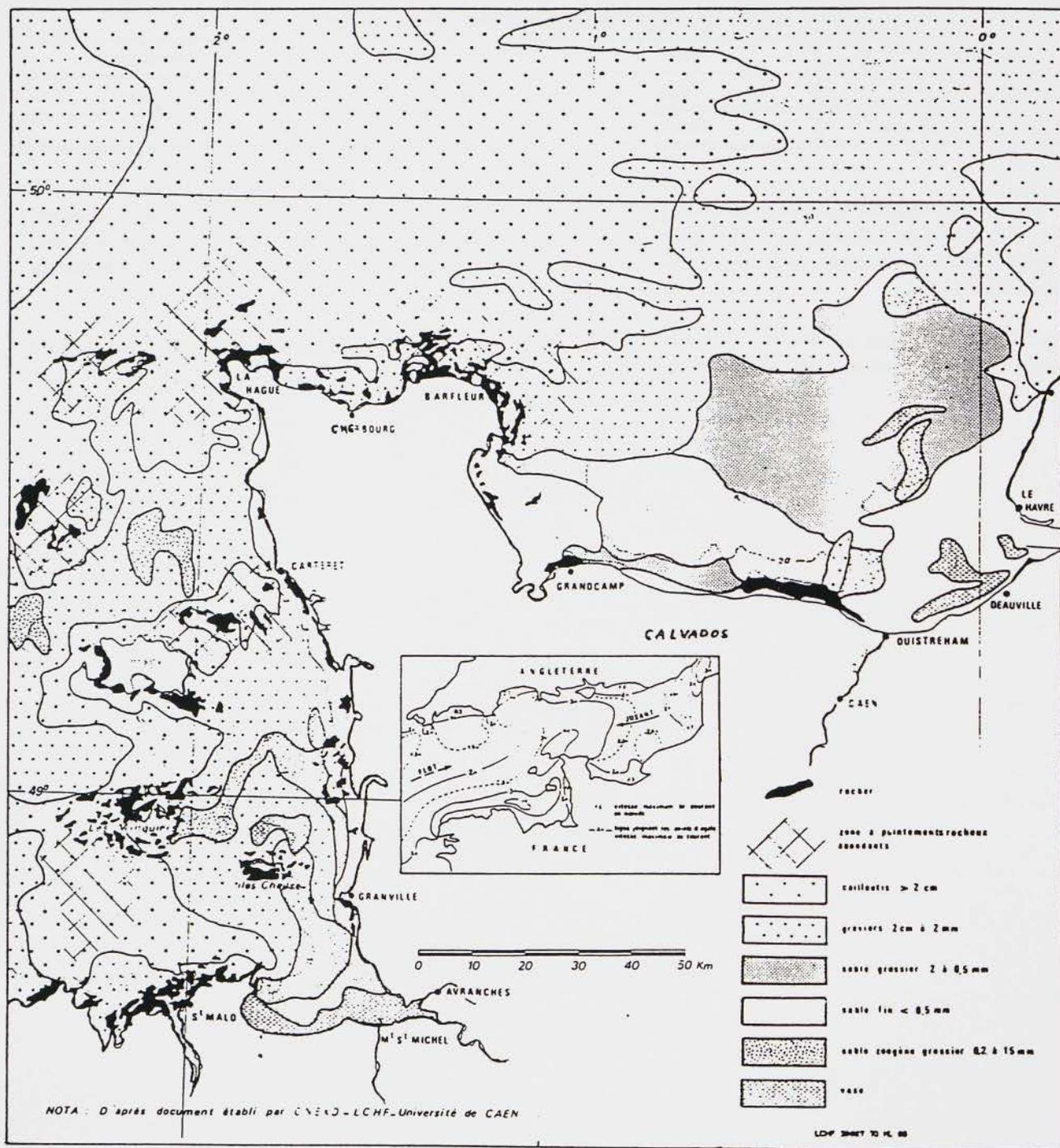
DÉBITS SOLIDES EN SUSPENSION (EN TONNES PAR AN)			
Rivières	Sée	Sélune	Couesnon
Surface bassin en km ²	450	900	1.025
Débits solide en tonnes/an	10.000	22.000	25.000

La totalité des apports fluviatiles annuels (théoriques) en suspension, ne représente qu'une valeur équivalente à la moitié de celle qui peut être remaniée en flot ou en jusant au cours d'une seule marée de vive eau moyenne dans l'ensemble de la petite baie et moins de 4 % des dépôts annuels constatés aux abords du Mont Saint Michel.

Les éléments sableux ou silteux ne seraient que de 10 % des transports en suspension, soit 6.000 tonnes par an correspondant au total à 4.000 m³ par an.



FIGURE N°67 : LES SÉDIMENTS DANS LE GOLFE NORMAND-BRETON



CHAPITRE IV - LES SÉDIMENTS DE LA BAIE – LEUR COMPORTEMENT SOUS LES ACTIONS HYDRODYNAMIQUES – LES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES EN RÉSULTANT

La baie du Mont Saint Michel s'est comblée et continue de se combler par des sédiments d'origine marine remaniés, transportés et déposés par les différentes actions hydrodynamiques qui agissent dans la baie.

Ces sédiments s'affinent progressivement du large vers la côte, passant des sables grossiers à l'entrée de la grande baie – de la pointe du Grouin de Cancale à Carolles – à des sablons et à la tanguie au fond de la baie.

Dans cette quatrième partie de l'étude hydro-sédimentaire, nous examinerons plus spécialement la nature de ces sédiments et leur relation avec ceux du golfe normand-breton, leurs propriétés physiques et leur comportement sous l'action des courants et des houles. Les mouvements sédimentaires en résultant, permettront d'évaluer les mécanismes et l'importance des remaniements sédimentaires par rapport aux volumes des matériaux qui se déposent dans la petite baie du Mont Saint Michel et sont envahis progressivement par les herbiers.

IV.1. LES SÉDIMENTS DE LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

IV.1.1. Les sédiments du large dans le golfe normand-breton

Les études faites depuis 1960 par J. BOURCART, G. BOILLOT, M. DOLLET, R. MATHIEU, A. L'HOMER et C. LARSONNEUR, en association entre l'Université de Caen et IFREMER (Cnexo), ont permis d'avoir un aperçu général de la répartition des sédiments dans le golfe normand-breton et dans la grande baie du Mont Saint Michel [Figure 67].

On constate l'affinement des sédiments entre le large – soumis aux violents courants de marées et aux fortes houles – et le fond de la baie où les transports s'effectuent principalement sous l'action des courants de remplissage et de vidage avec une résultante préférentielle au comblement.

Les sédiments évoluent progressivement, des cailloutis aux graviers puis aux sables grossiers pour passer aux sablons et à la tanguie.

Ces matériaux sont composés d'une fraction « minérale » et d'une fraction « organogène » qui se serait accrue au cours de la transgression flandrienne. Actuellement, cette fraction calcaire est très importante et provient du remaniement de dépôts quaternaires situés au large et des zones productrices actuelles.

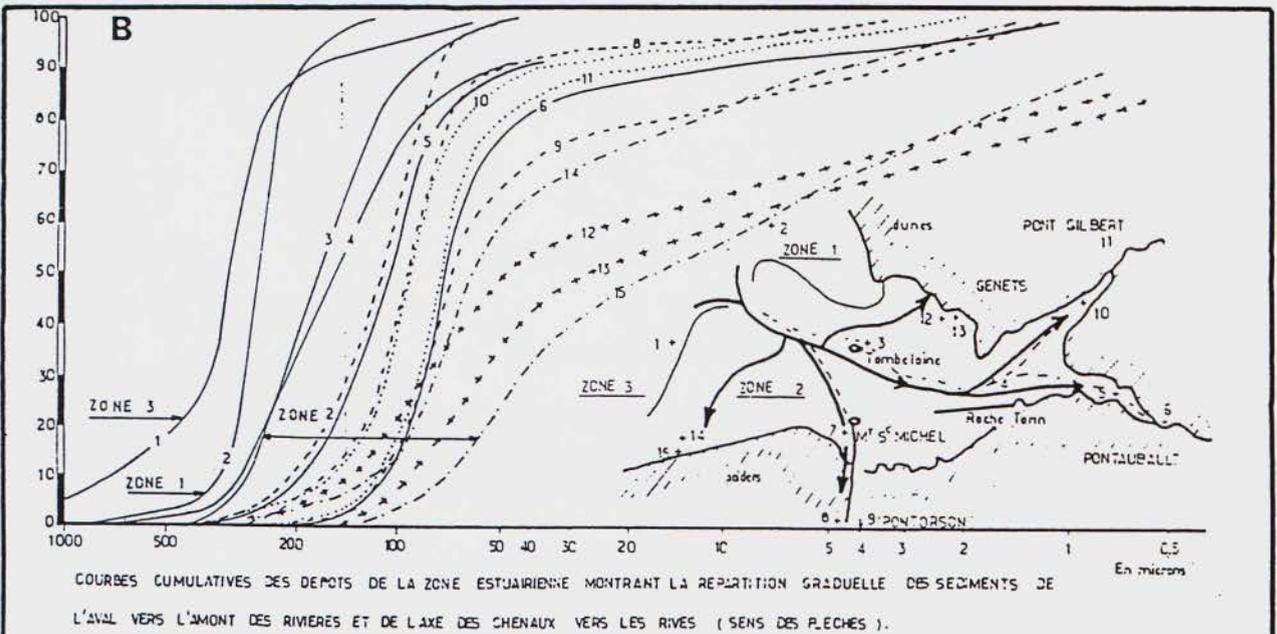
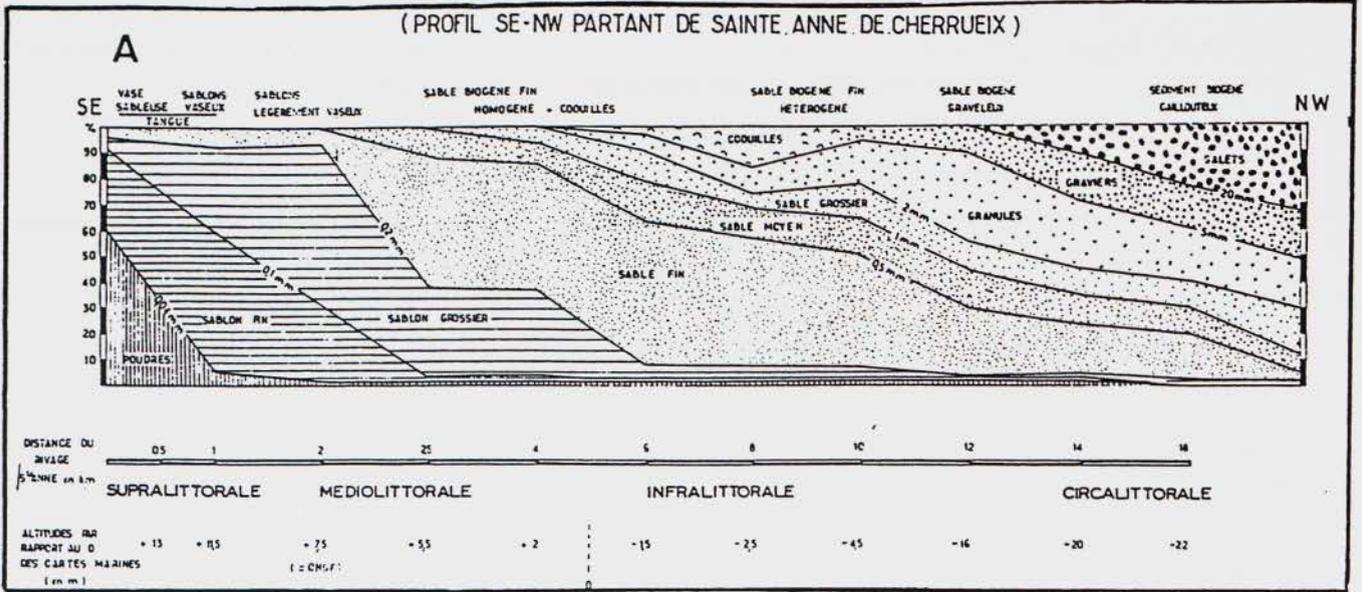
La présence de débris coquilliers marins, provenant d'un développement intense d'organismes générateurs et destructeurs, **est significative de l'origine marine des éléments calcaires de la baie. Dans la fraction minérale, la présence de grenat dans les sables confirme l'origine marine de ces matériaux.**

Dans les minéraux argileux, la kaolinite et l'illite sont d'origine primaire continentale et se sont accumulés en milieu exondé lors de la régression pré-flandrienne. Ils sont actuellement repris en milieu marin.

L'influence des apports fluviaux **actuels** est faible par rapport au stock existant en mer pré-littorale.

FIGURE N°68 : GRANULOMÉTRIE DES SÉDIMENTS DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

(PROFIL SE-NW PARTANT DE SAINTE ANNE DE CHERRUEIX)



COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS DE LA COTE VERS LE LARGE

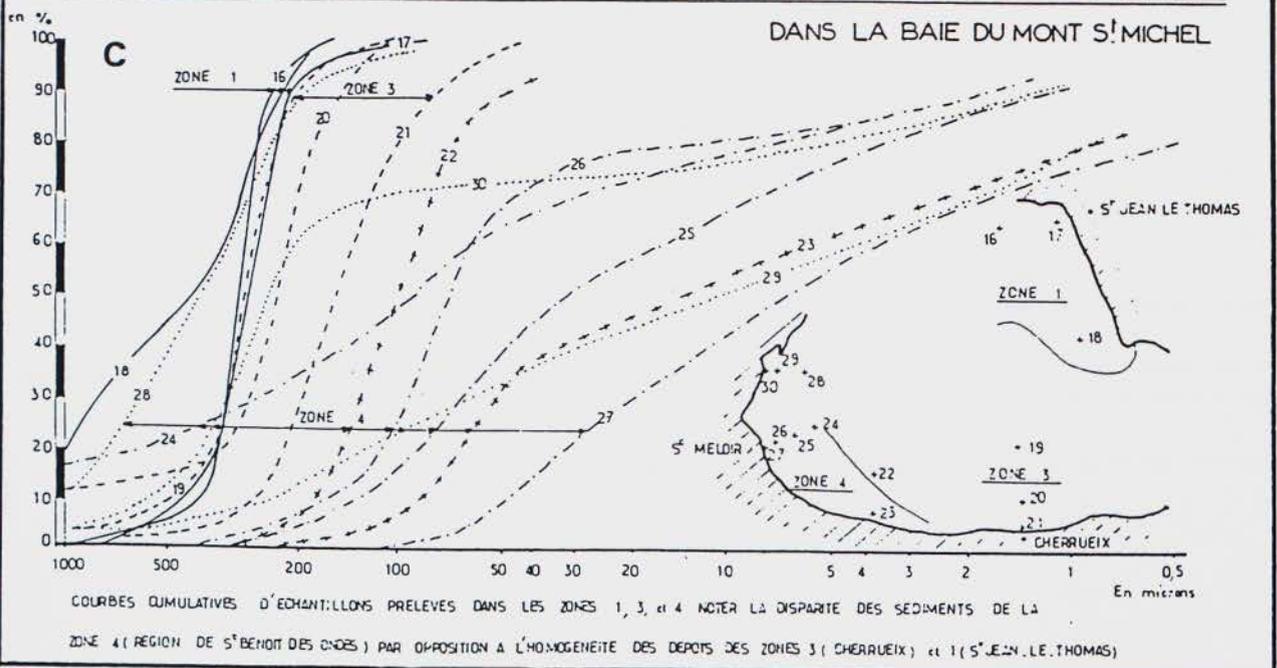
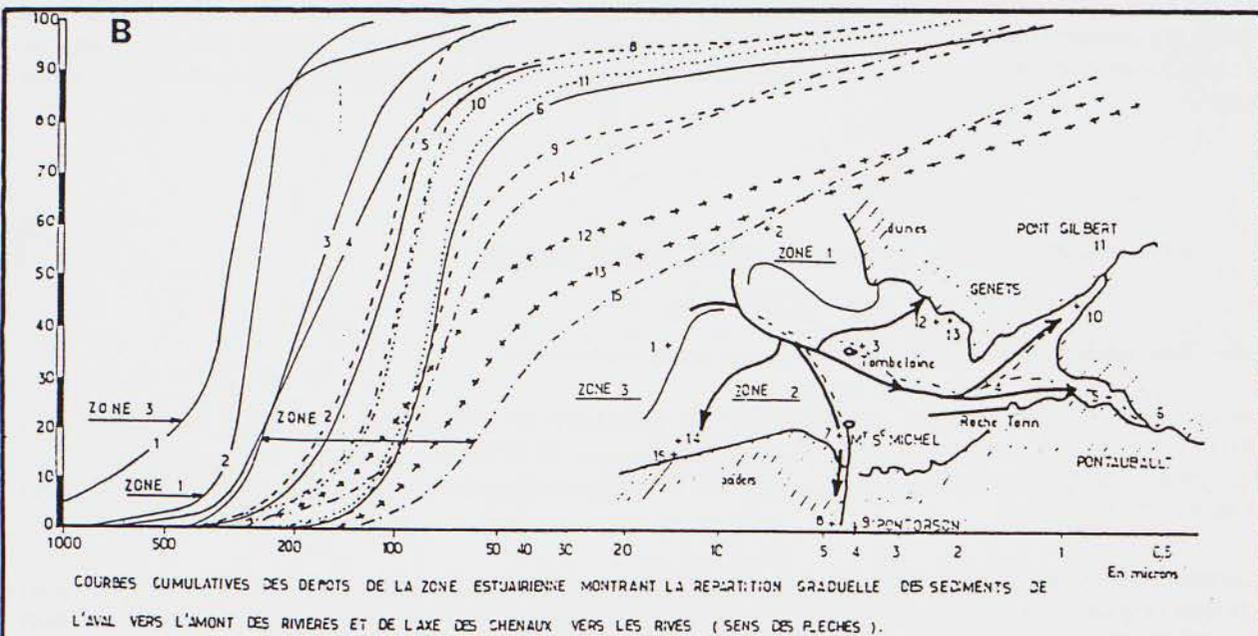
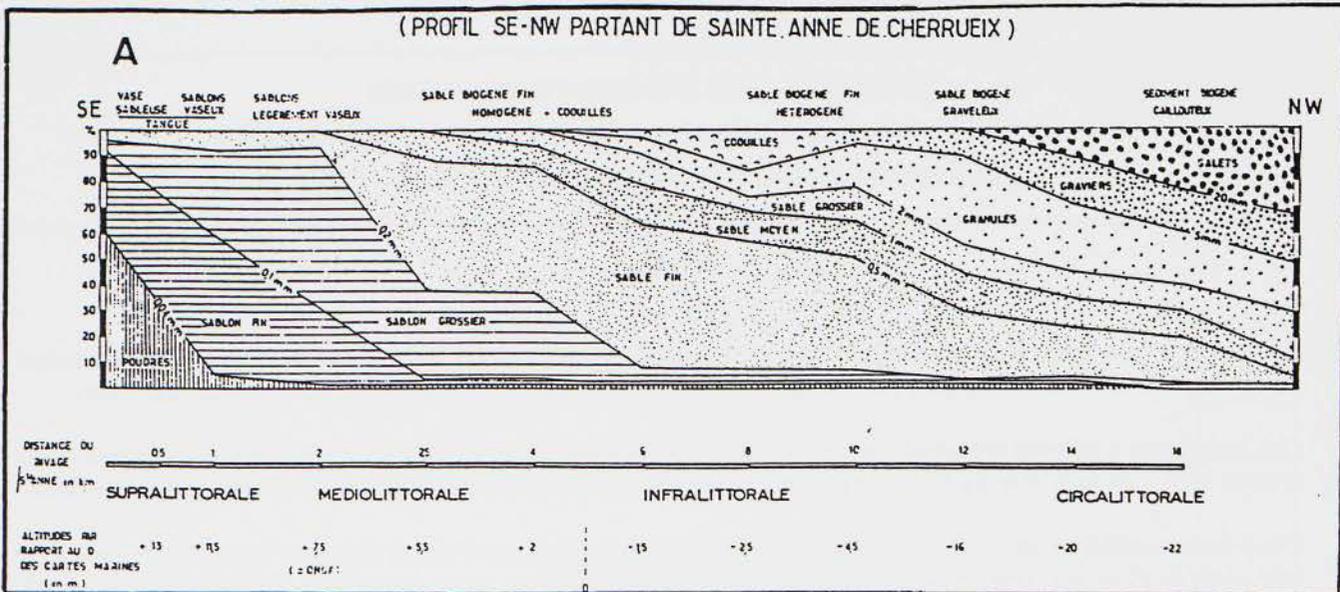
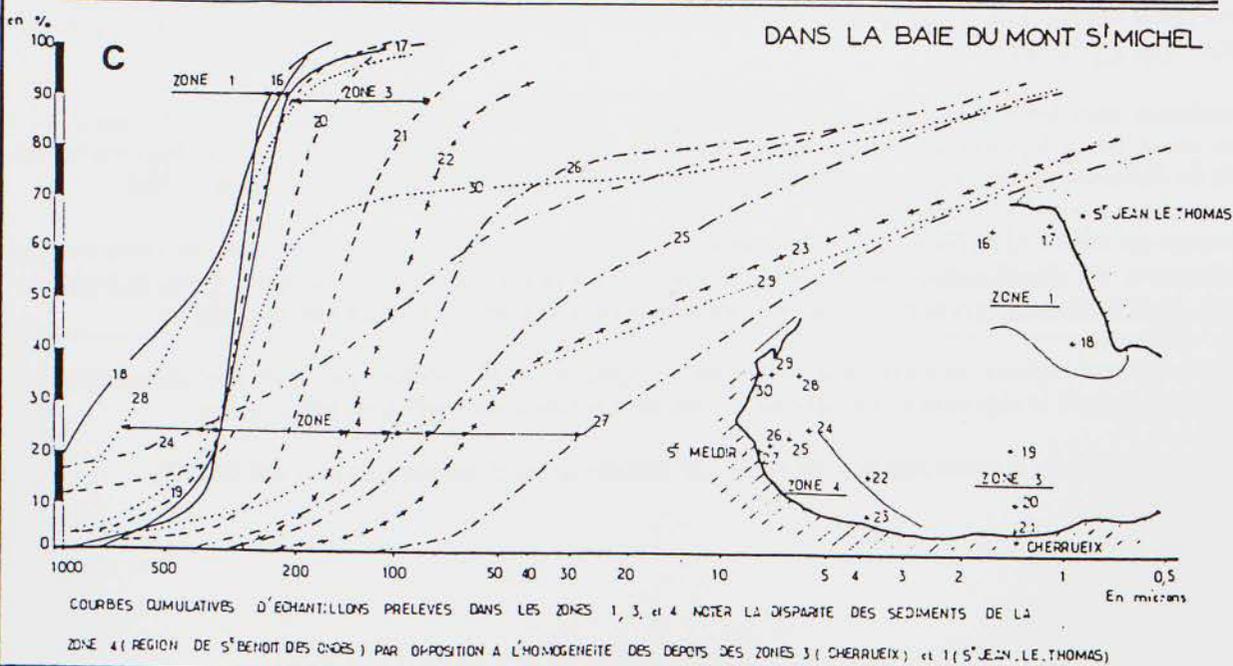


FIGURE N° 68 : GRANULOMÉTRIE DES SÉDIMENTS DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

(PROFIL SE-NW PARTANT DE SAINTE ANNE DE CHERRUEIX)



COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE DES SÉDIMENTS DE LA CÔTE VERS LE LARGE



IV.1.2. Les sédiments dans la grande baie du Mont Saint Michel

La répartition des sédiments dans la baie du Mont Saint Michel confirme que les matériaux s'affinent progressivement du large vers la côte.

Cette évolution graduelle des dépôts est mise en évidence par le diagramme (R. MATHIEU) réalisé sur un profil Sud-Est – Nord-Ouest de 18 km de long reliant la Chapelle Sainte Anne aux profondeurs situées à 20 m sous le zéro des cartes marines (-27 m I.G.N. 69). On constate que la nature et les proportions des différentes fractions granulométriques varient entre le large et la côte. Les galets apparaissent par des fonds de -12 m sous les plus basses mers, suivis des graviers puis des sables moyens à grossiers, les sables fins et les sablons n'apparaissant qu'à partir de 2 à 3 km du littoral pour faire place à la tanguie sur le haut estran ou schorre [Figure 68].

Les analyses granulométriques faites sur les échantillons superficiels prélevés dans la baie, permettent de différencier plusieurs secteurs :

- De Saint Jean le Thomas au bec d'Andaine : les sédiments sont très bien triés et dépourvus de fraction fine. Cette zone est soumise à une agitation assez forte et permanente due aux courants de marées et houles résiduelles.
- La zone « estuarienne » située au Sud-Est d'une ligne joignant le bec d'Andaine à la Chapelle Sainte Anne et englobant pratiquement toute la « petite baie du Mont Saint Michel » comporte surtout des sablons et des sédiments pélitiques représentés par la tanguie. On retrouve un affinement de ces sédiments fins de l'aval vers l'amont des rivières et de l'axe des chenaux vers la côte. La proportion de calcaire décroît comme la granulométrie, variant de 60 % à 40 % environ.
- La zone Ouest qui s'étend de la Chapelle Sainte Anne à Vivier sur Mer présente un herbu relativement étroit qui peut être recouvert partiellement par des bancs de coquilles. On passe ensuite à des sablons puis à des sables avec enrichissement de la fraction calcaire qui passe de 40 % à la côte à 75 % dans les sables de basse plage.

Au large de la Chapelle Sainte Anne, à proximité du bas estran, le « banc des Hermelles » est un bioherme construit par des annélides associés à des corps sableux et couvre une superficie de 4 km² qui tend à s'allonger vers le Sud-Est [27.e].

À l'abri de ce banc – qui forme une sorte de digue naturelle – les sédiments très fins peuvent se déposer.

De Vivier sur Mer à Cancale, on trouve une zone de dépôts fins ordonnés en bandes parallèles au rivage et sillonnés par une série de chenaux d'écoulement perpendiculaires à la côte. Les sédiments sont mal triés, le matériel pélitique n'est généralement pas lité – contrairement aux « tanguies » – et se rapproche des « vases ». Il s'agit d'une zone abritée où les actions des courants sont peu marquées en dehors des périodes de tempêtes au cours desquelles s'effectuent des apports sédimentaires plus grossiers.

IV.1.3. Les sédiments dans la petite baie

La figure 69 donne les répartitions de la granulométrie et des carbonates des sédiments de la baie.

On constate que toute la partie centrale de la petite baie, limitée par les fonds inférieurs à +4 m I.G.N. 1969, est constituée de « sablons » pratiquement dépourvus de particules très fines, inférieures à 40 micromètres, et ayant des diamètres moyens compris entre 0,10 et 0,15 mm.

Ces sablons ne sont pas lités et contiennent 45 à 55 % de calcaire constitué d'une fine moulure de coquilles de mollusques mêlée à des tests de foraminifères, des spécules d'éponges... La fraction minérale est constituée de grains de quartz auxquels s'ajoutent des paillettes de mica blanc scintillant au soleil. Ces sablons sont thixotropiques lorsque leur teneur en eau est importante, constituant de redoutables lises (sables mouvants).

La partie Nord-Est de la petite baie, du Grouin du Sud à Tombelaine, est constituée d'éléments sensiblement plus gros de 0,15 à 0,20 mm entre les fonds de +4 m I.G.N. et +5,5 m environ.

Au-dessus des fonds de +5 m I.G.N., on trouve en général des éléments ayant des diamètres inférieurs à 0,1 mm constituant la « tangué ». Ce matériau contient, en général, 15 à 75 % de particules inférieures à 40 micromètres et sa médiane oscille entre 0,03 et 0,09 mm. Le taux de calcaire varie entre 40 et 50 %. Il se présente sous forme d'un matériel hétérogène lité avec des alternances de lits très fins pélitiques et de lits de sablons de quelques millimètres d'épaisseur.

La tangué est largement représentée dans la zone estuarienne de la petite baie où elle occupe une frange littorale large pouvant dépasser 1 km et n'est, en général, recouverte que par seulement 30 % des marées (supérieures au coefficient 80) avec de longues périodes d'émersion.

Entre les fonds de +5 à +5,25 m I.G.N. et ceux de +3,5 à +4 m, les « sédiments tangués » apparaissent, en dessous des tangués, dans les zones recouvertes par 30 à 55 % de marées. Ces sédiments tangués sont surtout représentés au Sud de Genêts et à l'intérieur des estuaires de la Sée et de la Sélune ; la partie centrale de la petite baie étant constituée, comme il a été dit, par des sablons dépourvus d'éléments inférieurs à 40 micromètres.

Une étude très récente faite par l'E.P.H.E. [6] sur des dépôts de matériaux qui se sont déposés au cours d'une marée de vive eau, sur le parking Ouest du Mont Saint Michel, fait ressortir une différence appréciable entre les sédiments qui ont été apportés pendant la pointe de flot et ceux déposés en surface à l'étape de pleine mer.

Si, granulométriquement, ces deux types de dépôts ont des modes identiques, l'un principal de 63 µm, l'autre secondaire de 20 µm, le sédiment de surface est proportionnellement plus riche en fraction fine avec 35 % de particules ayant une taille inférieure à 10 µm alors que le sédiment total ne contient que 14 % de phase inférieure à 10 µm.

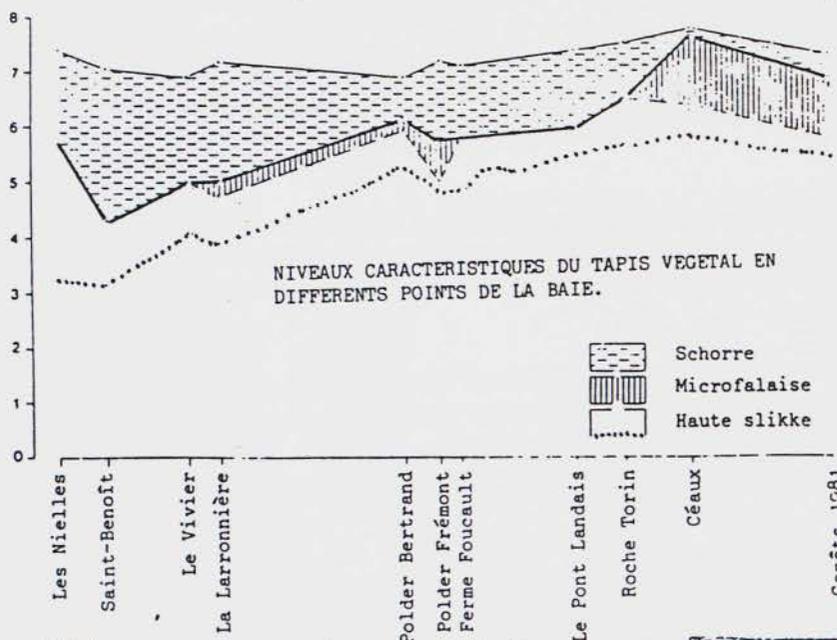
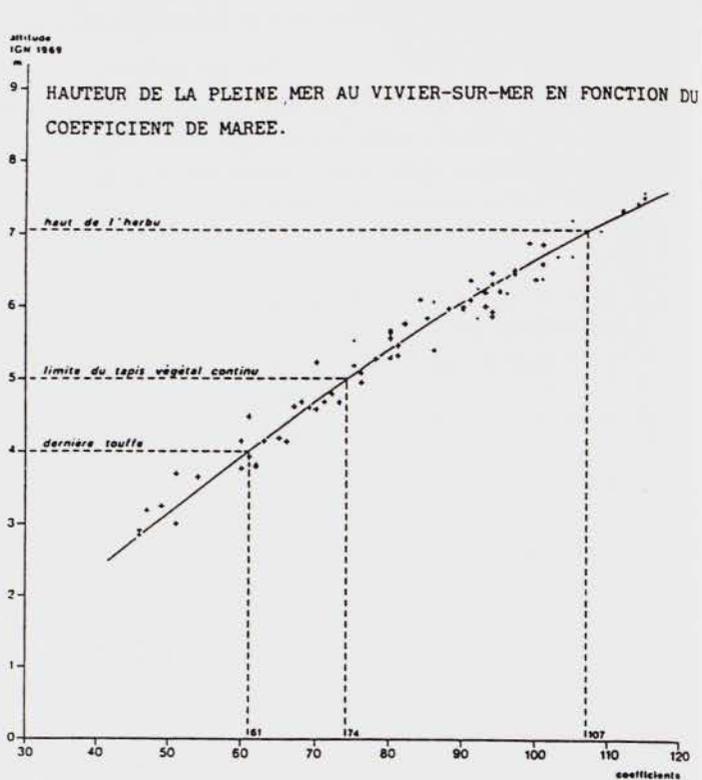
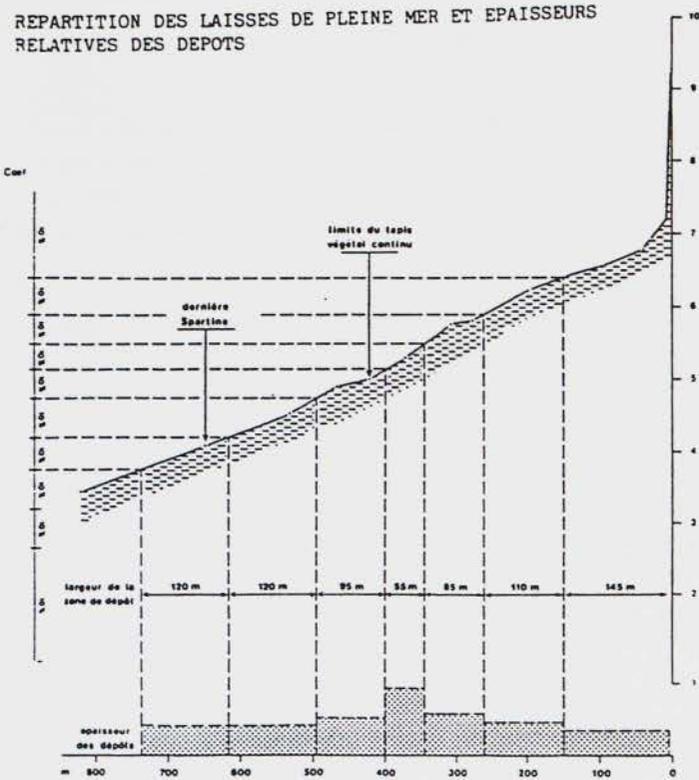
Le tableau ci-après, qui caractérise assez bien les sédiments susceptibles d'être apportés en suspension par les courants et susceptibles de se déposer au fond de la baie et dans les chenaux, donne les diamètres des particules correspondant aux différentes valeurs des courbes cumulatives (mesures faites à la pipette d'Andreassen et caractérisant des diamètres équivalents à des sphères de même densité et de même vitesse de chute que les sédiments naturels).

DIAMÈTRES ÉQUIVALENTS DES SÉDIMENTS TRANSPORTÉS ET DÉPOSÉS (EN MICROMÈTRES)							
(DÉPÔT AU COURS D'UNE MARÉE SUR PARKING OUEST DU MONT)							
Fractiles	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %
Parking Ouest surface	0,10	0,40	2,05	30	64	70	80
Parking Est total	0,4	1,5	28	55	70	75	80

IV.1.4. Les herbues

Sur le schorre et la haute slikke, la végétation peut s'installer favorisant la sédimentation et ralentissant l'érosion du substrat tangué.

REPARTITION DES LAISSES DE PLEINE MER ET EPAISSEURS RELATIVES DES DEPOTS



(d'après J. Le Rhon)

	haut de l'herbu (pied de la digue)	limite du tapis végétal continu	haute slikke
Les Nielles			(571)
Saint-Benoît		433	433
Le Vivier	691	500	500
La Laronnière	720	502	475
Polder Bertrand	692	614	596
Polder Frémont	721	574	593
Ferme Foucault	712	581	581
Le Pont Landais	737	594	594
Roche Torin	750	649	649
Céaux - Le Mézeray	779	766	638
Genêts 1979	727	687	578
Genêts 1981	732	693	599



FIGURE N° 70 : TANGUE ET HERBUS DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

Cette végétation ne peut s'implanter d'une façon importante – créant les « herbus » – que dans les zones élevées de l'estran et seulement atteintes ou recouvertes par les marées dépassant la cote +5 à +5,50 m I.G.N. 69, c'est-à-dire pour les marées supérieures au coefficient 75 à 80 ne représentant que 30 % du temps. Le développement de cette végétation implique un exhaussement préalable de la « tanguaie » et reste donc davantage une conséquence qu'une cause de l'évolution du sol [27.e. – 30].

Entre les cotes +4 et +5 m I.G.N., quelques touffes d'herbus peuvent apparaître mais ne forment pas un tapis végétal continu. Ces plantes « pionnières » de la haute slikke sont constituées de salicornes et de spartines qui semblent s'implanter indépendamment de la granulométrie du substrat mais principalement en fonction des temps d'émersion.

La spartine est apparue dans la baie du Mont Saint Michel au voisinage de Genêts, au début du XX^{ème} siècle, vers les années 1930, et a envahi progressivement le littoral pour atteindre les abords du Mont vers 1945.

Cette plante pérenne se présente sous forme de touffes serrées avec des rhizomes et des racines enchevêtrées particulièrement adaptées à la retenue des sédiments. Elle favorise la consolidation des sols et son exhaussement permettant de transformer rapidement la haute slikke en schorre [24.d. – 23.b. – 30].

La spartine, bien que très abondante dans l'état actuel, n'est pas toujours la plante dominante des herbus et, en 1971, on constatait qu'à l'Est du Mont les salicornes et sueda étaient les plus abondantes sur les bas niveaux des herbus, donnant aux grèves et en automne de jolies teintes rougeâtres. Ces plantes sont annuelles séchent sur pied à partir de Novembre en laissant, entre temps, leurs graines se disperser par la mer. Les rameaux de salicornes sont assez lâches et leurs racines assez grêles ont une action beaucoup plus faible pour la consolidation des sols que la spartine [Figure 70].

De même, les sueda et l'obione, au feuillage abondant et aux racines bien développées peuvent, dans certaines zones – telles qu'à l'Ouest du Mont – former l'espèce exclusive du schorre, le recouvrant d'un tapis végétal de 0,20 à 0,40 m de hauteur favorable à la rétention des sédiments apportés en suspension dans les eaux au cours des marées de vives eaux.

Précisons que si la cote +5,50 m I.G.N. semble la plus probable pour l'installation des herbus aux abords du Mont Saint Michel, les facteurs hydrodynamiques provenant des courants de marées et des clapots de vents sont loin d'être négligeables, contribuant à limiter la hauteur d'apparition des herbus à des altitudes plus importantes atteignant par exemple +6,50 m I.G.N. devant Genêts, mais descendant à +5 m au Vivier sur Mer. Les plantes « pionnières » s'installent en général à des cotes situées 0,50 m plus bas [45.a.] et J.E. LEVASSEUR estime que la limite inférieure de la spartine passe en quelques centaines de mètres de +5,40 à +4,10 m I.G.N. 69 sur la haute slikke [30].

IV.2. LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SÉDIMENTS ET LEUR COMPORTEMENT SOUS LES ACTIONS HYDRODYNAMIQUES

Le comportement des différents sédiments de la baie du Mont Saint Michel sous les actions hydrodynamiques, et notamment des courants de marées, dépendra de leurs caractéristiques granulométriques et minéralogiques [24.a. – 6].

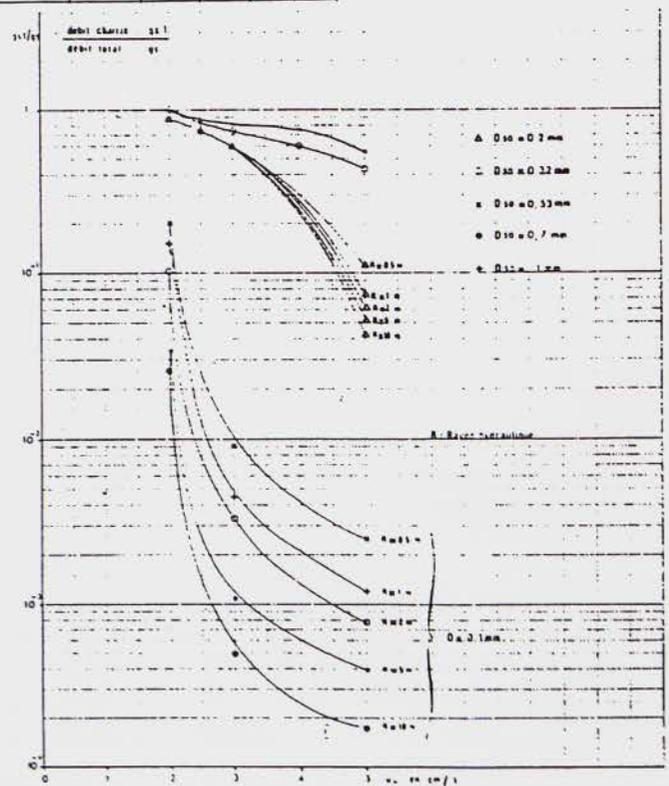
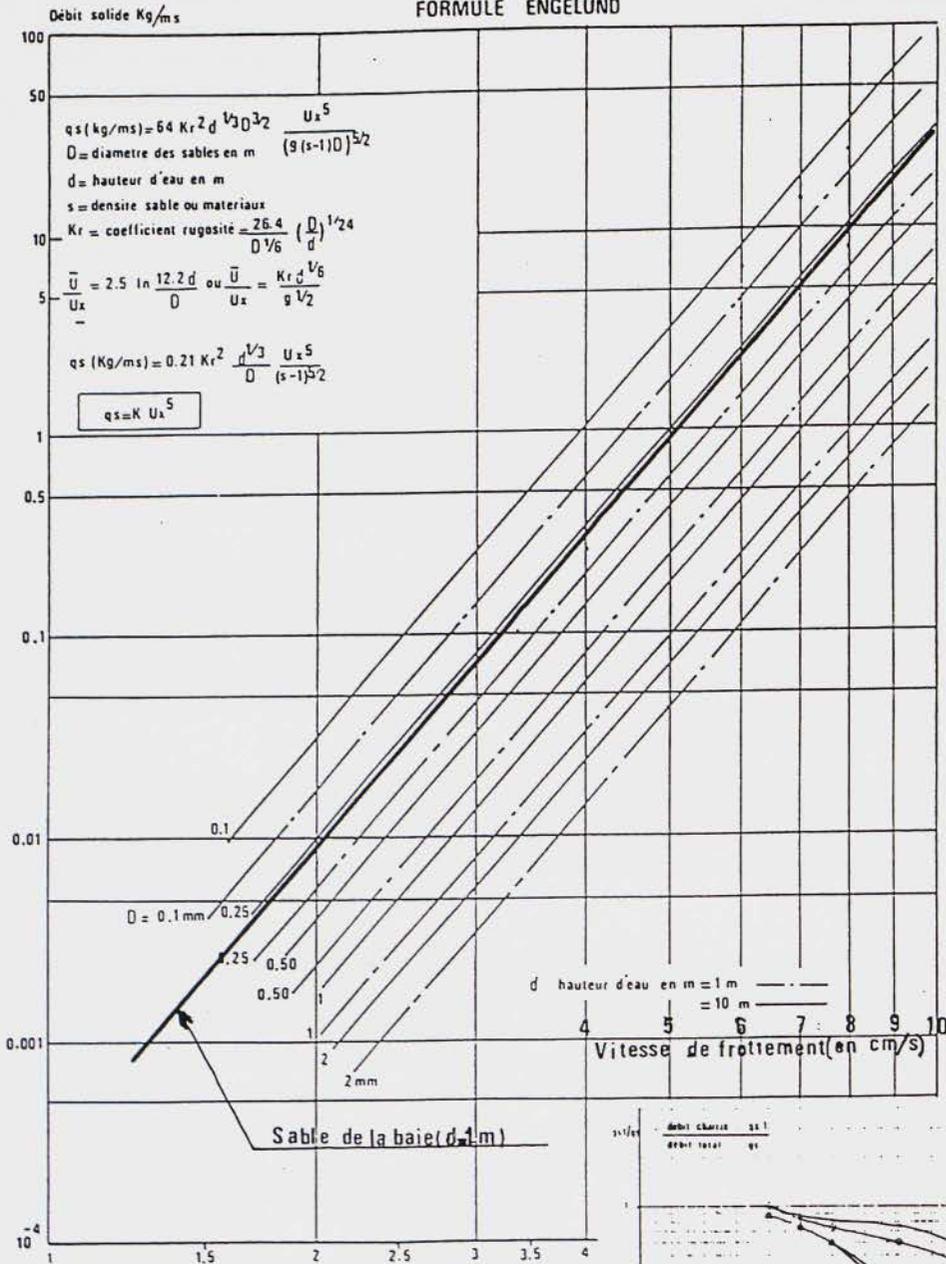
Vitesses de chute en eau calme, tassement et consolidation des dépôts, variation de leur rigidité ou cohésion dans le temps, vitesses ou contraintes critiques de remise en suspension... vont conditionner leurs conditions d'érosion, transport et dépôt.

Des études systématiques ont été réalisées en laboratoire et dans des canaux sur les différents types de matériaux rencontrés dans la baie, apportant des précisions sur leurs propriétés physiques et leur comportement sous l'action des courants, en distinguant plus spécialement les deux stocks sédimentaires prépondérants : les sables et la tanguaie.

FIGURE N°71 : DÉBIT SOLIDE DES SABLES TRANSPORTÉS PAR LES COURANTS
DÉBIT SOLIDE GLOBAL DES SABLES

EN FONCTION DE LA VITESSE DE FROTTEMENT

FORMULE ENGELUND



IV.2.1. Comportement des sables et sablons

Les sables et sablons fins contenus dans les sédiments de la baie ont, en moyenne, des vitesses de chute « W » en eau calme (température 15°C) qui dépendent de leur diamètre « D ».

Pour les éléments supérieurs à 0,2 mm et inférieurs à 1 mm, cette loi s'écrit :

$$W = 100 \text{ à } 120 D$$

Pour les particules inférieures à 0,15 mm, on tend vers un régime laminaire avec une expression de la forme :

$$W \text{ (cm/s)} = 0,75 \cdot 10^4 D^2 ; D \text{ en cm}$$

Ces valeurs sont valables pour les particules détritiques (grains de quartz), mais pour les débris bioclastiques (débris de coquilles) les vitesses de chute peuvent être sensiblement plus faibles, notamment pour les éléments supérieurs à 0,2 mm, et varier entre 0,8 et 0,5 fois les valeurs trouvées sur des particules détritiques lorsque l'on passe de 0,5 à 2 mm.

De même, les vitesses de chute « W » des particules élémentaires mesurées en eau calme sont fortement modifiées sous l'effet de la turbulence créée par un courant ou la houle. Ces vitesses de chute tendent vers une valeur plus faible « Wef » qui dépendra du rapport entre la contrainte de cisaillement « τ_0 » exercée par l'eau sur les fonds et la contrainte critique de début d'entraînement « τ_c » des particules [37.e].

$$W_{ef} = W \left(\frac{1 - \tau_0}{\tau_c} \right) \neq W \left(1 - \frac{U^2}{U_c^2} \right)$$

À partir de cette expression, on peut déterminer le pourcentage « p » de sédiments apportés en suspension dans les eaux qui peut se décanter dans un bassin ou un canal (type Couesnon) de profondeur « d » soumis à un courant de vitesse « U » pendant un temps « Tr ».

$$p = 1 - e^{\left(\frac{-W_{ef} Tr}{d} \right)}$$

Déposés sur les fonds, ces sables ou sablons se tassent relativement peu mais peuvent rester gorgés d'eau, notamment s'ils sont fins, et présenter des propriétés thixotropiques. Les teneurs en eau sur des échantillons prélevés en nature donnent des valeurs voisines de 30 % et correspondent à des concentrations en sédiments de l'ordre de 1.500 g/l.

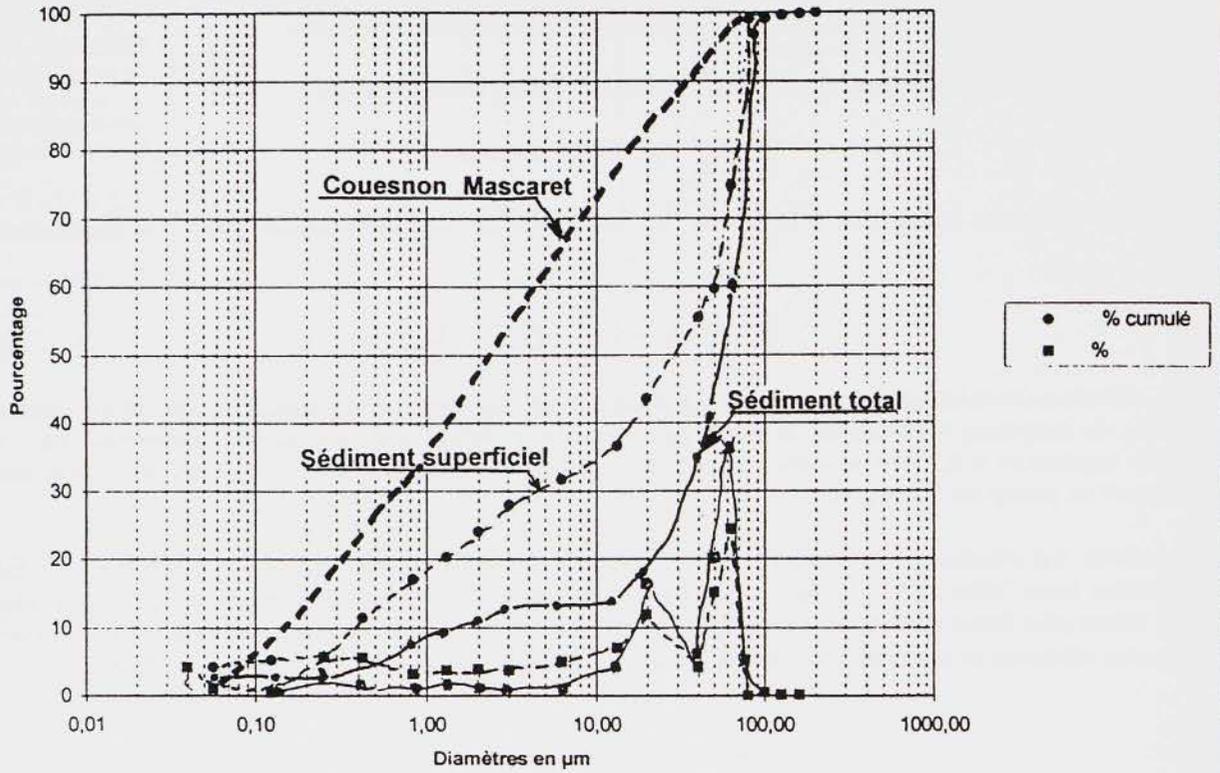
Sous l'action d'un courant, ces sables fins sont remis en suspension dès que la contrainte de cisaillement « τ_0 » exercée par l'eau sur les fonds dépasserait 0,3 N/m², soit une vitesse de frottement de 1,7 cm/s et une vitesse moyenne (pour une hauteur d'eau de 0,50 m) de 0,40 à 0,50 m/s.

Les débits solides transportés varieraient comme la quatrième ou cinquième puissance de la vitesse et s'effectueraient – compte tenu de la granulométrie très fine des sables et des sablons – presque uniquement en suspension avec un gradient des turbidités sur la verticale [Figure 71].

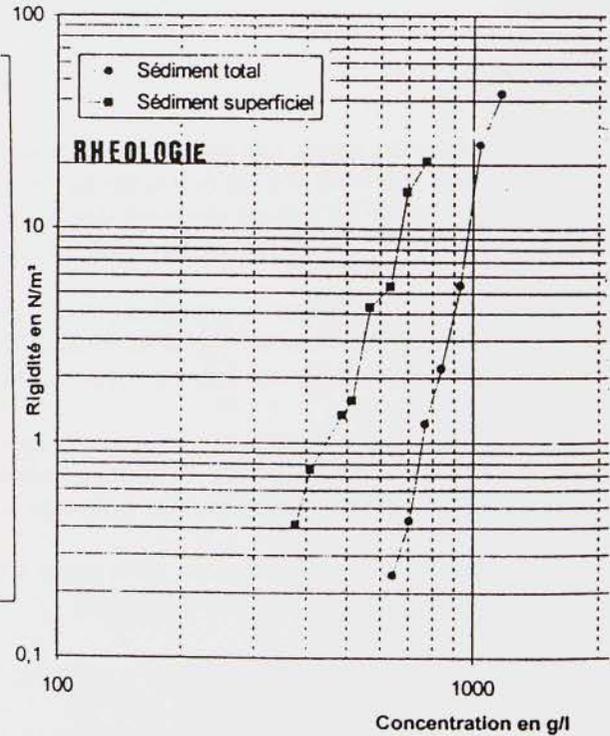
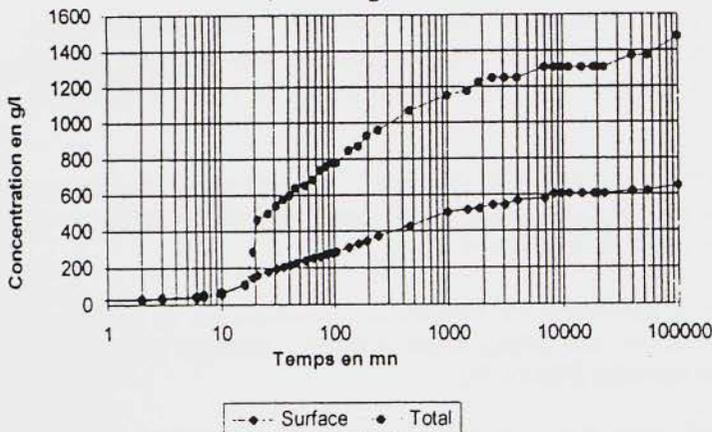
Des mesures faites en nature en 1975 par le L.C.H.F. dans la baie du Mont Saint Michel, permettent de préciser ces lois de transports des sédiments.

72 ANALYSE DES SEDIMENTS TRANSPORTES ET DEPOSES A PLEINE MER
A PROXIMITE DU MONT SAINT-MICHEL

Parking Ouest Avril 1998



Tassement Sédiment Parking Ouest
Concentration: 25g/l - Hauteur: 1m



IV.2.2. Comportement des tangues

Les tangues contiennent en général 15 à 75 % d'éléments pélitiques inférieurs à 40 micromètres et ont des diamètres moyens compris entre 0,03 et 0,09 mm ; la fraction pélitique ayant une médiane de 2,7 microns (déterminée à la pipette d'Andreasson).

Les propriétés physiques ont été déterminées, d'une part, sur une tange prélevée en 1971 à la limite de la slikke et du schorre [24.a], d'autre part, sur les matériaux prélevés récemment sur le parking Ouest du Mont [6].

La tange prélevée sur la haute slikke en 1971 avait un diamètre moyen de 0,06 mm et contenait 20 à 25 % d'éléments inférieurs à 40 microns.

Ce matériau a une vitesse de chute en eau calme pouvant atteindre 0,15 mm/s en eau de mer avec possibilité de ségrégation des particules plus grossières, ce qui pourrait expliquer le litage constaté sur les dépôts. Sa vitesse de chute augmente avec la concentration de la suspension en particules solides et avec la salinité des eaux (3 à 4 fois plus faible en eau douce).

Déposée sur les fonds, cette tange subit un tassement en fonction du temps, sa concentration moyenne en sédiments secs passant de 600 g/l après quelques heures de dépôts à 800 g/l après un jour pour atteindre 900 g/l après une semaine et dépasser 925 g/l après deux mois.

Ces dépôts présentent un gradient de concentration qui passe, après 100 jours de tassement, de 400 g/l à 450 g/l en surface sur les premiers centimètres pour atteindre 600 g/l à 10 cm et plus de 1.100 g/l à 20 cm, avec un maximum de 1.250 g/l (densité de 1,70).

Les sédiments prélevés sur le parking Ouest du Mont, en Avril 1998, avaient une concentration moyenne en sédiments secs de 1.160 g/l pour le sédiment total ne contenant que 14 % d'éléments inférieurs à 10 µm et 780 g/l pour le sédiment de surface contenant 35 % d'éléments inférieurs à 10 µm.

Le tableau ci-après et la *figure 72* donnent la variation des concentrations moyennes des dépôts en fonction du temps de tassement (hauteur d'éprouvette : 1 m – concentration initiale : 25 g/l).

CONCENTRATION MOYENNE DES DÉPÔTS EN FONCTION DU TEMPS (TASSEMENT) (EN G/L)						
Durée	1 heure	1 jour	3 jours	1 semaine	1 mois	3 mois
Sédiments surface	250	520	600	600	620	650
Sédiment total	680	1.180	1.300	1.310	1.370	1.470
Anciennes mesures 1971	540	780	815	860	915	950

La rigidité de la tange prélevée en 1971 variait avec son état de tassement et sa concentration « Ts » suivant une loi voisine de :

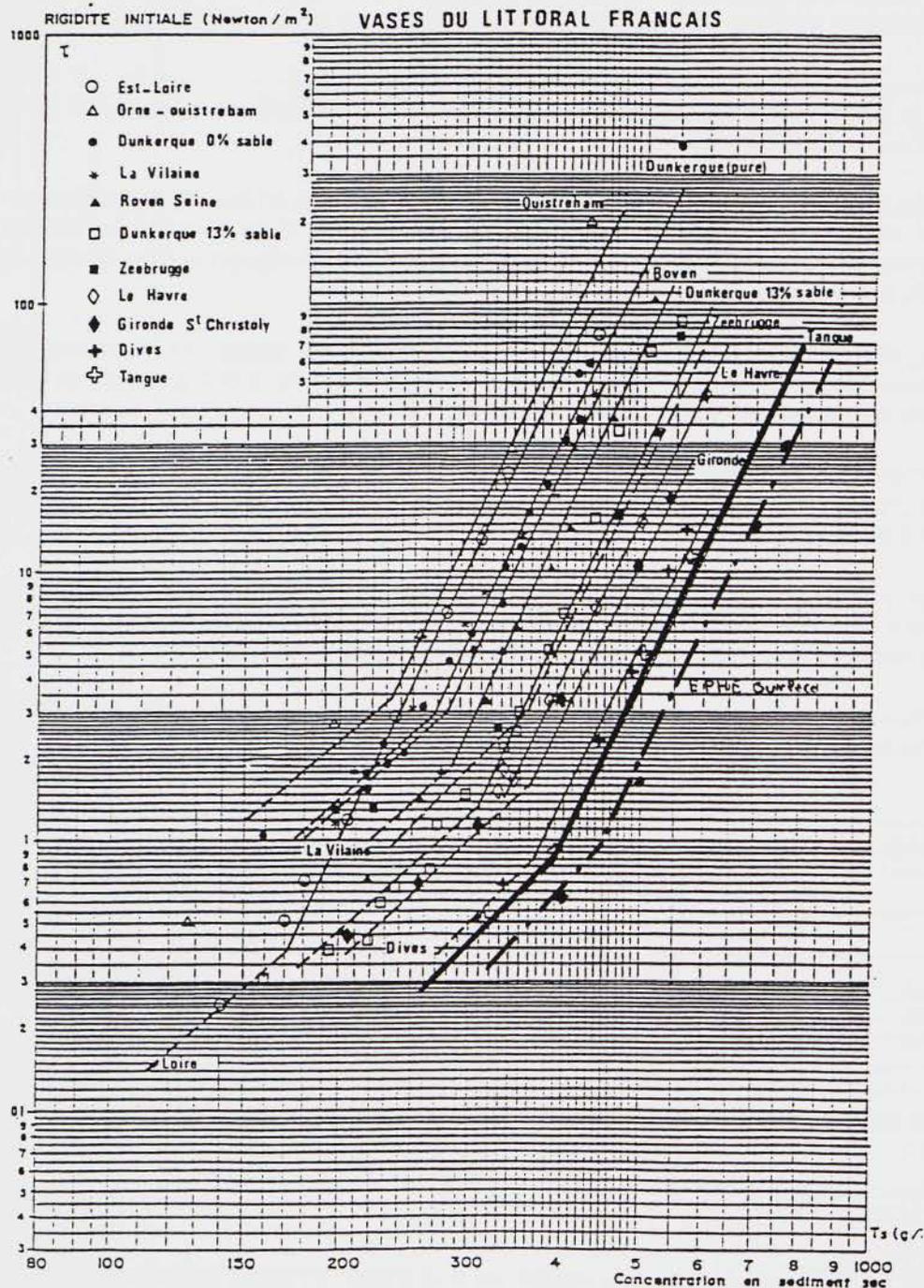
$$\tau_y \text{ (N/m}^2\text{)} = 0,25 \cdot 10^{-15} \text{ Ts}^6 \text{ (en g/l)}$$

Cette tange fraîchement déposée aurait donc une rigidité de 5 à 6 N/m² et serait encore relativement « fluide », alors qu'après un jour de tassement elle atteint 50 N/m² et devient très « plastique » pour passer à près de 150 N/m² après une semaine, lui donnant une consistance rigide.

La nature du milieu aqueux (eau douce ou eau de mer) ne semble pas affecter dans une large mesure ces propriétés rhéologiques. Par contre, le pourcentage d'éléments pélitiques ou colloïdaux contenus dans les tangues pourra modifier leur comportement, la rigidité étant d'autant plus importante – à concentration identique en sédiments secs – que le pourcentage d'éléments très fins sera important.

FIGURE N°73 : RIGIDITÉ DE LA TANGUE EN FONCTION DE SA CONCENTRATION EN SÉDIMENTS SECS

RIGIDITE INITIALE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN SEDIMENT SEC



Les mesures faites sur les sédiments fraîchement déposés sur le parking à l'Ouest du Mont donnent des résultats comparables, mais permettent de bien différencier les propriétés rhéologiques des sédiments superficiels déposés à l'étape des pleines mers des sédiments plus grossiers apportés au cours de la marée [Figure 72].

RIGIDITÉ DES DÉPÔTS EN FONCTION DE LEUR CONCENTRATION EN SÉDIMENT SECS (DÉPÔTS PARKING OUEST)									
(EN N/M² OU PASCAL)									
Concentration (g/l)	400	500	600	700	800	900	1.000	1.100	1.200
Sédiments surface	0,65	1,5	5,0	15	21	-	-	-	-
Sédiment total	-	-	0,5	0,4	1,5	4,5	22	40	-
Anciennes mesures 1971	0,8	3,5	11	30	65	130	-	-	-

Ces matériaux du type « tangué » ont, dans tous les cas, et à concentration en sédiments secs égale, des rigidités beaucoup plus faibles que celles des vases marines ou estuariennes, riches en argile, que l'on peut rencontrer en nature, 100 fois plus faibles que celles de la Loire par exemple [Figure 73].

Les mesures de perméabilités faites par L. MENARD donnent des valeurs comprises entre 10^{-4} et 10^{-6} cm/s avec une moyenne de 10^{-5} cm/s classant ce sédiment tangué dans les sols semi-perméables.

La pente moyenne des talus d'éboulement des tangues à l'état pur, c'est-à-dire non colonisées par la végétation, dépend de la rigidité initiale des dépôts et varie suivant qu'elle est immergée ou émergée suivant l'expression :

$$\text{Tangue immergée : } \text{tg}\alpha = 0,01 \tau_y \text{ (en N/m}^2\text{)}$$

$$\text{Tangue émergée : } \text{tg}\alpha' = 0,003 \tau_y \text{ (en N/m}^2\text{)}$$

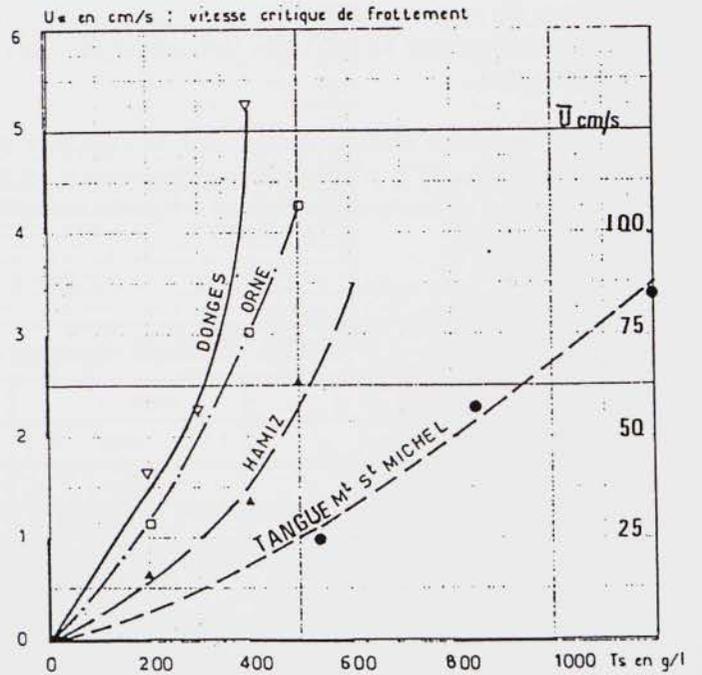
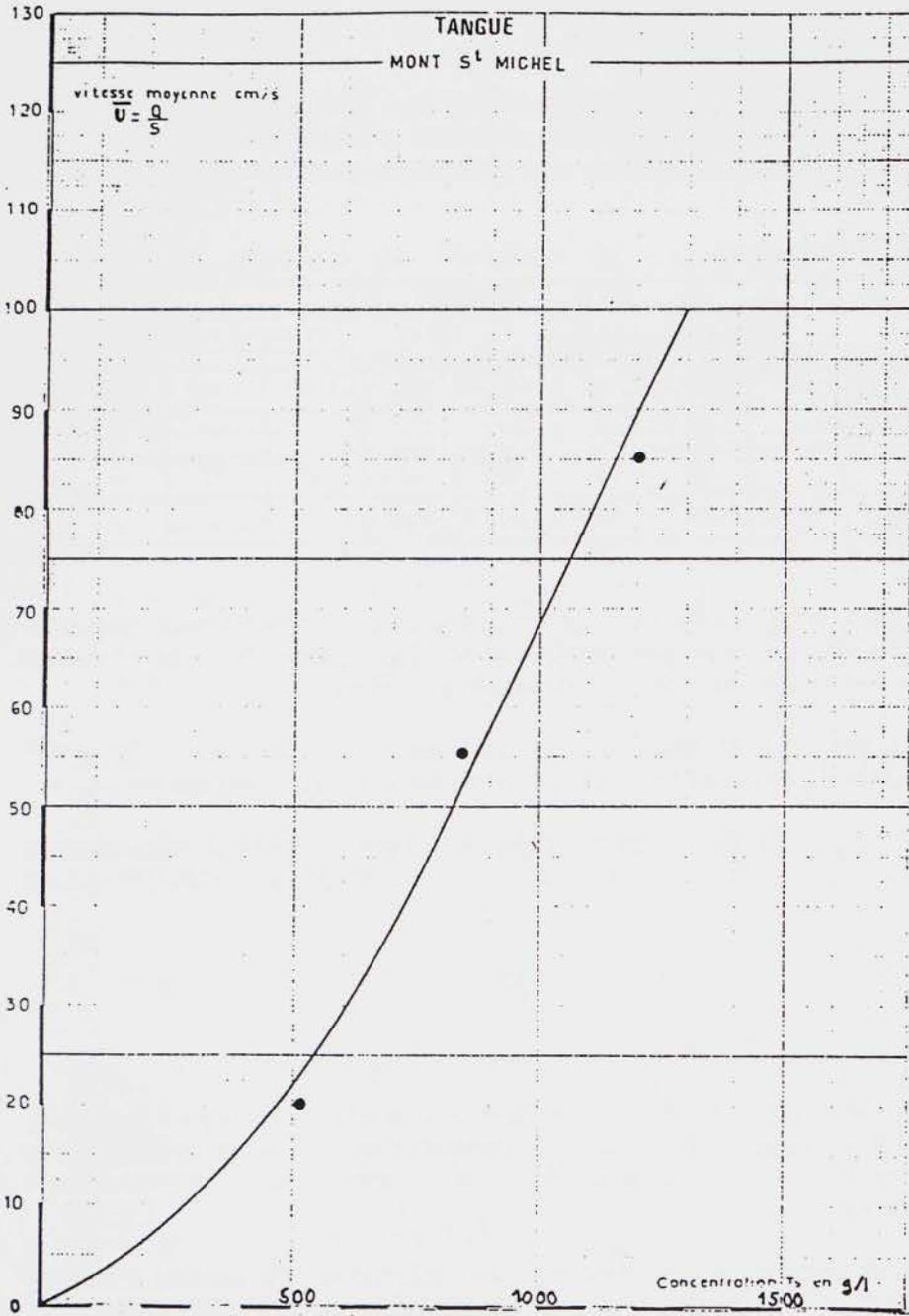
La variation de la pente d'équilibre des dépôts de tangué est extrêmement rapide en fonction de la concentration en particules passant d'une pente de quelques degrés pour une tangué qui vient de se déposer, à une pente très raide de 30 à 35 degrés ($\text{tg}\alpha = 0,60$) pour un dépôt de 24 heures et à une pente pratiquement verticale pour un dépôt de quelques jours.

L'émergence des dépôts a une grande influence sur leur équilibre pouvant entraîner l'éboulement d'un talus imparfaitement consolidé mais favorisant par ailleurs le tassement du dépôt et sa consolidation pour certaines conditions. En moyenne, pour une même concentration en particules solides, la pente d'un dépôt émergé est 3 fois plus faible (pour sa tangente) que celle du même dépôt (non colonisé par la végétation) d'un dépôt de tangué immergé.

Comme pour les pentes d'équilibre des talus, la vitesse critique d'érosion de la tangué (contenant dans le cas des mesures 20 % d'éléments pélitiques) est très sensible à la concentration des dépôts, les tangues s'érodent – à concentrations égales en particules solides – beaucoup plus facilement que les vases argileuses [Figure 74].

TANGUE – VITESSES CRITIQUES D'ÉROSION EN CM/S			
Concentration en g/l	1.200	850	540
Vitesse moyenne U	0,85	0,55	0,20
Vitesse critique u^*	3,4	2,5	1
Contrainte d'érosion τ_c (N/m ²)	1	0,62	0,1

FIGURE N°74 : VITESSES CRITIQUES D'ÉROSION DES TANGUES



IV.2.3. Comportement des herbus

L'érosion des « herbus » ne se produit jamais par action directe du courant sur la surface couverte de végétation. Elle se fait par sapement latéral à la suite d'un déplacement horizontal d'un chenal ou d'une filandre quelque soit son importance. La création de ces microfalaises ou « tallards » peut être suivie d'éboulements, accélérant le processus et permettant ainsi de s'opposer localement au développement des herbus.

La répartition verticale des séquences sédimentaires dans ces zones d'herbus peut avoir une grande importance sur le processus d'érosion latérale.

IV.3. LES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES DANS LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL

Sous les actions hydrodynamiques (courants de marées – clapots – vents...), les différents sédiments de la baie du Mont Saint Michel sont soumis à des transports importants dont la résultante se traduira par des dépôts en fond de baie ou des creusements de chenaux, qui pourront évoluer d'une façon aléatoire modifiant localement la morphologie des fonds.

Les campagnes de mesures en nature réalisées par le L.C.H.F. en 1971 et 1975 [24.a.b.] permettent de quantifier ces mouvements sédimentaires tant à l'entrée de la petite baie qu'au voisinage du Mont Saint Michel. Des compléments d'informations sont donnés par les nouvelles mesures réalisées en 1996-1997 par l'Université de Caen (GRESARC) et l'Association Rivages pour le compte de la mission Mont Saint Michel.

IV.3.1. Les transports en suspension sous l'action des courants de marées – Vitesses et turbidités dans la petite baie

Des mesures systématiques de courant et de turbidité (concentration en particules solides dans les eaux) ont été réalisées en 7 points de la petite baie, au cours de différentes marées dont des coefficients voisins de 85 à 90 (vives eaux moyennes), et en 3 profondeurs différentes correspondant au voisinage du fond, à la mi-profondeur et à la surface (mesures 1975).

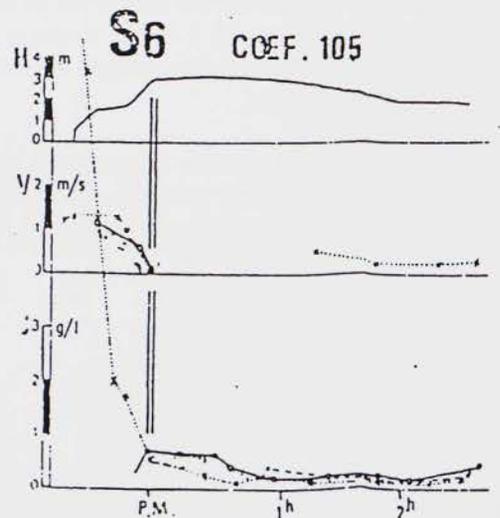
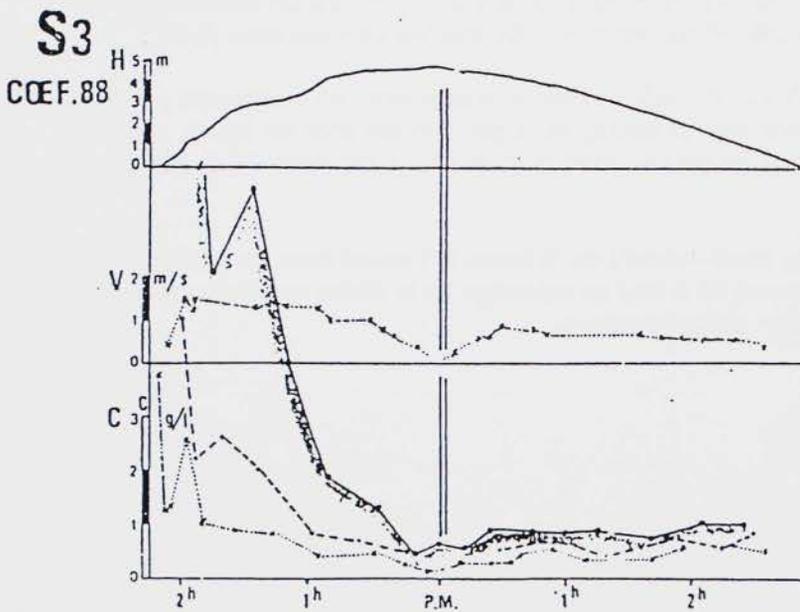
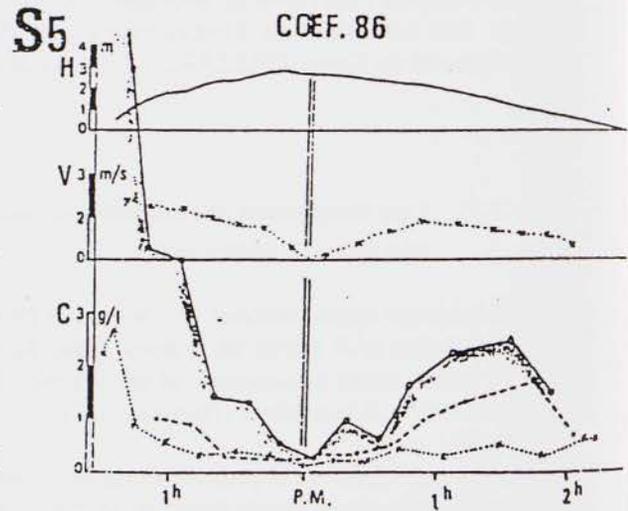
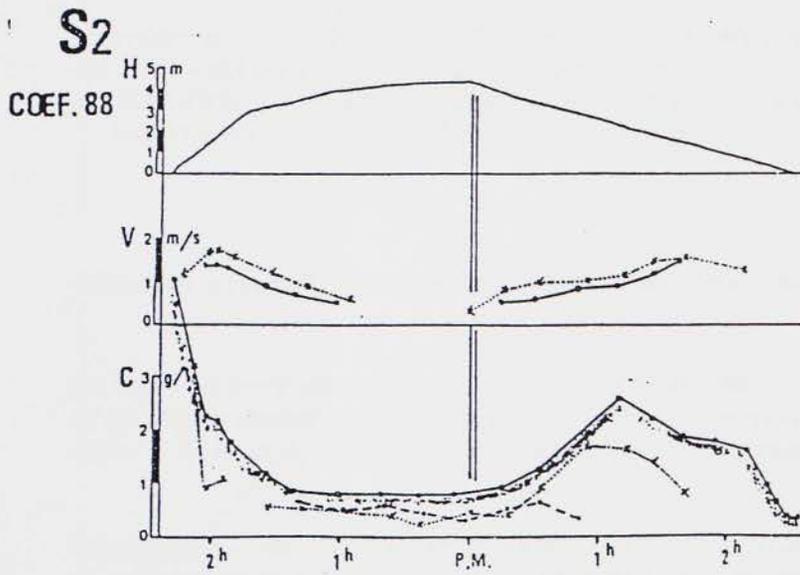
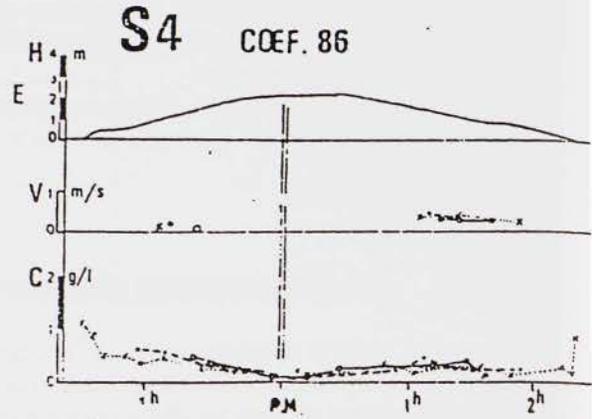
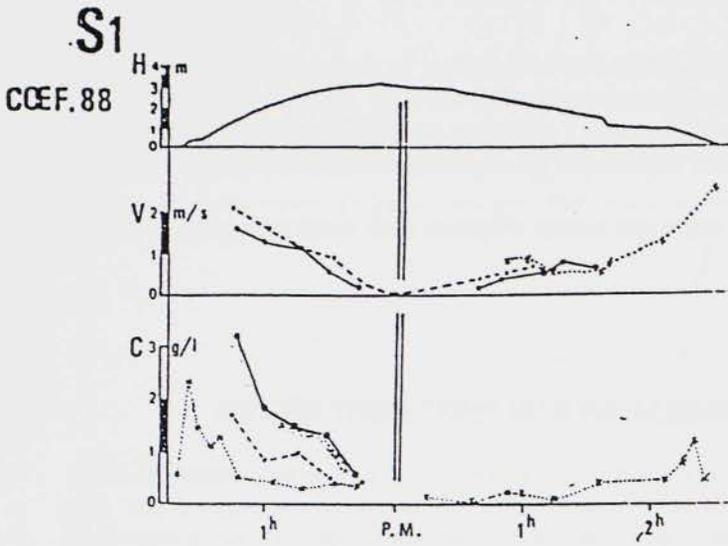
Toutes ces mesures prenaient en compte l'arrivée du flot – sous forme de mascaret ou non – qui, agissant sur une lame d'eau assez faible et se propageant avec une grande rapidité, était susceptible de remettre en suspension et de transporter des quantités importantes de sédiments.

La position de ces points de mesures a été donnée sur la *figure 53* et la *figure 75* donne un extrait des répartitions des vitesses et des turbidités au cours du flot et du jusant pour les marées de vives eaux [24.b.].

On constate pratiquement à toutes les stations une très forte remise en suspension des sédiments à l'arrivée du flot entre 2 heures et 1 heure avant la pleine mer (2 heures au large, 1 heure près du Mont), avec des concentrations en particules solides dépassant 7 g/l près du fond et étant en moyenne de 3 à 5 g/l pour les marées de vives eaux.

Cette forte turbidité ne dure qu'un temps assez court – variant de ½ heure à 1 heure avec un gradient assez faible entre la surface et le fond – et tombe à moins de 0,5 g/l au voisinage de la pleine mer avec un gradient beaucoup plus fort des concentrations en fonction des profondeurs.

FIGURE N° 75 : HAUTEURS D'EAUX, VITESSES ET TURBIDITÉS
AUX DIFFÉRENTS POSTES DE MESURES



En jusant, on retrouve une augmentation de la turbidité entre 1 heure et 2 heures après la pleine mer dans les chenaux « actifs » alimentés par les volumes d'eau accumulés dans les estuaires de la Sée et de la Sélune augmentés des débits propres des rivières, alors que dans les autres points de la baie les eaux se retiennent assez lentement sans provoquer de brusques variations dans les turbidités qui restent assez faibles. Le même phénomène se retrouve dans le chenal du Couesnon, entre le barrage et le Mont Saint Michel qui, lorsqu'il n'est pas alimenté par un débit de crue de la rivière, ne présente pas d'augmentation appréciable de la turbidité des eaux caractéristique d'une reprise des matériaux.

La *figure 76*, sur laquelle on a regroupé les turbidités moyennes en fonction de la vitesse des courants, avec un détail pour les vitesses inférieures à 1,50 m/s, montre **l'influence prépondérante des vitesses sur les quantités de sédiments susceptibles d'être érodés et transportés.**

Les particules inférieures à 40 micromètres – que l'on retrouve dans les tangues – sont presque toujours dans les eaux qui pénètrent dans la petite baie où elles forment le « bruit de fond » avec des concentrations de 0,05 à 0,10 g/l.

Lorsque la vitesse « \bar{U} » du courant augmente, les siltés et sablons sont remis en suspension avec les sédiments plus fins, suivant une loi de la forme :

$$\text{Concentration Ts en g/l} = 0,8 \bar{U}^{5/2} \quad (\bar{U} \text{ en m/s})$$

ce qui revient à démontrer que le transport solide en suspension varie comme la cinquième puissance de la vitesse du courant.

IV.3.2. Influence du coefficient de la marée sur le transport solide en suspension

Aux différents points de mesures, les vitesses et turbidités ont été mesurées pour des coefficients de marées compris entre 65 et 115, les mesures portant pour certains postes sur 5 marées différentes, permettant d'établir une relation entre le transport solide en suspension au cours du flot et du jusant en fonction des caractéristiques de la marée.

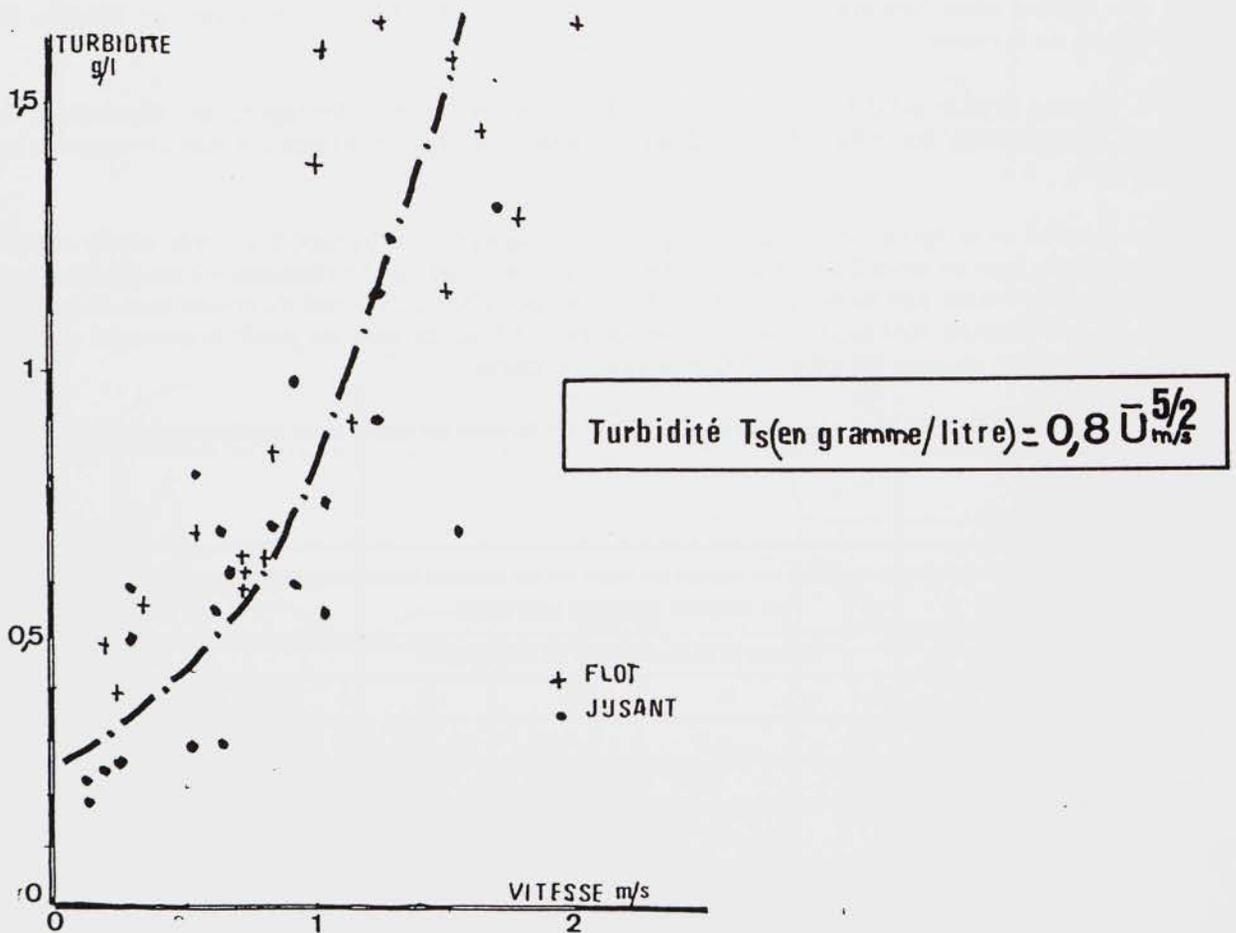
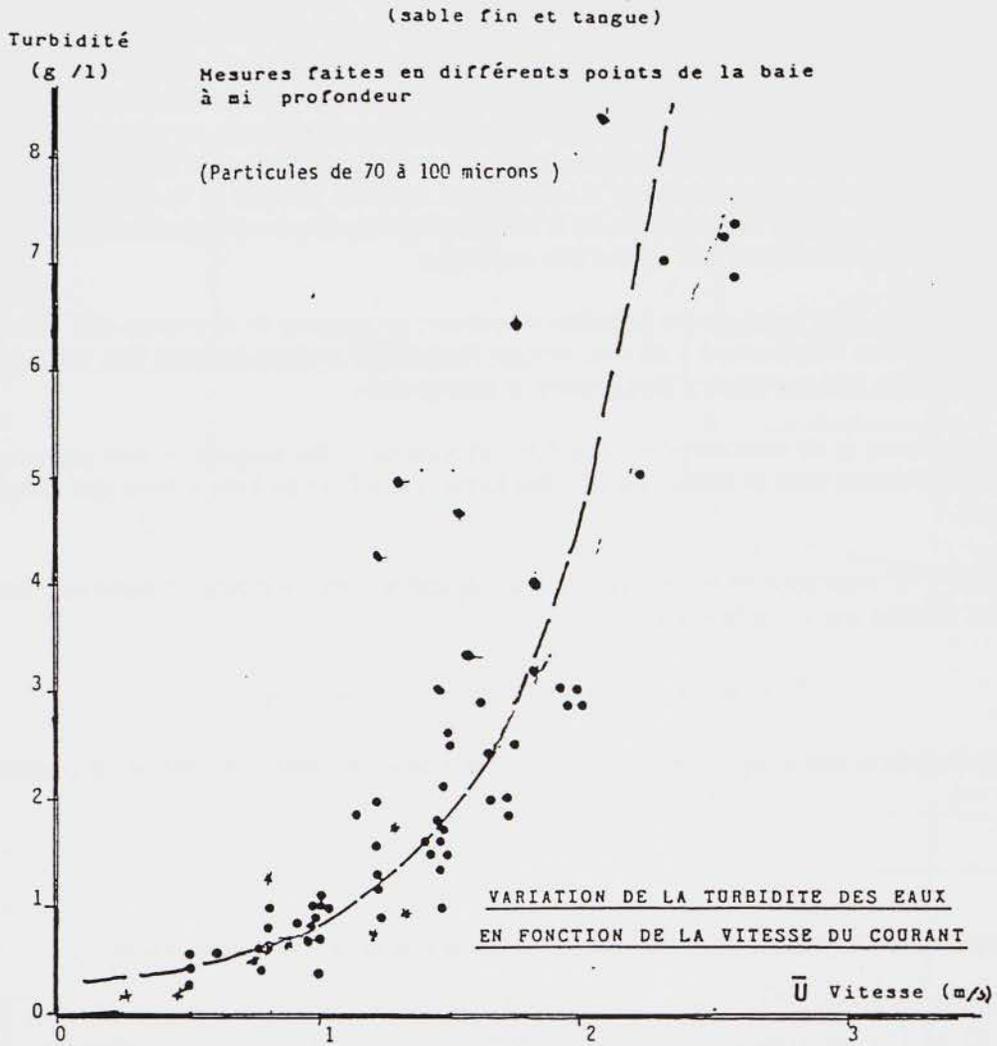
De même, on peut évaluer en différents points de la baie, les capacités de transports qui dépendront des profondeurs en ces points aux différents instants de la marée, des vitesses et des turbidités moyennes aux mêmes instants.

Le tableau ci-après et la *figure 77* donnent un aperçu des capacités de transport en trois points situés à l'entrée de la petite baie du Mont Saint Michel, d'une part au Sud-Ouest de Tombelaine – à mi-distance avec la côte – (point S1), d'autre part au Nord-Est de Tombelaine (point S2) à proximité du chenal issu de la Sée – Sélune où les profondeurs sont supérieures à celles du point S1 qui caractérise plutôt le domaine tributaire du Couesnon, enfin en un point S3 situé à 750 m du bec d'Andaine.

On a admis que 1 m³ de sable – sablon déposé contenait 1,5 tonnes de sédiments conformément aux mesures faites sur le terrain.

TRANSPORTS SPÉCIFIQUES SOLIDES AU COURS DU FLOT ET DU JUSANT POUR DIFFÉRENTS COEFFICIENTS DE MARÉES (EN M³/M LINÉAIRE)						
Station S1 au Sud-Ouest de Tombelaine						
Coefficient de marée	64	71	76	88	103	115
Flot	0,1	1,3	0,75	3,0	8,3	-
Jusant	0,1	0,5	0,55	1,4	1,6	-

**FIGURE N°76 : VARIATION DES TURBIDITÉS MOYENNES
EN FONCTION DE LA VITESSE DES COURANTS**



TRANSPORTS SPÉCIFIQUES SOLIDES AU COURS DU FLOT ET DU JUSANT POUR DIFFÉRENTS COEFFICIENTS DE MARÉES (EN M³/M LINÉAIRE)						
Station S2 au Nord-Est de Tombelaine						
Flot	-	8,8	-	12,8	15,5	25
Jusant	-	7	-	13,4	18,3	35
Station S3 (750 m bec d'Andaine)						
Flot	-	10,1	-	30	20	-
Jusant	-	3,1	-	7,8	14	-

Les transports en suspension sont nettement plus faibles – par mètre linéaire – à la station S1 qu'aux stations S2 et S3 et le transport en flot est prépondérant à la station S1 située au Sud-Ouest de Tombelaine ; le phénomène inverse se produit à la station S2 située au Nord-Est pour redevenir prépondérant en flot près du bec d'Andaine.

Dans tous les cas, les apports en flot s'effectuent sur une durée très courte de 1 heure ½ environ alors que le jusant se prolonge pendant près de 3 heures ; les écoulements de drainage et fluviaux continuant ensuite dans les chenaux et filandres issus des rivières pendant le reste de la marée.

L'amplitude de la marée est un facteur prépondérant dans ces mouvements sédimentaires qui, en un même point, varient dans des rapports de 1 à 6 lorsque l'on passe d'une marée moyenne (coefficient 70) à une marée de vive eau supérieure au coefficient 100.

IV.3.3. Évaluation des bilans de transports sédimentaires en suspension à l'entrée de la petite baie

IV.3.3.1. MESURES EN NATURE EN 1975

L'évaluation d'un bilan sédimentaire à l'entrée de la petite baie du Mont Saint Michel nécessiterait un nombre de postes de mesures très important si l'on désire obtenir des valeurs parfaitement fiables.

Si l'on peut aborder les ordres de grandeur des quantités de sédiments remaniés, tant en flot qu'en jusant au cours d'une marée, il serait illusoire de vouloir en tirer des conclusions sur leur différentiel et d'en déduire par cette méthode les taux d'érosion ou de sédimentation de la baie.

Par contre, cette approche permet de donner des ordres de grandeur sur les masses sédimentaires considérables susceptibles d'être remaniées au cours d'une marée, et par extrapolation mathématique au cours d'une année et de comparer ces remaniements aux quantités effectivement déposées au fond de la petite baie du Mont Saint Michel.

Cette approche a été faite par le L.C.H.F. et Pierre DOULCIER [18] à partir des mesures de 1975 faites pour un coefficient de marée voisin de 88 (marée de vive eau moyenne).

La figure 78 donne les répartitions des débits liquides et des débits solides, au cours du flot et du jusant, dans les trois sections retenues, et le tableau ci-après donne le bilan des apports liquides et solides.

FIGURE N°77 : CAPACITÉS DE TRANSPORT DES SÉDIMENTS
 POUR DIFFÉRENTS COEFFICIENTS DE MARÉE

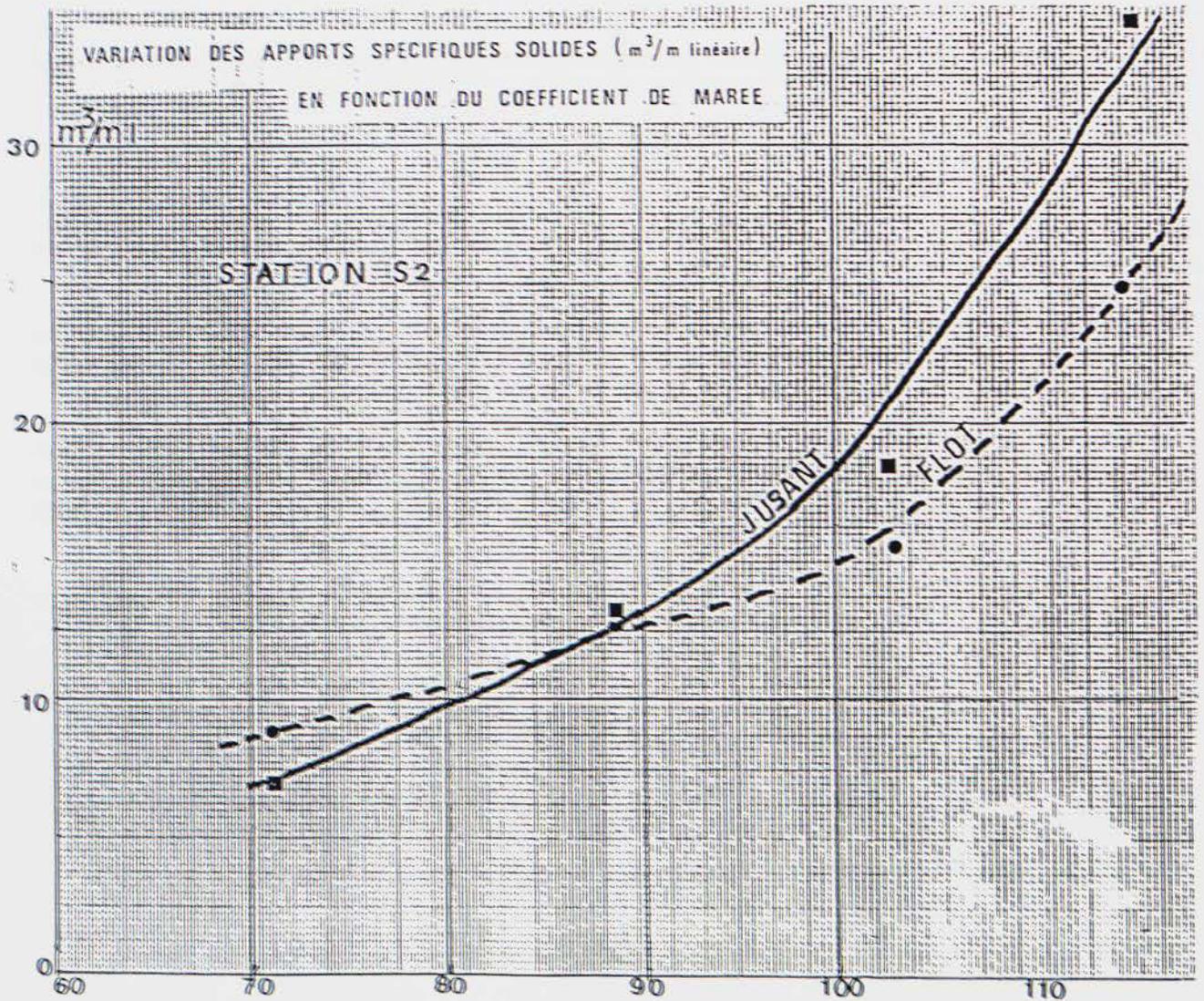
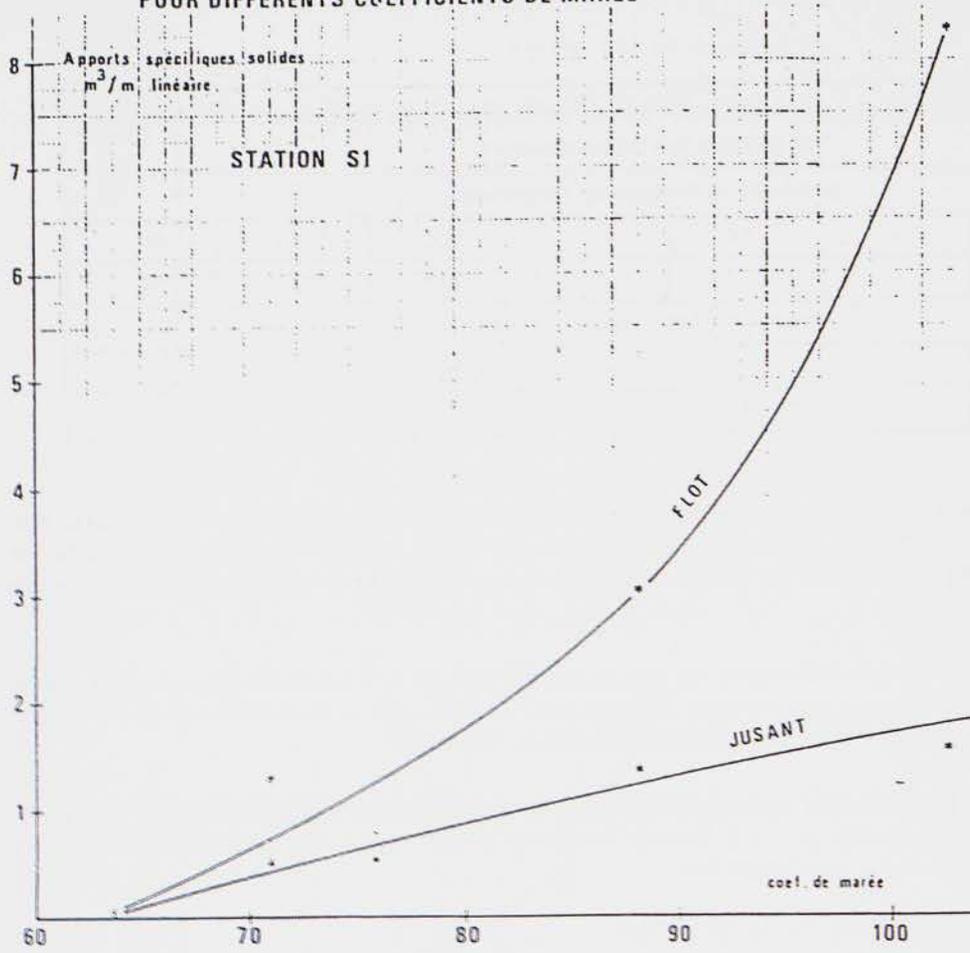
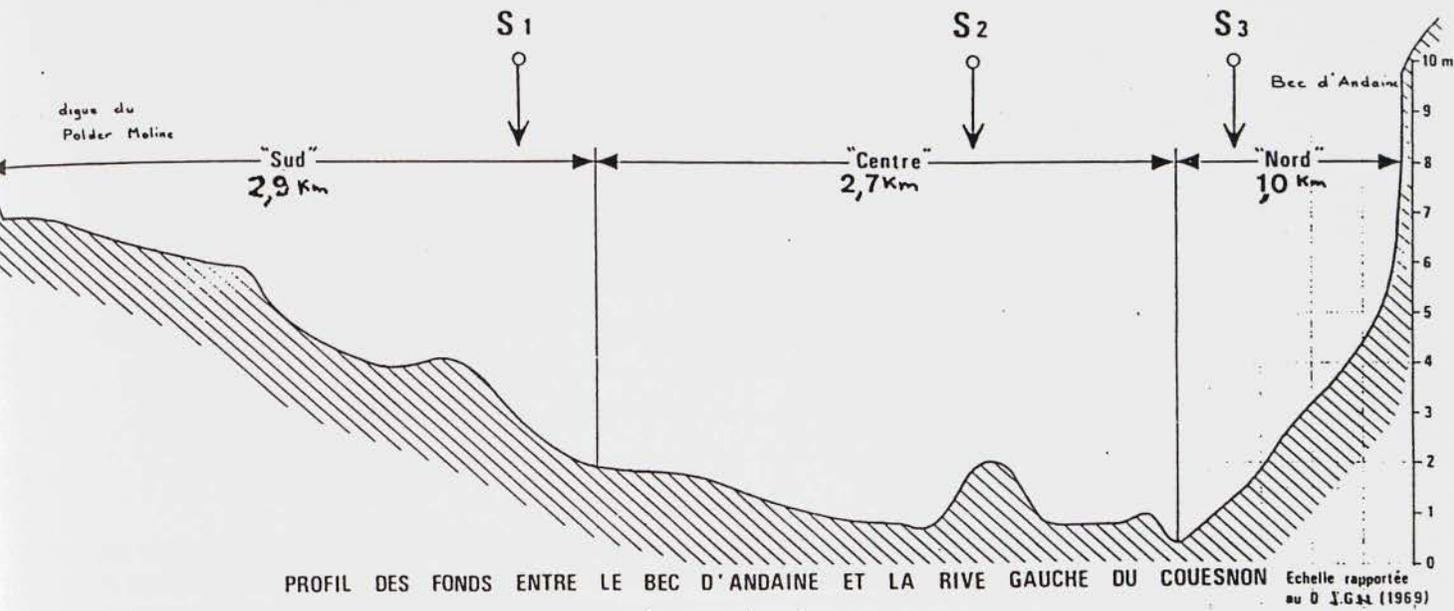


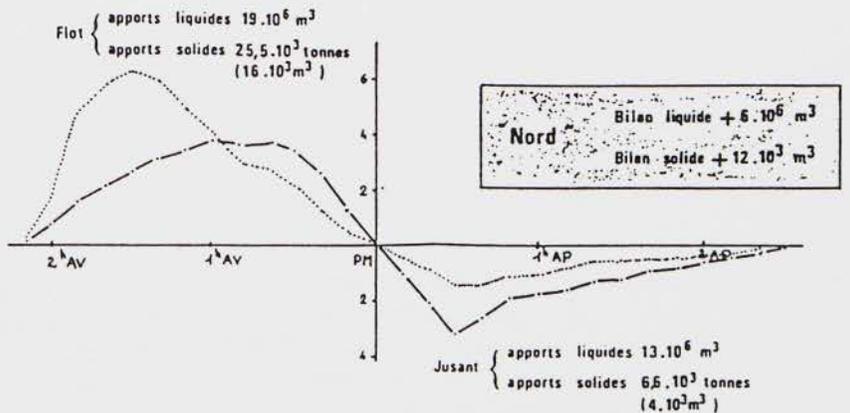
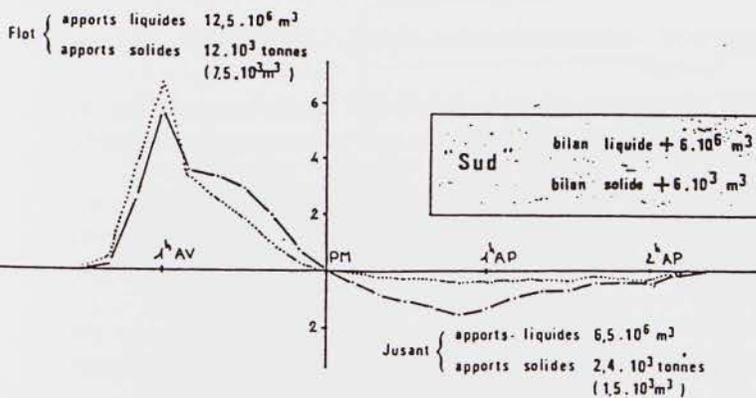
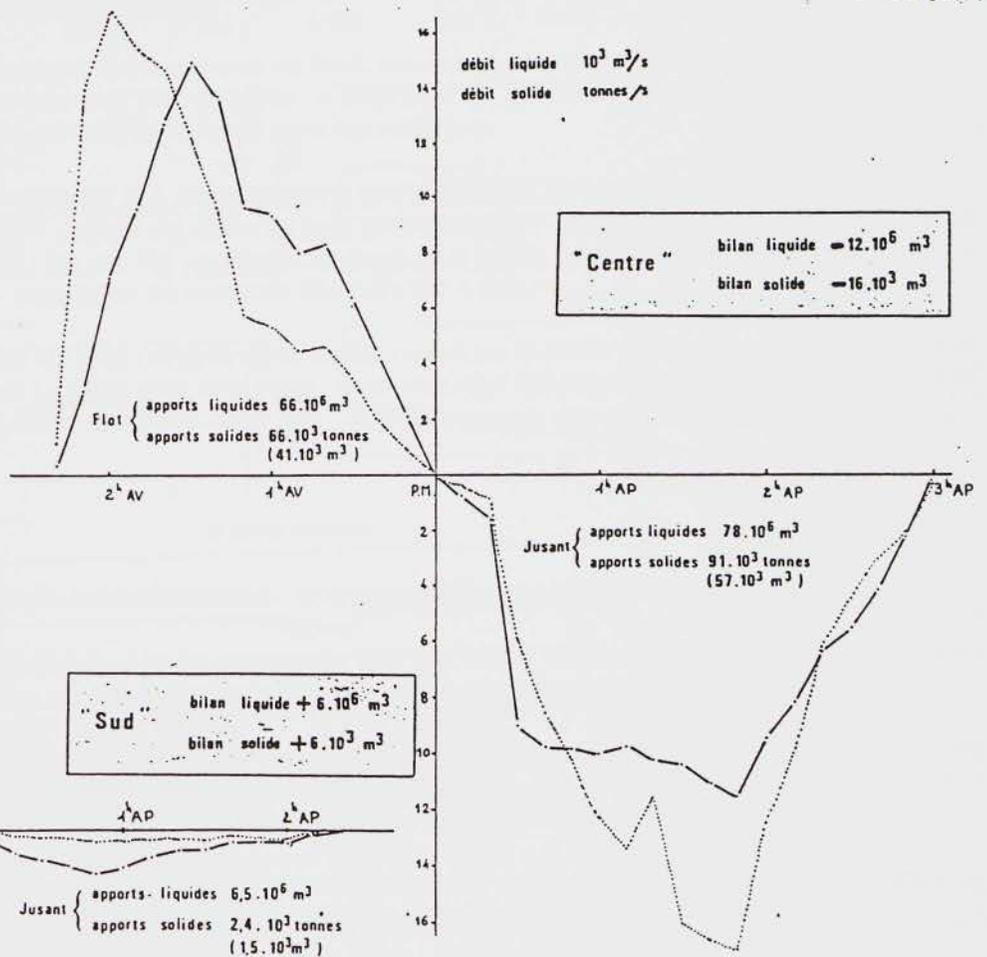
FIGURE N°78 : DÉBITS LIQUIDES ET SOLIDES À L'ENTRÉE DE LA PETITE BAIE

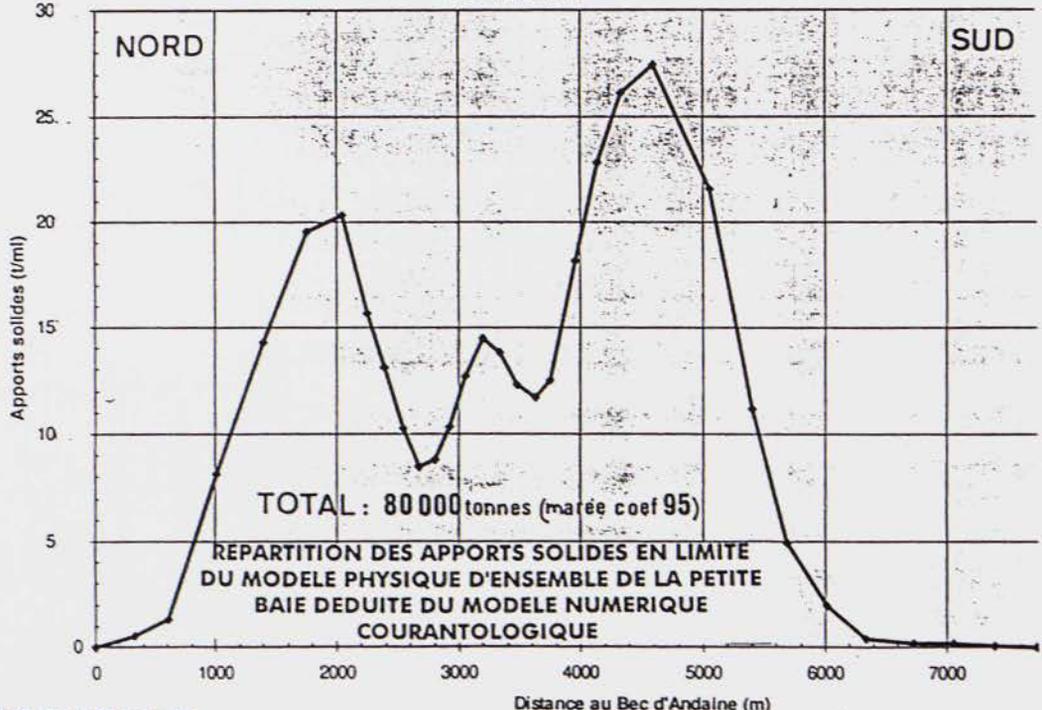
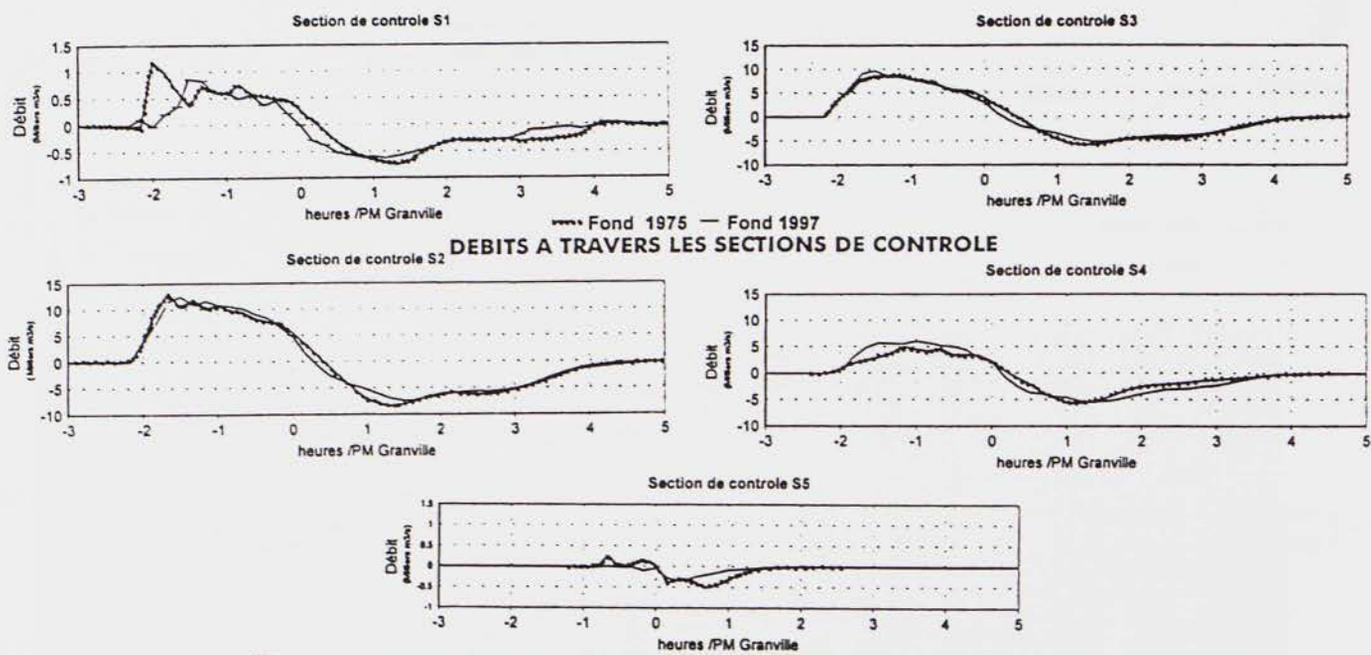
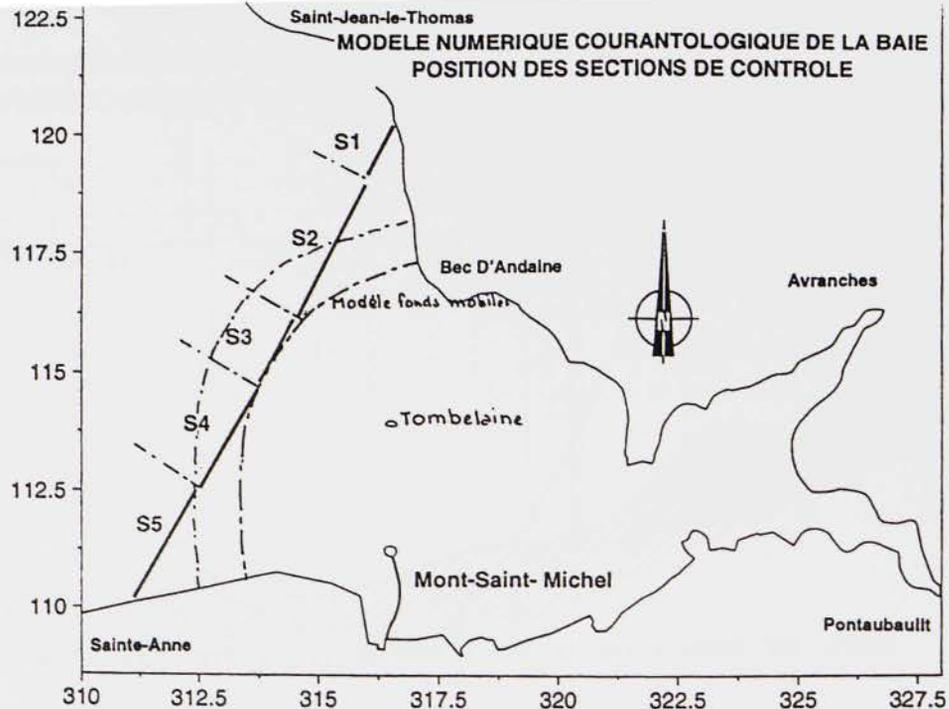


BILANS LIQUIDE ET SOLIDE

COEF. 88

— débit liquide
 débit solide





APPORTS LIQUIDES (EN MILLIONS DE M³) ET TRANSPORTS SOLIDES (EN MILLIERS DE M³)				
Sections	Flot		Jusant	
	10 ⁶ m ³	10 ³ m ³	10 ⁶ m ³	10 ³ m ³
	Apports liquides	Transports solides	Apports liquides	Transports solides
Nord S3	19	16	13	4
Centre S2	66	41	78	57
Sud S1	12,5	7,5	6,5	1,5
Section totale	97,5	64,5	97,5	62,5

Au cours d'une marée de vive eau moyenne, près de 100 millions de m³ d'eau pénètrent et sortent de la petite baie du Mont Saint Michel remaniant environ 100 mille tonnes de sédiments (60 à 65.000 m³) au cours d'un flot et au cours d'un jusant.

Compte tenu de la granulométrie des sédiments de fond, ces transports en suspension représentent la majeure partie (90 %) des mouvements sédimentaires, le charriage sur les fonds ne pouvant intervenir que sur les sédiments très grossiers qui sont minoritaires dans les matériaux.

En tenant compte des variations des remaniements sédimentaires en fonction des coefficients de la marée, on arrive à un bilan annuel de remaniement sédimentaire – tant en flot qu'en jusant – de 35 millions de tonnes par an ; les dépôts constatés au fond de la petite baie ne représentant que 3 à 4 % de ces remaniements.

On constate également que les gros remaniements s'effectuent dans la partie centrale de la baie, les parties latérales Sud et Nord ayant une influence secondaire mais avec une résultante au comblement, alors que la partie centrale, plus dépendante de l'action de la Sée – Sélune, présente une résultante d'évacuation partielle des matériaux.

IV.3.3.2. ESTIMATIONS À L'AIDE DU MODÈLE NUMÉRIQUE – COMPARAISON DES BILANS EN 1975 ET 1997

Le modèle numérique TELEMAC a permis d'apporter des précisions sur la répartition des débits liquides pénétrant dans la petite baie sur l'alignement situé à 3 km environ au large de Tombelaine.

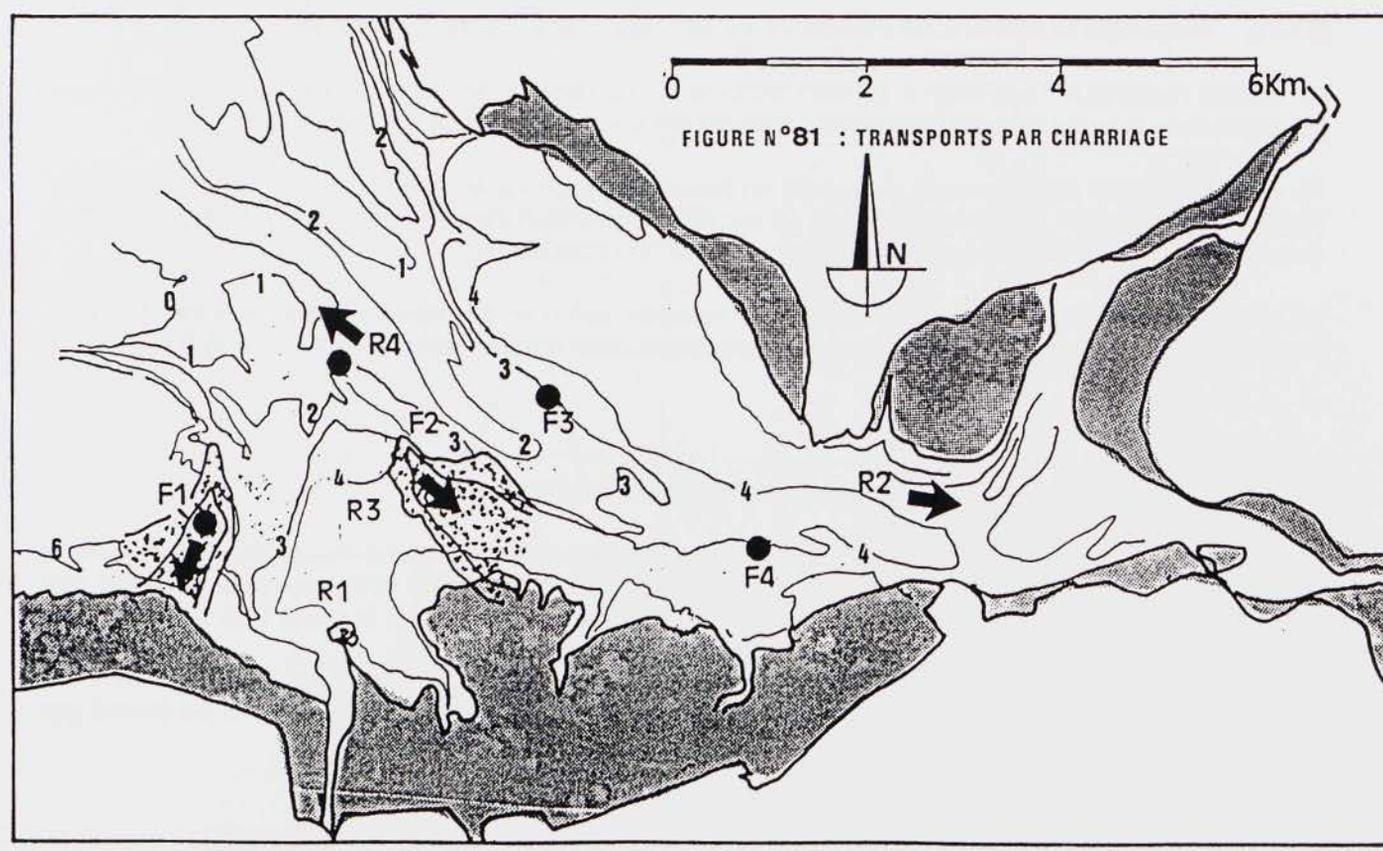
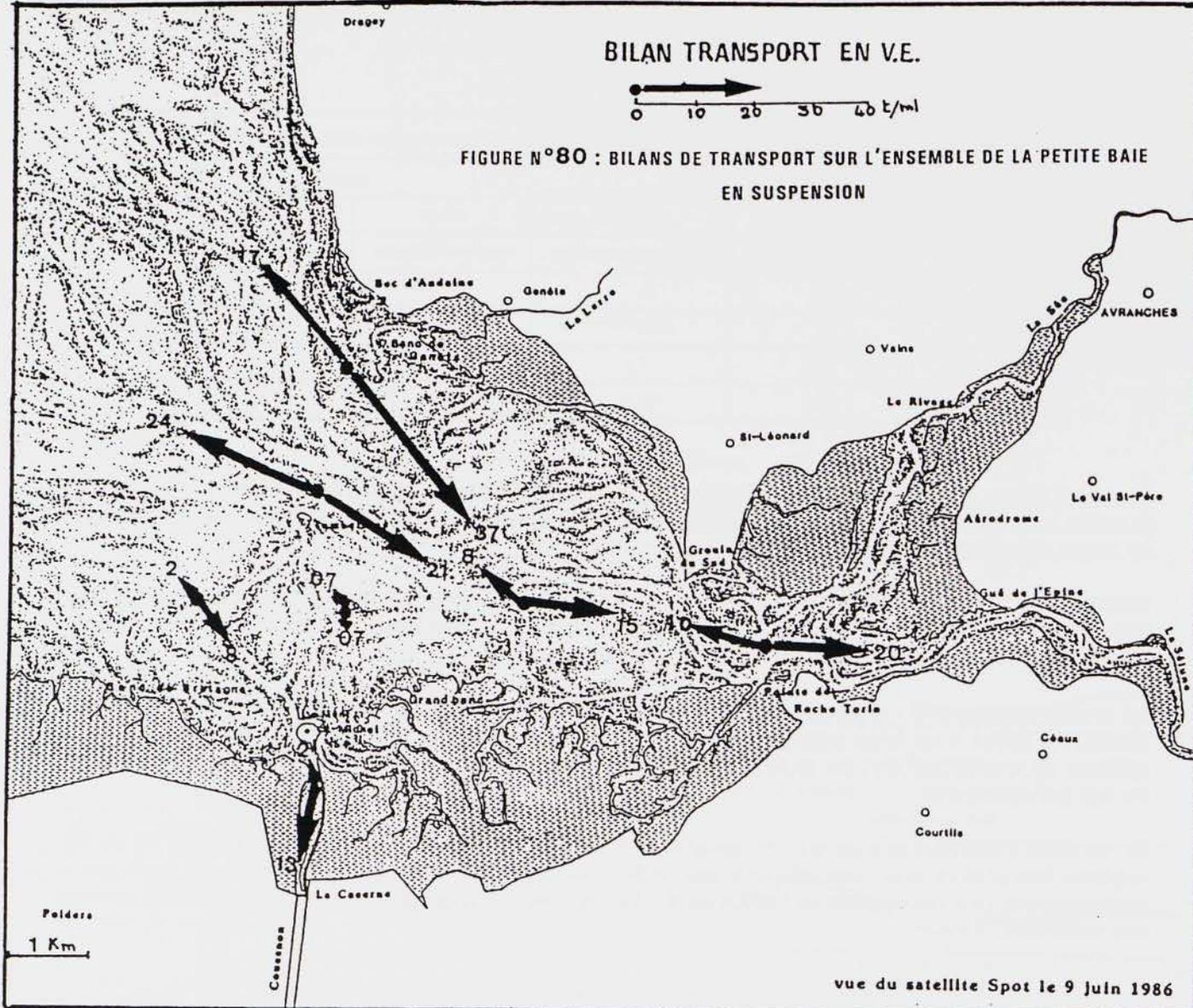
On constate que les débits passant dans cette section sont très voisins avec les états des fonds de 1975 par rapport à ceux de 1997, avec toutefois, près du bec d'Andaine / Saint-Jean-le-Thomas, une légère diminution des volumes d'eau pénétrant dans la petite baie en 1997 que ceux de 1975.

En tenant compte des lois reliant les vitesses au transport solide en suspension et des mesures faites en nature en 1975, la répartition des apports solides pénétrant dans la petite baie est donnée sur la *figure 79*.

IV.3.3.3. ÉVALUATION DES BILANS DE TRANSPORTS SUR L'ENSEMBLE DE LA PETITE BAIE

Les sept postes de mesures donnant les variations des hauteurs d'eau au-dessus des fonds, des vitesses et des turbidités au cours de marées de vives eaux moyennes (coefficient 86 à 100), permettent d'établir une « cartographie » des bilans de transports en flot et en jusant sur l'ensemble de la petite baie du Mont Saint Michel. Les mesures étaient faites en période d'étiage des rivières.

Le tableau ci-après et la *figure 80* donnent un aperçu de ces bilans de transports, évalués en tonnes par mètre linéaire de largeur avec leur durée approximative pendant le flot et le jusant.



N° POSTE	COTE DES FONDS (EN M) AU-DESSUS ZÉRO I.G.N. 69	FLOT		JUSANT	
		DURÉE (EN HEURE)	BILAN (EN T/ML)	DURÉE (EN HEURE)	BILAN (EN T/ML)
S1	3	1,75	8,5	3+7,75	2,25
S2	1	2,25	21,2	3+7,25	24
S3	1,5	2	37,5	3, 5+7	16,5
S4	4	1,25	0,75	2,25+9	0,65
S5	3	1,25	15,5	3+6,5	8,2
S6	4	0,75	13	3,5+5	1,9
S7	4	1,5	20,2	3,5+5	10,7

Les postes S1 – S2 – S3 sont situés à l'entrée de la petite baie sur un alignement bec d'Andaine – Polder Moline [Figure 53].

Le poste S4 se situe au Nord-Ouest du Mont Saint Michel dans le prolongement du grand banc de l'Est.

Les postes S5 et S7 sont dans l'embouchure des rivières Sée – Sélune, le poste S7 étant entre le Grouin du Sud et la pointe de Roche Torin et le poste S5 à 2.500 m en aval.

Le poste S6 est localisé dans le chenal du Couesnon entre le barrage et le Mont Saint Michel.

Sur tous les postes, on retrouve la remise brutale des sédiments en suspension à l'arrivée du flot et, sur une période d'autant plus courte que l'on se situe au fond de la baie, alors que les transports en jusant se répartissent sur une longue durée correspondant au vidage de la baie.

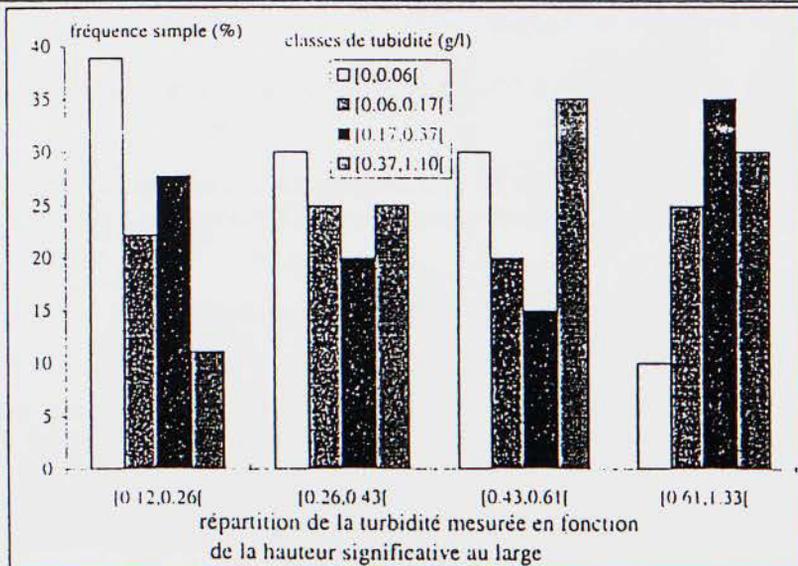
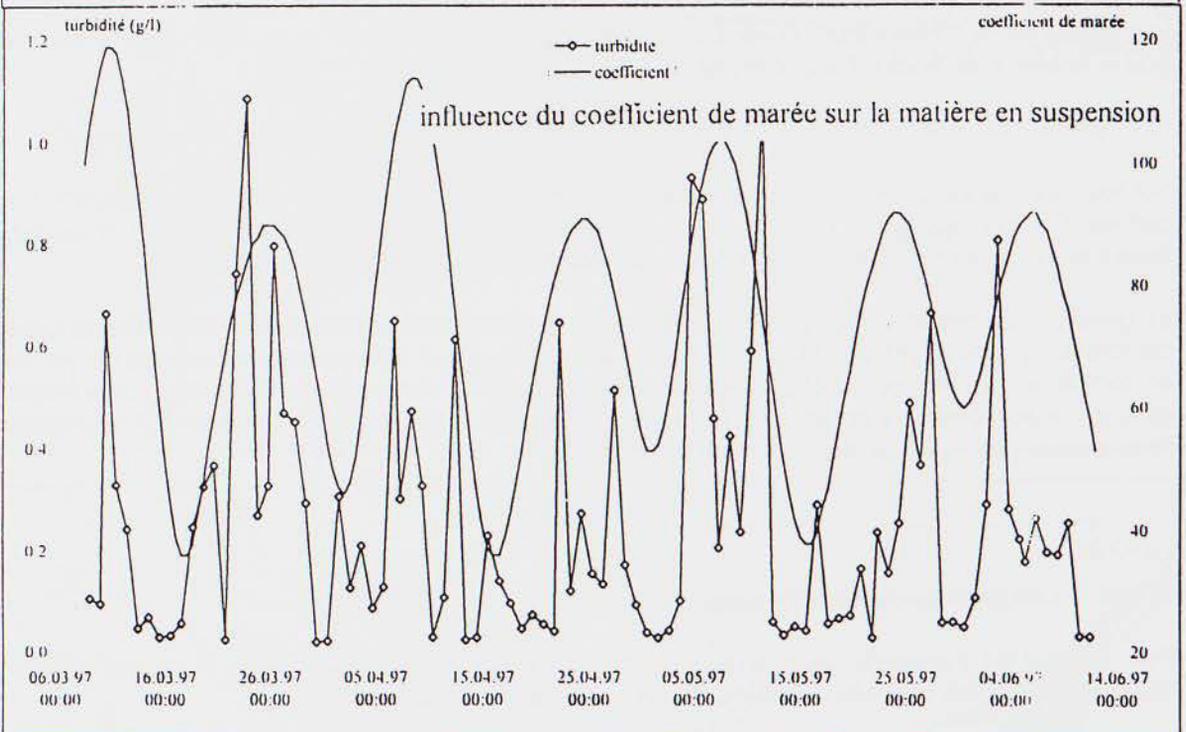
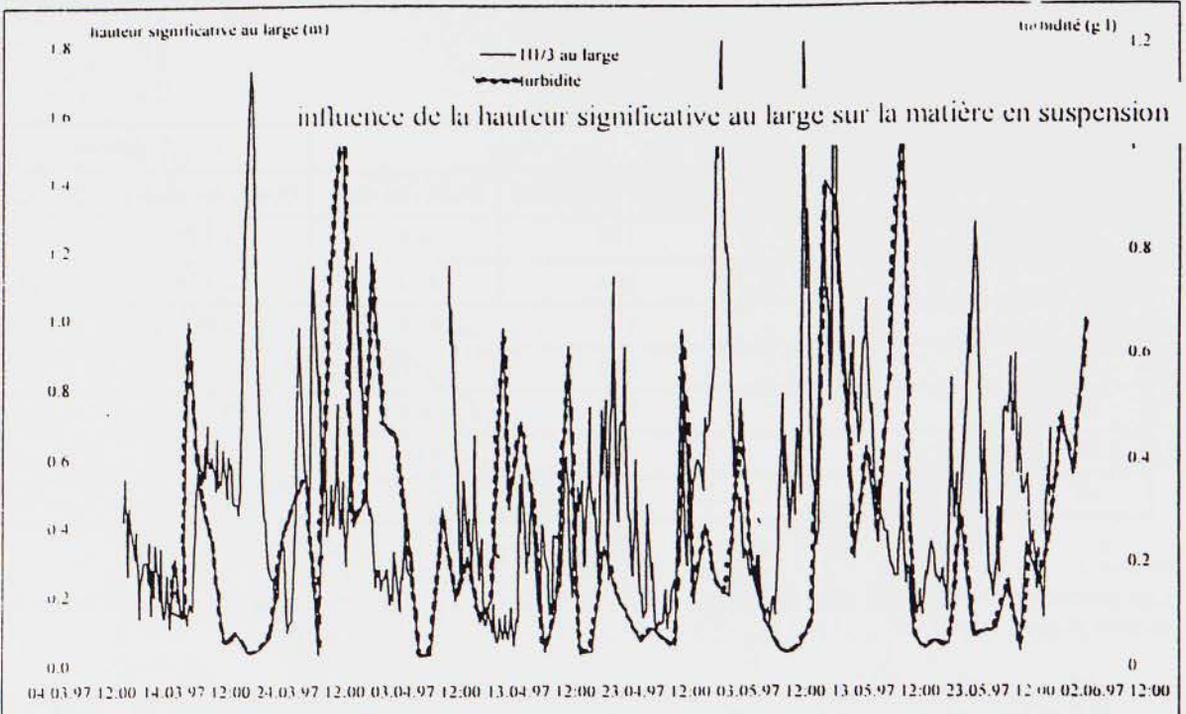
En général – en dehors du poste S2 situé au centre de l'entrée de la petite baie – la résultante des transports caractérise un apport prédominant en flot, mais le bilan de jusant est souvent sous-estimé car ne prenant pas en compte les écoulements dans les filandres par essorage et drainage sur une période très longue pouvant atteindre 9 ou 10 heures en certains points (3 + 7,25 heures par exemple, la valeur 7,5 représentant la période d'essorage ou de courants de jusant très faibles).

IV.3.4. Les transports par charriage

Pour évaluer les transports par charriage sur les fonds, des traceurs radioactifs de courte période (Or_{198}) et fluorescents ont été déposés en différents points de la petite baie [Figure 80].

Dans la configuration des fonds de l'époque (1975), on a constaté pour les traceurs radioactifs que :

- Le traceur déposé en R1 à 300 m à l'Ouest du Mont, n'était pas déplacé mais recouvert par des sables inactifs.
- Celui déposé en R2 au Nord immédiat de la confluence de la Sée et de la Sélune, est soumis à un déplacement vers l'amont, c'est-à-dire vers l'Est par suite de la prédominance du courant de flot sur celui de jusant.
- Au point R3 situé à mi-distance entre Tombelaine et le Mont Saint Michel, le traceur ne se disperse pas, le transport par charriage étant pratiquement nul.
- Au point R4 situé au Nord-Est de Tombelaine et à proximité, les mouvements sédimentaires sont importants vers le large avec un déplacement de son centre de gravité de 0,5 m par jour caractéristique de la prédominance des actions de jusant par rapport à celles de flot.



Pour les traceurs fluorescents, le traceur déposé à 1.500 m au Sud-Est de Tombelaine subit des remaniements appréciables avec une dispersion vers le Sud-Est sous l'action des courants de flot, mais sans modification importante de son centre de gravité. Le transport a lieu vers le chenal de la Sélune.

Le dépôt réalisé à 1.500 m au Nord-Ouest du Mont Saint Michel, en bordure des fonds de 4 m, montre une remontée des sables vers le Sud-Ouest, c'est-à-dire vers le littoral alors que les courants de flot portent plus spécialement vers le Sud-Est, c'est-à-dire vers l'embouchure du Couesnon. Ce résultat est en faveur de la sédimentation en direction du « banc de l'Ouest », mais ne permet pas de quantifier l'importance des transports par charriage sur les fonds.

Les figures de surfaces (rides ou dunes) que l'on peut observer dans la baie en certains emplacements, avec des orientations et des profils de formes caractéristiques, montrent que les actions de charriage sur les fonds s'ils ne sont pas dominants peuvent marquer les figures sédimentaires. Il se peut que sous l'action de phénomènes exceptionnels (tempêtes par exemple) ce type de déplacement ne soit pas négligeable et contribue à la formation de certaines barres littorales qui ont pu être observées.

IV.3.5. Influence de l'agitation sur la turbidité des eaux

Des mesures systématiques de la turbidité des eaux en fonction de l'agitation mesurée aux abords du Mont Saint Michel ont été effectuées par le GRESARC [22.b.] entre le 08 Mars et le 11 Juin 1997.

Les prélèvements d'eaux étaient réalisés en surface au moment de la pleine mer diurne dans le Couesnon à proximité du parking Ouest du Mont et les caractéristiques des houles relevées, d'une part, au large de l'entrée de la grande baie, d'autre part, à 900 m au large du Mont.

La figure 82 donne la répartition des turbidités journalières (à pleine mer) mesurées au cours de cette époque, ainsi que les hauteurs significatives au large et les variations concomitantes des coefficients de marées.

Les variations de turbidités sont très sensibles à l'amplitude des marées, mais il est difficile d'établir une loi de proportionnalité avec les hauteurs des vagues.

Statistiquement, on constate que les turbidités inférieures à 0,3 g/l représentent environ 60 % des observations pour les agitations de hauteurs inférieures à 0,1 m et 40 % seulement pour les agitations les plus fortes de 0,40 à 0,60 m.

En effectuant une comparaison entre les classes de houles au large de la baie et les classes de turbidités mesurées, on aurait, pour les turbidités comprises entre 0,17 et 1,1 g/l, les relations suivantes :

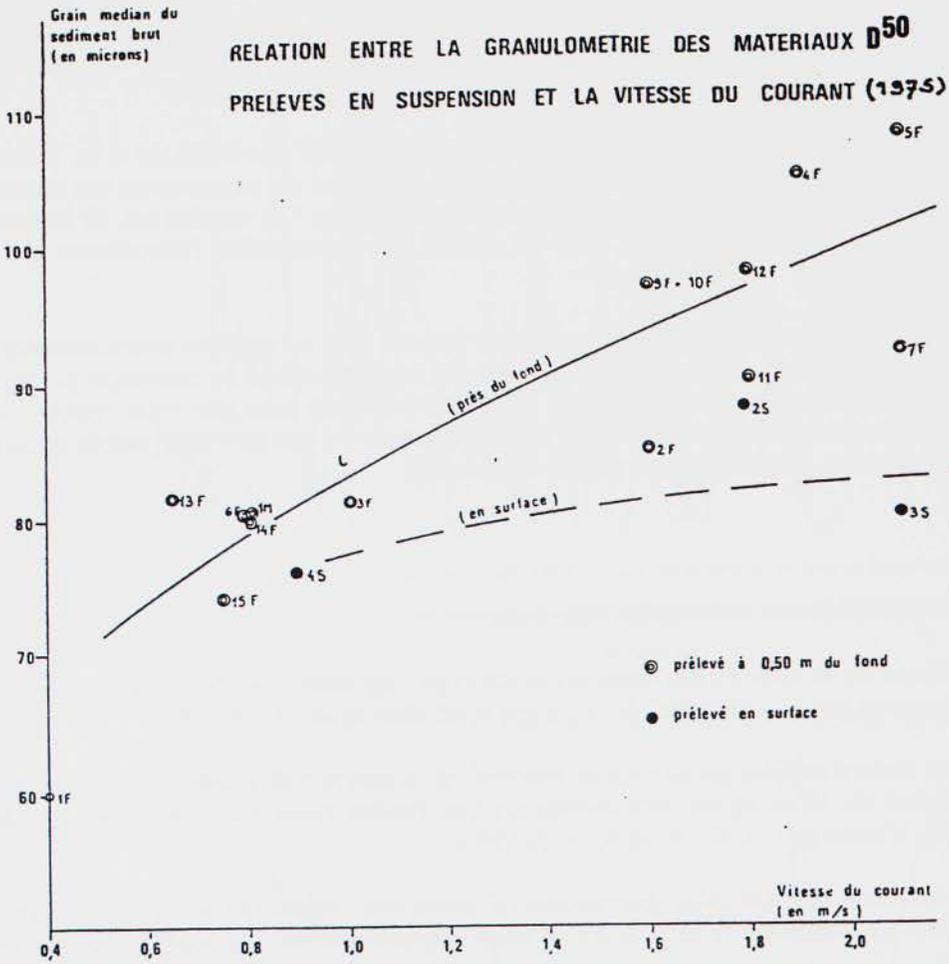
Houles au large en m	0,12 à 0,26	0,26 à 0,43	0,43 à 0,61	0,61 à 1,33
% turbidités 0,17 à 1,1 g/l	38 %	44 %	49,5 %	64,5 %

Un rapport de 1,7 entre les houles faibles (0,12 à 0,26 m) et les houles appréciables (0,61 à 1,33 m) apparaît pour les pourcentages des turbidités supérieures à 0,17 g/l..., il s'agit d'une tendance.

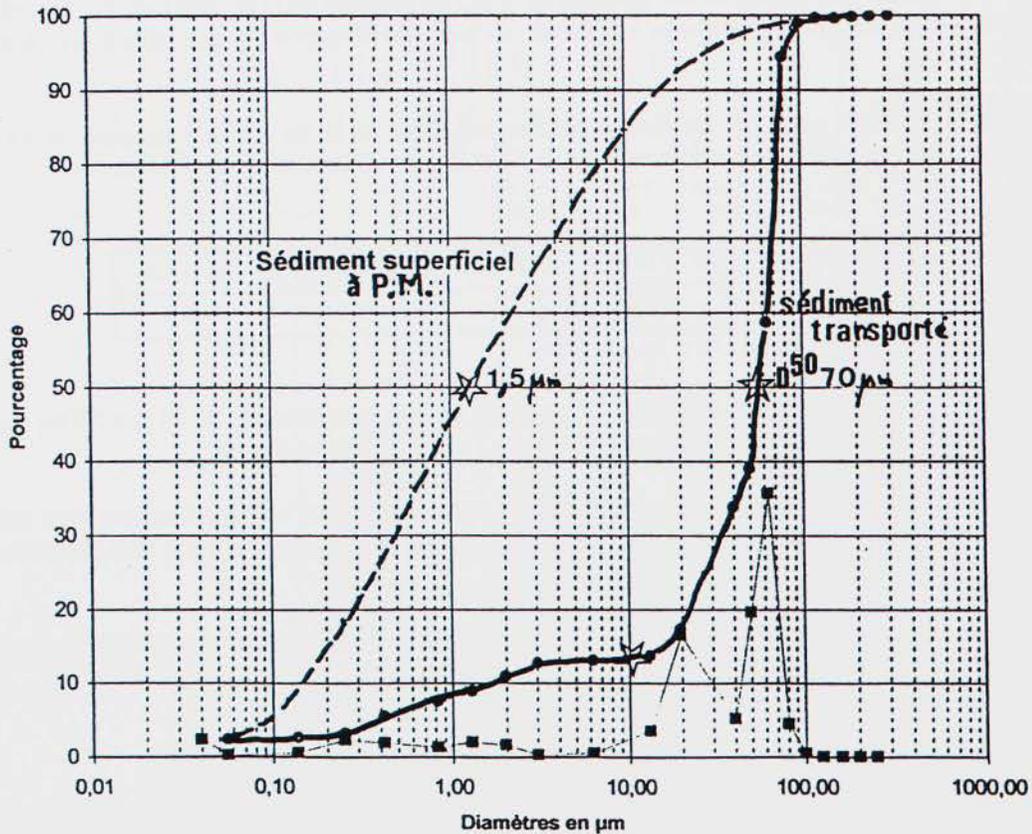
En prenant les turbidités maximales, une valeur de 4 pourrait apparaître entre les turbidités par mer calme et celles mesurées par mer agitée au large, sans que l'on puisse préciser ce rapport à partir des mesures réalisées.

L'influence du coefficient de marée apparaît comme nettement plus importante que l'influence de l'agitation au cours de cette période de mesures sur 4 mois.

FIGURE N° 83 : GRANULOMÉTRIE DES SÉDIMENTS TRANSPORTÉS



Parking Ouest Sédiment total
Avril 1998



IV.3.6. Nature des sédiments transportés en suspension

Les analyses granulométriques réalisées sur les sédiments en suspension dans les eaux, montrent qu'ils sont constitués en grande partie par des silts et des sablons avec des diamètres moyens compris entre 70 et 110 micromètres pour les échantillons prélevés à 0,50 m du fond et voisins de 70 – 80 micromètres pour les sédiments de surface [Figure 83].

La granulométrie de ces matériaux augmente avec les vitesses du courant, passant de 70 à 110 ou 120 microns lorsque la vitesse passe de 0,60 à 2 m/s.

Ces sédiments sont mélangés à des sédiments très fins, inférieurs à 40 µm, qui peuvent représenter 20 à 30 % de la masse totale de la suspension, ce pourcentage augmentant dans les eaux de surface et au fur et à mesure que l'on se rapproche du fond de la baie.

Les analyses faites en 1997 sur les sédiments fraîchement déposés au cours d'une marée sur le parking Ouest, devraient être représentatives de ces matériaux transportés en suspension.

Au moment des étales de marées, ou dès que les vitesses seront faibles (inférieures à 0,40 m/s), la fraction silteuse et sablonneuse de ces sédiments en suspension pourra se décanter et il ne restera en suspension dans les eaux superficielles que les particules inférieures à 10 µm, comme il a pu être constaté en aval du barrage de la Caserne en Avril 1998 [6].

DIAMÈTRES DES PARTICULES DÉPOSÉES AU PARKING OUEST ET EN SUSPENSION DANS LES EAUX À PLEINE MER (EN MICROMÈTRES)							
Fractiles	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %
Parking	0,4	1,5	28	55	70	75	80
Suspension surface pleine mer	0,05	0,15	0,35	1,05	5,5	15	30

Ces éléments très fins relativement stables dans les eaux en mouvement, pourront se décanter dans les milieux calmes ou sur les « herbus » ou schorre contribuant à former les tangues propices au développement végétal.

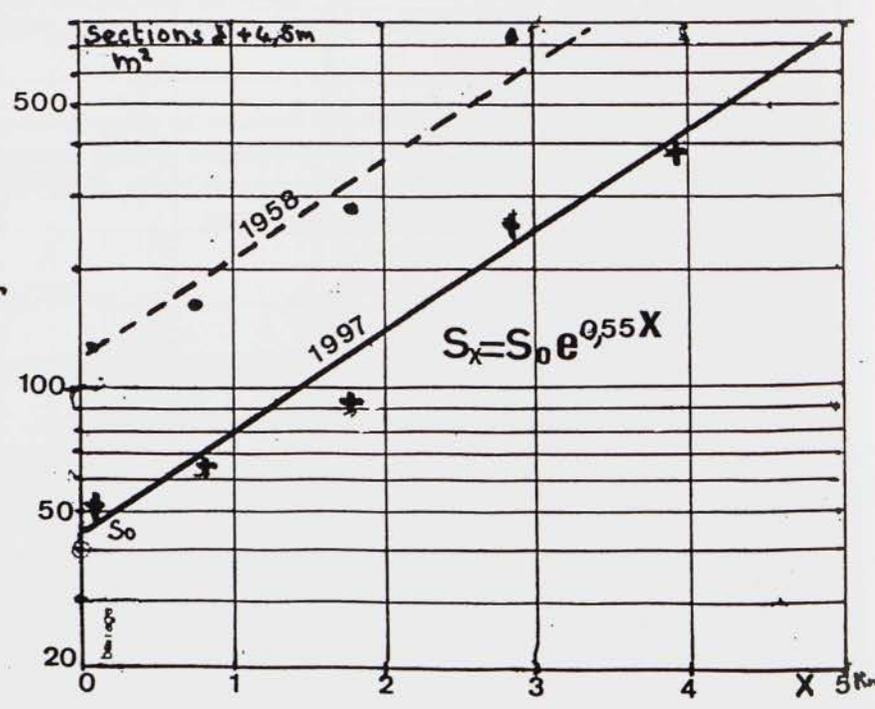
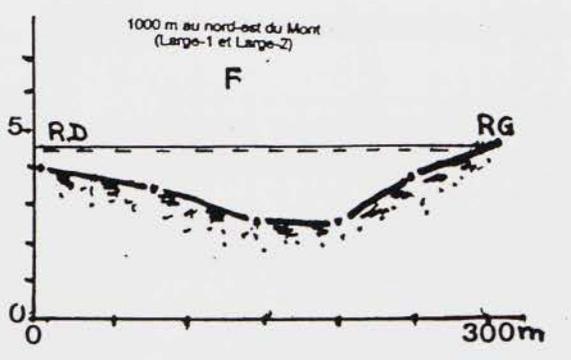
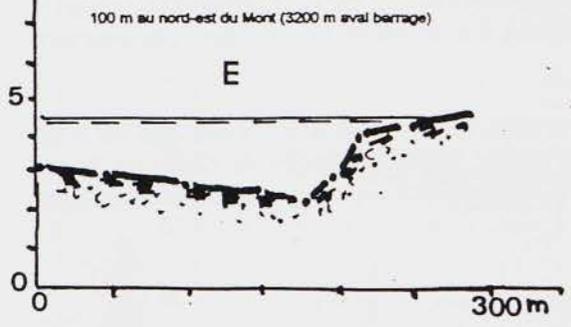
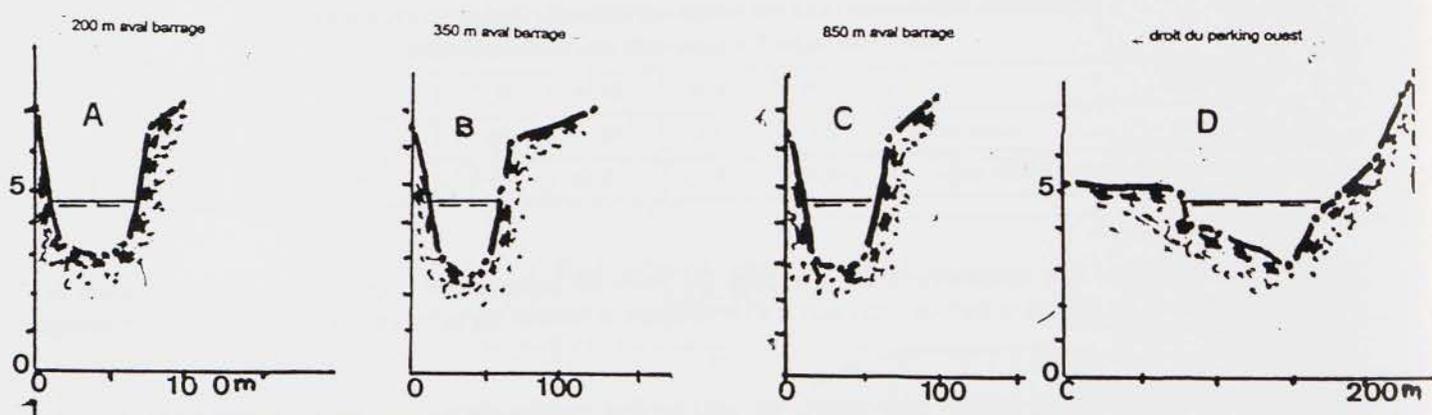
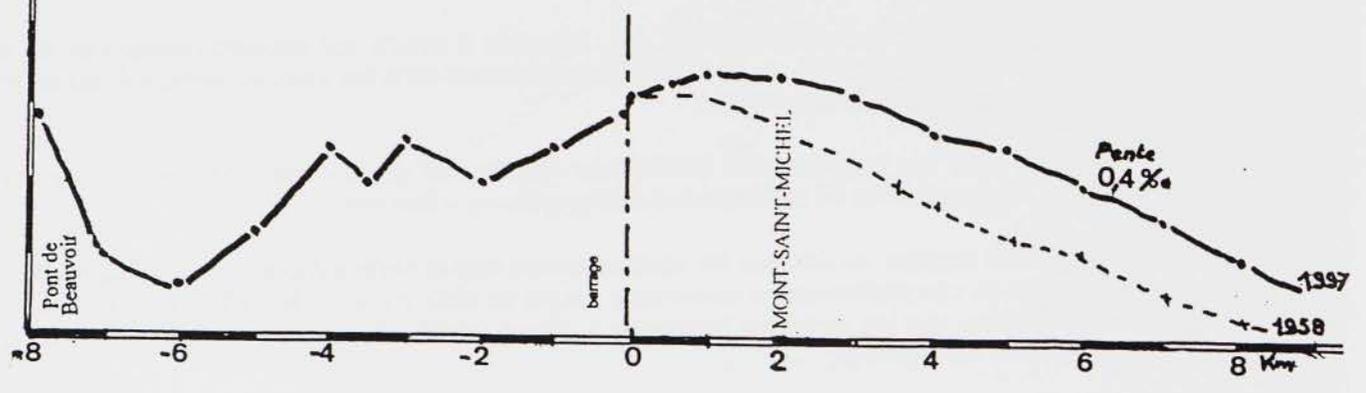
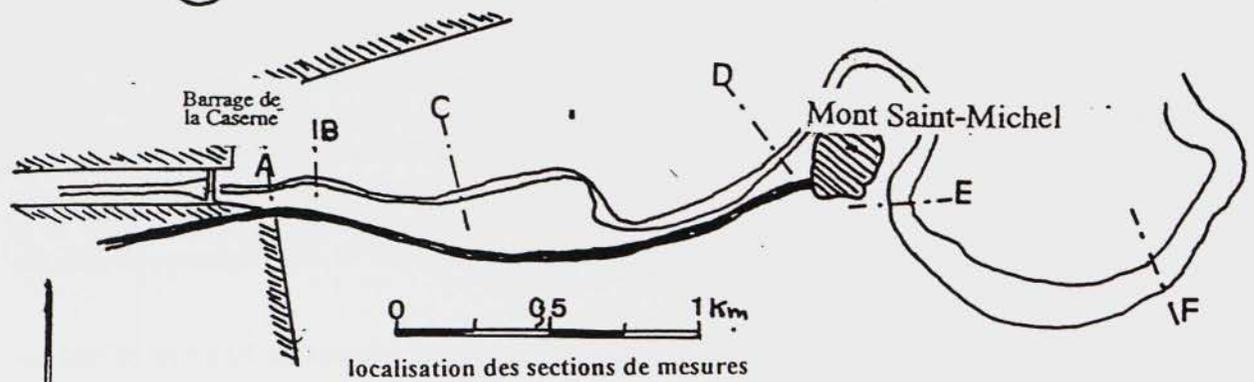
Il est probable que sous l'action des clapots de vent ou des houles résiduelles, ce pourcentage d'éléments très fins soit augmenté par suite des reprises des particules pélitiques à la laisse des eaux plus spécialement sensible à ces phénomènes.

En admettant que ces fines particules puissent se décanter en totalité sur les herbus au cours des 50 à 60 marées de leur immersion, elles ne représentent, à elles seules, qu'une masse annuelle de dépôt de 15 kg par mètre carré, soit une épaisseur moyenne de l'ordre de 15 mm à 20 mm par an, ce qui n'est pas incompatible avec les observations effectuées en nature.

IV.4. LES MOUVEMENTS SÉDIMENTAIRES DANS LE CHENAL DU COUESNON ET À L'ENTRÉE DE LA CRICHE EST

Le Couesnon, avec son débit fluvial non négligeable et sa capacité d'emménagement des eaux marines dans son chenal et sa zone pré-estuarienne, a une grande importance pour l'équilibre hydro-sédimentaire.

Associé aux volumes d'eau oscillants qui pénètrent et sortent de la criche Est et de l'essorage des eaux susceptibles de s'accumuler dans le schorre, il représente un élément primordial pour l'environnement maritime du Mont Saint Michel.



La mise en place du barrage de la Caserne, en supprimant la pénétration des eaux marines dans le Couesnon, a réduit la puissance hydraulique disponible, contribuant ainsi à accentuer localement le colmatage des fonds.

Différentes mesures ont été réalisées en 1975 pour évaluer la répartition des vitesses et turbidités des eaux dans le chenal du Couesnon entre le barrage et le Mont, mais une étude beaucoup plus importante a été faite en 1996-1997 par la Société RIVAGES, associée au GRESARC, pour apporter des précisions sur les mouvements sédimentaires dans le chenal du Couesnon avec le barrage fonctionnant normalement, avec ses portes à flot, et en examinant l'impact tant hydraulique que sédimentologique de l'ouverture temporaire d'une porte ou de deux portes à flot permettant à l'eau de mer de pénétrer dans le Couesnon en amont du barrage [43.a.b.].

IV.4.1. La topographie des fonds du Couesnon

La *figure 15* donne un bon aperçu des sections du Couesnon en amont et en aval immédiat du barrage de la Caserne et la *figure 84* le profil en long du chenal du Couesnon ainsi que les profils en travers relevés en Juin 1996 par la Société RIVAGES.

À titre de comparaison, le profil en long du chenal du Couesnon en 1958 a été porté sur cette figure, bien que l'on ne dispose que d'un nombre de points très réduit pour l'établir.

On constate qu'en amont du barrage, les fonds du Couesnon augmentent progressivement de l'aval vers l'amont passant de +3 m environ au barrage à +1 m en aval immédiat de Pontorson, avec des fluctuations locales des profondeurs.

En aval du barrage et jusqu'au Mont Saint Michel, le chenal du Couesnon est très étroit (50 m à 75 m à la cote +6 m) avec des profondeurs au plafond oscillant entre +4 m et +2,50 m suivant les conditions hydrologiques.

À partir du Mont et vers le large, jusqu'à 6 km du Mont, le chenal du Couesnon passe, en 1997, de +3,50 m à +1 m avec une pente uniforme de 0,4 ‰.

En 1958, les profondeurs étaient vraisemblablement plus fortes, variant de +3 à 0 m, avec une pente de 0,5 ‰ environ ; le chenal ne présentant pas une méandrisation vers l'Est et s'orientant directement vers le Nord-Ouest.

Les sections d'écoulement à la cote +6 m passent de 125 m² environ (à l'aval du barrage) à 150 m² à 850 m pour atteindre 275 m² au droit du parking Ouest et devenir supérieures à 750 m² en aval immédiat du Mont.

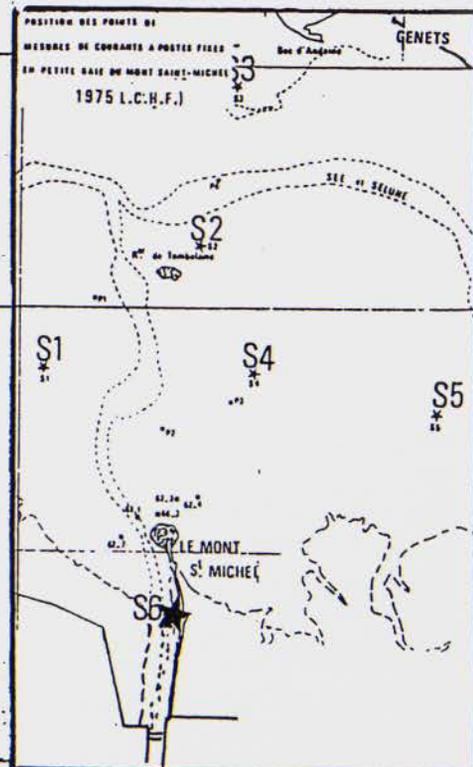
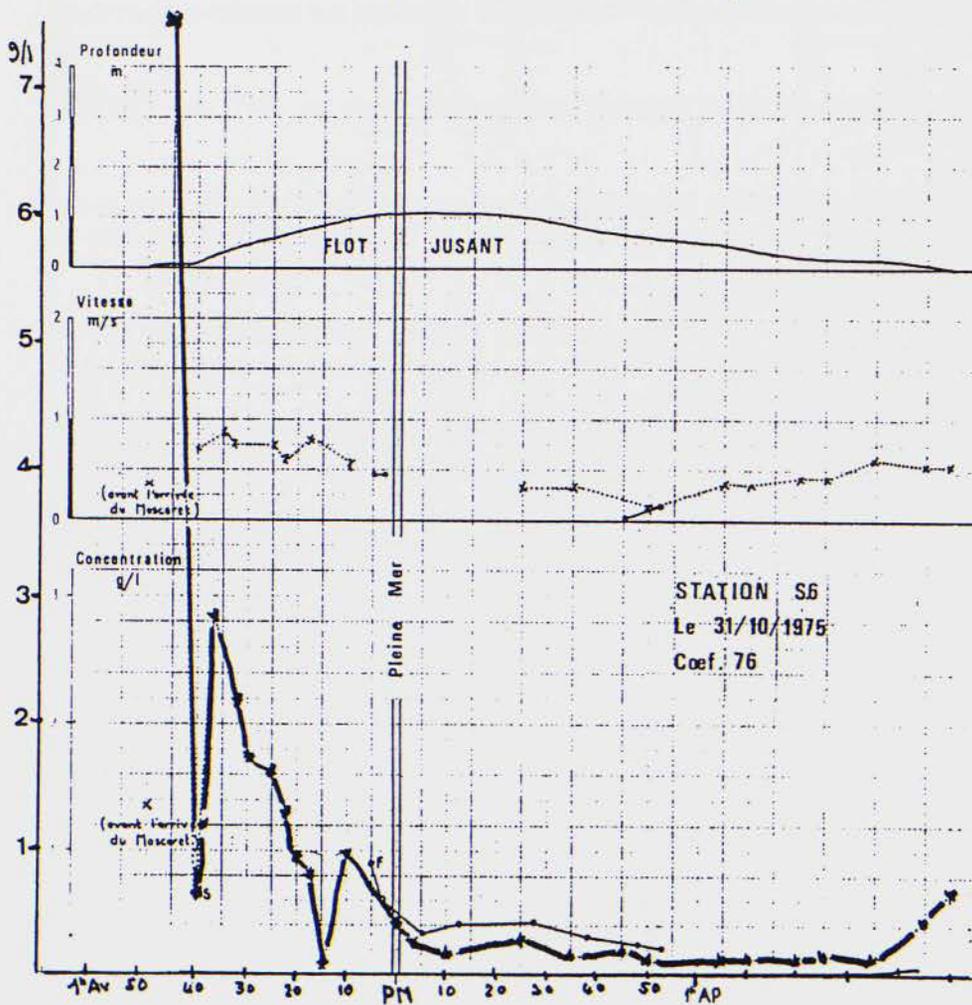
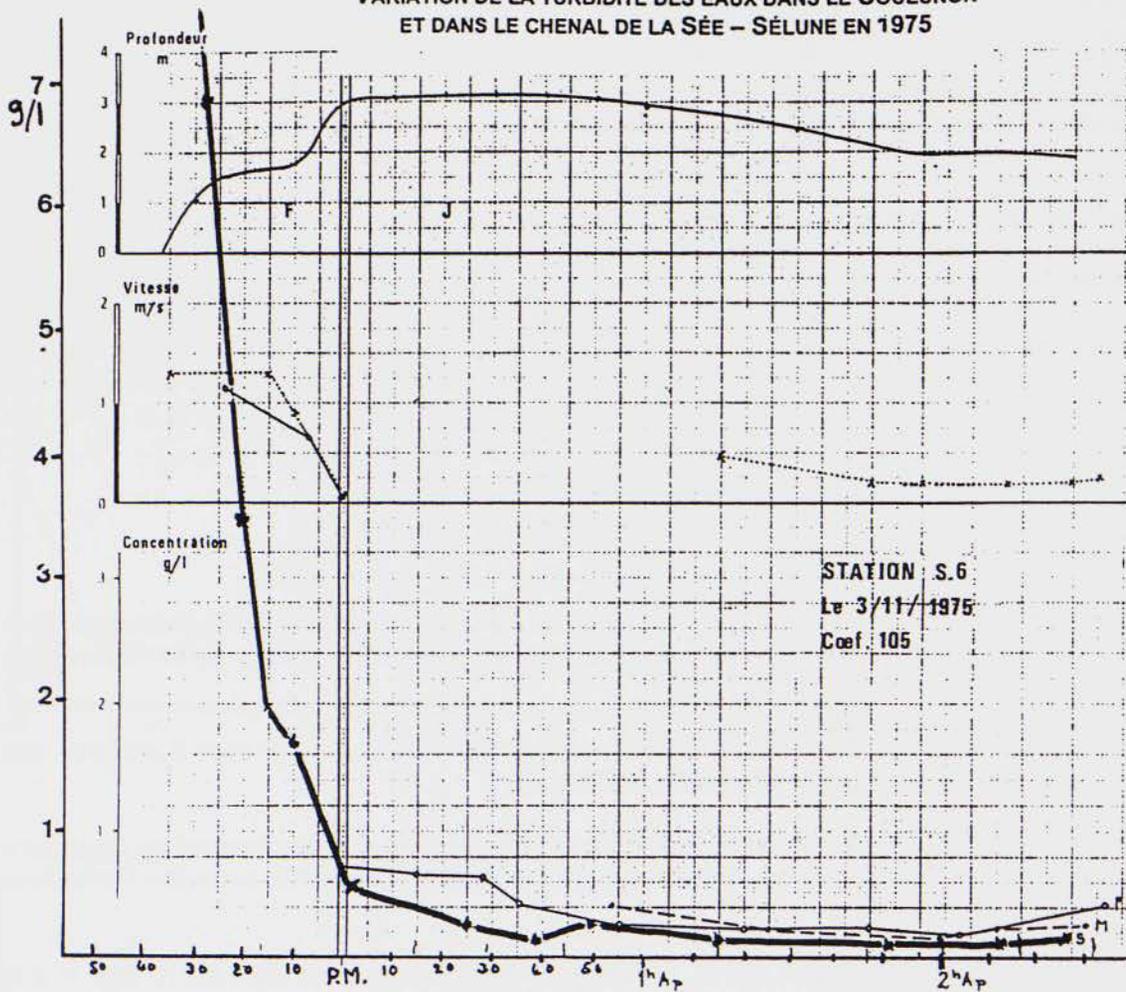
À la cote +4,50 m, qui correspondrait à une chasse possible du barrage, ces sections seraient de l'ordre de 50 m² en aval du barrage, 60 m² à 850 m, 85 m² au droit du parking Ouest pour atteindre 270 m² au Nord-Est immédiat du Mont (2.850 m du barrage) et 350 m² à 3.850 m du barrage.

On retrouve, pour cette cote de +4,50 m, une loi de variation des sections entre le barrage (PK 0) et le large **qui suit une loi du type estuarien de la forme** [37.f.] :

$$S_x = S_o e^{Kx} \quad \text{avec } K = 0,55 \text{ et } S_o = 40 \text{ m}^2$$

Pour la cote d'eau de +6 m, cette loi (qualitative) resterait valable en prenant $S_o = 100 \text{ m}^2$ en aval immédiat du barrage.

FIGURE 85 :
 VARIATION DE LA TURBIDITÉ DES EAUX DANS LE COUESNON
 ET DANS LE CHENAL DE LA SÉE - SÉLUNE EN 1975



IV.4.2. Les variations de la turbidité des eaux

IV.4.2.1. ANCIENNES MESURES DE 1975

Les mesures de 1975 avaient montré que le flot, qui pénètre dans le chenal du Couesnon entre le Mont Saint Michel et le barrage, avait une montée brutale (mascaret), la surélévation du niveau de l'eau étant de 3 m en 45 minutes (le 09/08/1975), l'étalement de pleine mer étant atteinte 1 heure ½ après l'arrivée du flot [Figure 56].

Les vitesses passent de 0 m/s à 2,5 m/s en 8 à 10 minutes et redescendent à 1,5 m/s 15 minutes après pour pratiquement s'annuler après 30 minutes, soit ½ heure environ avant la pleine mer.

La turbidité des eaux (en grammes de sédiments secs par litre d'eau) suit la même loi, comme le montre la figure 85 où l'on porte, d'une part, les mesures faites le 31/10/1975 (coefficient 76) et le 03/11/1975 (coefficient 105) dans le chenal du Couesnon à mi-distance entre le barrage et le Mont (poste 6), ainsi qu'à l'entrée du chenal de la Sée - Sélune (poste 5 du 20/10/1975, coefficient 86).

On constate que la turbidité des eaux atteint 7 à 8 g/l sur toute la hauteur de la lame d'eau ½ heure à ¾ d'heure avant la pleine mer locale pour tomber à 0,5 g/l un peu avant la pleine mer et 0,25 g/l à la pleine mer, puis entre 0,25 et 0,15 g/l après la pleine mer avec des valeurs deux fois plus fortes au fond qu'en surface.

TURBIDITÉ DES EAUX DANS LE CHENAL DU COUESNON (P6) EN G/L (F = FOND - S = SURFACE)										
Minutes avant et après pleine mer	-45	-40	-35	-30	-20	-10	PM	+10	+20	+70
Coefficient 105	-	-	-	8	3,6	1,7	0,7	0,7 F 0,4 S	0,6 F 0,3 S	0,4 F 0,5 S
Coefficient 76	7,6	0,7	2,8	1,8	1,0	1,0	0,4	0,4 F 0,2 S	0,4 F 0,2 S	0,3 F 0,15 S

Au poste 5 (chenal Sée, Sélune), on retrouve cette pointe de turbidité, mais 1 heure 20 mn avant pleine mer (8 à 10 g/l) ; cette valeur tombant à 0,6 g/l 20 minutes avant pleine mer. En jusant, la turbidité ré-augmente 1 heure 30 mn après pleine mer par suite de la remise en suspension des sédiments déposés à l'étalement de pleine mer.

IV.4.2.2. NOUVELLES MESURES DE JUIN 1996 – BARRAGE AVEC PORTES À FLOT FERMÉES [42.A]

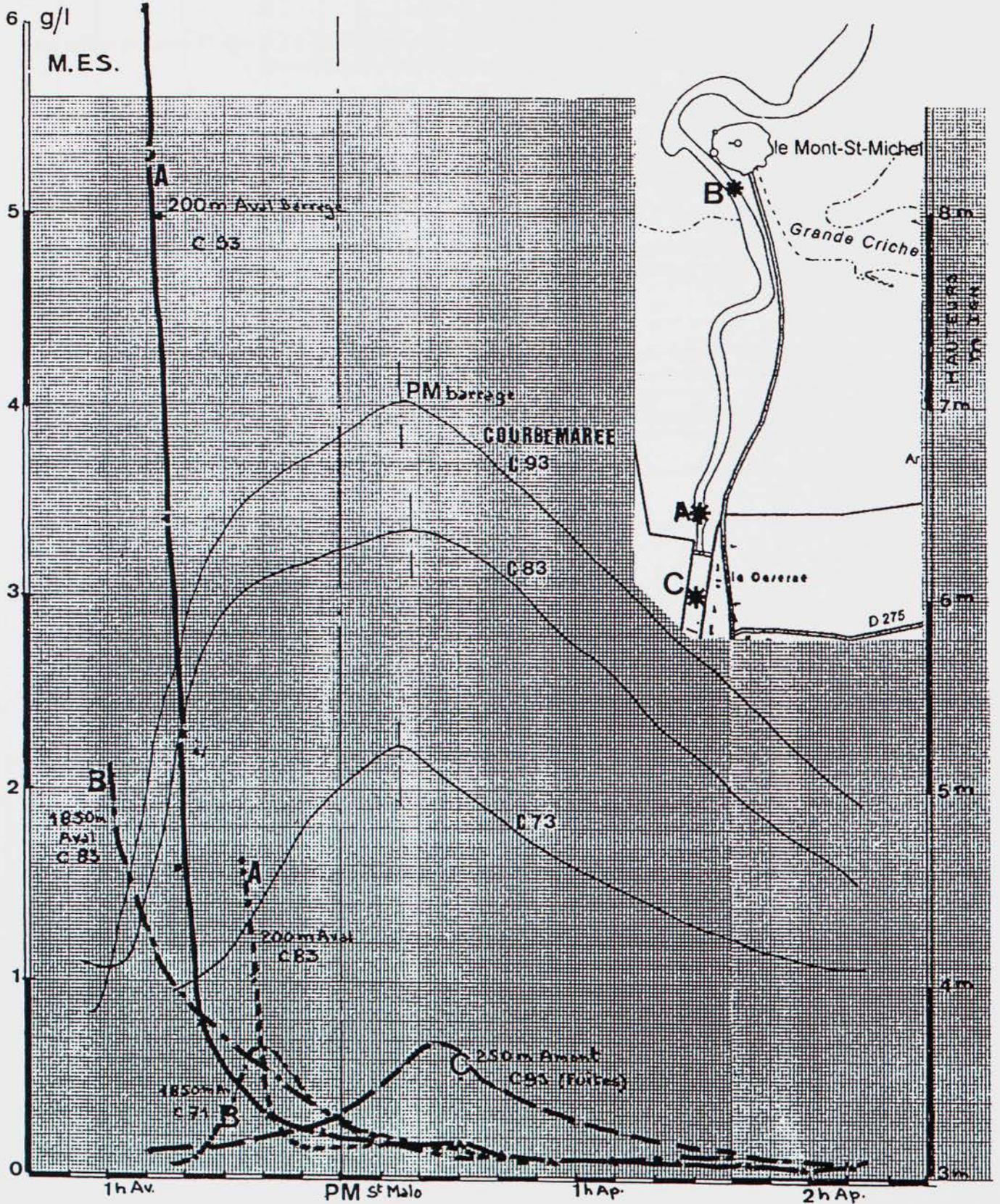
Des mesures très complètes ont été réalisées en Juin-Juillet 1996 pour le compte de la Mission Mont Saint Michel.

Ces mesures ont été réparties dans le chenal du Couesnon, tant à l'aval qu'à l'amont du barrage de la Caserne, ainsi qu'à l'entrée de la criche Est.

Les mesures ont toutes été rapportées à la pleine mer de Saint-Malo, la pleine mer au barrage se situant environ 15 minutes après celle de Saint-Malo, d'après les valeurs marégraphiques réalisées.

À 200 ou 350 m en aval du barrage, on ne dispose de mesures que pour les coefficients 93 et 83. On retrouve, comme en 1975, une très forte turbidité à l'arrivée du flot (50 minutes à 45 minutes avant la pleine mer à Saint-Malo, soit plus d'une heure avant la pleine mer au barrage), avec des valeurs atteignant 6 g/l (coefficient 93) et 1,5 g/l (coefficient 83).

FIGURE 86
 TURBIDITÉ DES EAUX DANS LE COUESNON À 200 M ET À 1.850 M
 EN AVAL DU BARRAGE EN 1996 (BARRAGE FERMÉ)



Cette forte turbidité n'est mesurée que pendant une durée très courte, de 10 à 15 minutes (maxi mesuré 45 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo) et tombe à moins de 0,5 g/l 25 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo, soit 40 minutes avant la pleine mer locale.

À pleine mer -10 minutes, les turbidités tombent à moins de 0,25 g/l et varient ensuite entre 0,2 g/l de pleine mer (à Saint-Malo) à 0,10 g/l 1 heure après pleine mer et 0,05 g/l 2 heures après pleine mer. Les sédiments se sont décantés très vite après l'arrivée du flot (en moins de 10 minutes pour une hauteur d'eau de 2 à 2,5 m, soit une vitesse de chute supérieure à 0,5 mm/s) [Figure 86.A].

TURBIDITÉS (EN G/L) À 200 M EN AVAL DU BARRAGE (MOYENNE)						
MARÉE DU 05 AU 06 JUIN 1996 – COEFFICIENT 93 – DÉBIT DU COUESNON 3,8 m³/s						
Heure par rapport à la pleine mer de Saint-Malo	-41 mn	-16 mn	+17 mn	+45 mn	+1 h 17 mn	+1 h 45 mn
Turbidité (en g/l)	4,55	0,24	0,21	0,10	0,085	0,07
MARÉE DU 06 ET 07 JUIN 1996 – COEFFICIENT 83						
Heure	-19 mn	-4 mn	+13 mn	+30 mn	+0,56	1 h 31 mn
Turbidité (en g/l)	1,03	0,175	0,115	0,09	0,075	0,065

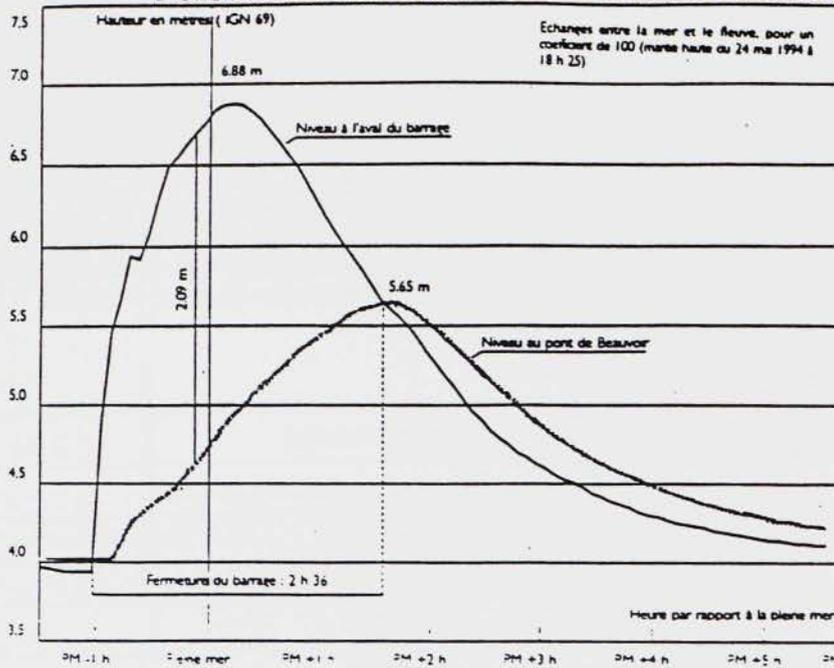
Des mesures complémentaires faites par l'E.P.H.E. en Avril 1998 [6] confirment ces phénomènes et l'on constate que les eaux de surface à l'aval immédiat du barrage (niveau de la deuxième porte en rive gauche) ont les turbidités suivantes :

TURBIDITÉS EN SURFACE (EN MG/L) AUX ABORDS IMMÉDIATS DU BARRAGE					
MARÉE DU 28 AVRIL 1998 – COEFFICIENT 113					
Heure (pleine mer à 9 h 26)	7 h 45	8 h 20	9 h 30	11 h 10	12 h 15
Turbidité (en mg/l)	52	60	48	30	122
Salinité (en ‰)	0,4	0,3	4,4	11,0	1,8
MARÉE DU 29 AVRIL 1998 – COEFFICIENT 105					
Heure (pleine mer à 10 h 06)	8 h 50	9 h 00	10 h 06	11 h 30	13 h 15
Turbidité (en mg/l)	55	48	44	32	60
Salinité (en ‰)	0,3	0,4	7,8	8,4	0,6

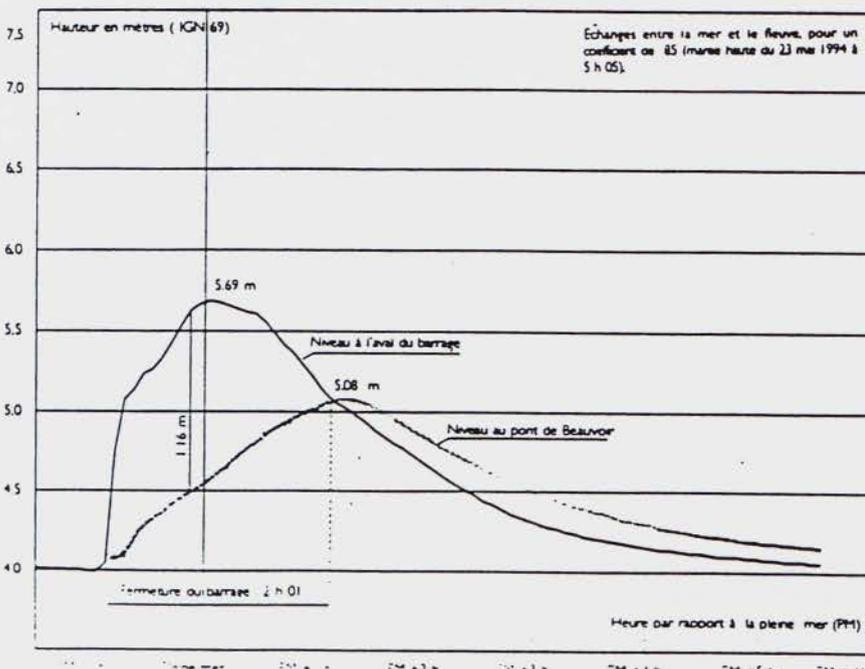
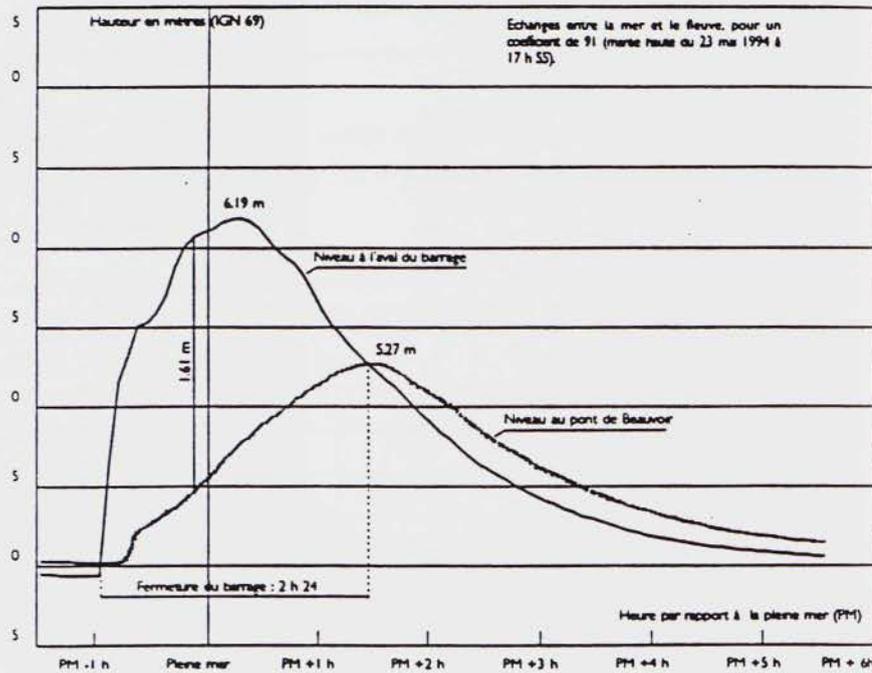
Ces mesures à proximité immédiat du barrage montrent que la masse turbide, remise brutalement en suspension à l'arrivée du mascaret à 200 ou 300 m à l'aval du barrage, n'arrive pas jusqu'au barrage pour les eaux de surface. Les eaux douces accumulées près du barrage forment un écran protecteur à l'arrivée des eaux turbides en flot, les turbidités restant ensuite très faibles par suite de la décantation rapide des sédiments.

Il serait intéressant de voir si un lâcher d'eau douce du Couesnon, quelques instants (5 à 10 minutes) avant l'arrivée du mascaret, ne permettrait pas d'obtenir un phénomène analogue en arrêtant le flot très turbide à 1 ou 1,5 km en aval du barrage. Un volume d'eau douce de 50.000 m³ environ devrait permettre d'obtenir ce résultat ou du moins d'atténuer les fortes turbidités près du barrage.

FIGURE N°87 : MESURES EN NATURE DE L'INFLUENCE DE LA SUPPRESSION D'UNE PORTE À FLOT SUR LES COTES D'EAU DANS LE COUESNON



NIVEAUX AMONT ET AVAL
AVEC UNE PORTE OUVERTE



Au droit du parking Ouest, à 1.850 m environ à l'aval du barrage, la turbidité moyenne des eaux atteint, pour un coefficient 83, 1,5 à 2 g/l à l'arrivée du flot 50 minutes avant la pleine mer à Saint-Malo (plus d'une heure avant la pleine mer à la Caserne) et diminue ensuite progressivement pour tomber à 0,15 g/l 15 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo, 0,25 g/l à la pleine mer et 0,15 g/l 15 minutes après la pleine mer, pour rester inférieure à 0,10 g/l jusqu'à 2 heures après pleine mer [Figure 86.B].

La décroissance des turbidités suit la même loi que celle des vitesses, ce qui explique la différence entre les courbes de turbidités près du Mont (avec une chute brutale des vitesses) et celles près du parking où la marée continue de remplir le chenal du Couesnon sur les 1.850 m qui le sépare du barrage.

À l'amont immédiat du barrage, et à 200 m, on constate que les eaux du Couesnon, qui avaient une turbidité moyenne de 0,15 g/l, atteignent, 25 minutes après la pleine mer, 0,6 g/l. Ce phénomène étant dû aux fuites des portes à flot et se faisant sentir pendant près d'une heure tant que le niveau aval du barrage est nettement supérieur à celui de l'amont.

Ce phénomène, mesuré pour une marée de coefficient 93, n'était pas sensible pour une marée de coefficient 73.

IV.4.2.3. BARRAGE AVEC UNE PORTE À FLOT OUVERTE

Rappelons tout d'abord que des mesures avaient été faites au cours des années 1993 et 1994 par la Mission Mont Saint Michel (MAILLARD) pour déterminer l'influence de l'ouverture d'une porte à flot sur la pénétration des eaux marines [13.d].

Les niveaux d'eaux étaient mesurés, d'une part, à l'aval immédiat du barrage, d'autre part, au Pont de Beauvoir à 2 km environ en amont.

Le remplissage du Couesnon commençait 1 heure environ avant la pleine mer, dès l'arrivée du flot, et se terminait 1 heure ½ après la pleine mer, lorsque la marée avait déjà baissé au large.

La figure 87 et le tableau ci-après donnent les hauteurs obtenues à cette époque pour des marées de coefficients 100 – 91 et 85 ; le seuil du barrage étant à la cote +3 m :

HAUTEURS D'EAU AU PONT DE BEAUVOIR PAR RAPPORT À LA HAUTEUR D'EAU À L'AVAL DU BARRAGE				
(COTES EN M I.G.N. 69)				
Coefficient de marée et date	Hauteur de pleine mer aval barrage (en m)	Hauteur de pleine mer Beauvoir (en m)	Durée de remplissage (en heure)	Volume accumulé (en 10 ⁶ m ³)
100 (24 Mai 1994)	6,88	5,65	2 h 36	0,53
91 (23 Mai 1994)	6,19	5,27	2 h 24	0,42
85 (23 Mai 1994)	5,69	5,08	2 h 01	0,345

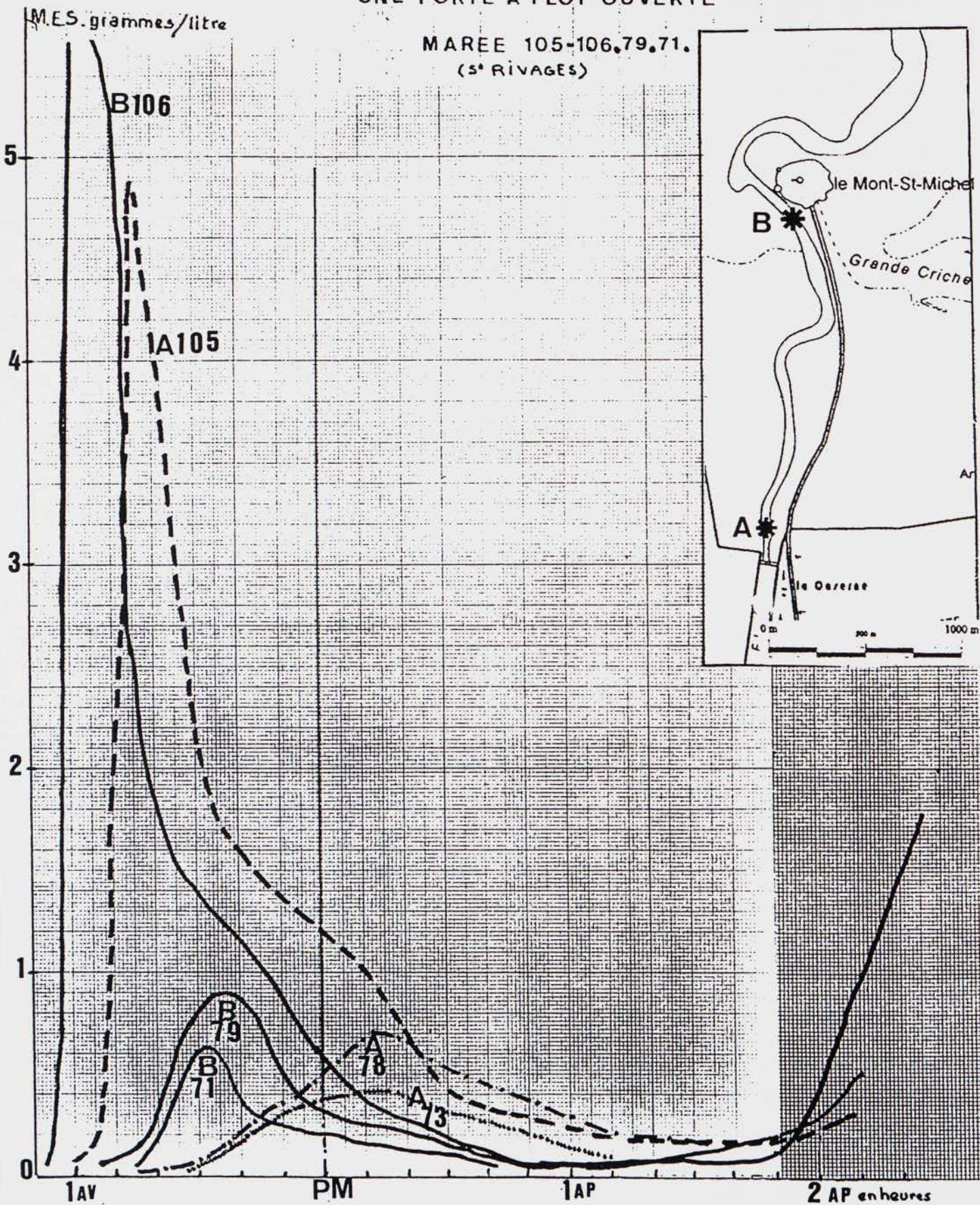
Le débit moyen qui pénétrait dans le Couesnon par une porte à flot varierait entre 60 et 45 m³/s lorsque l'on passe d'un coefficient 100 à un coefficient 85. Pour une marée de coefficient 100, le maximum de débit instantané atteignait 90 m³/s (coefficient $m = 0,55$) et une fosse s'était creusée à l'amont atteignant, pour le point bas, la cote -2 m sous le zéro I.G.N. (4 à 5 m d'érosion).

Aucune mesure n'avait été faite à cette époque sur la turbidité des eaux.

REPARTITION DES TURBIDITES MOYENNES DANS LE COUESNON AVAL

UNE PORTE A FLOT OUVERTE

MAREE 105-106, 79, 71.
(5^e RIVAGES)



Les nouvelles mesures faites en 1996 par la Société RIVAGES portent sur des mesures de hauteurs d'eaux, vitesses et turbidités, permettant d'évaluer les quantités de sédiments qui peuvent pénétrer dans le Couesnon en amont du barrage avec une porte ouverte (seuil du barrage à +3 m).

À 200 ou 350 m en aval du barrage, on retrouve en vives eaux (coefficient 105) la pointe brutale de turbidités ($T_s \geq 5$ g/l) 40 à 45 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo, soit environ 1 heure avant celle du Mont Saint Michel.

Alors qu'avec les portes à flot fermées cette turbidité décroît rapidement en 15 minutes pour tomber en dessous de 0,5 g/l 25 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo, pour n'être plus que de 0,15 g/l à pleine mer, **avec une porte ouverte le courant de remplissage agissant immédiatement à l'aval du barrage, la turbidité décroît beaucoup plus lentement et atteint encore 1,2 g/l à pleine mer et reste supérieure à 0,5 g/l 25 minutes après la pleine mer.**

Par coefficient 78 les turbidités, qui étaient négligeables avec les portes à flot fermées, 15 minutes avant la pleine mer, subissent au contraire une augmentation progressive avec un maximum de 0,7 g/l 15 minutes après la pleine mer pour décroître ensuite [Figure 88].

Un phénomène comparable se retrouve pour une marée de coefficient 73.

Le tableau ci-après permet de comparer les turbidités des eaux à 200 m en aval du barrage avec les portes à flot fermées et avec une porte à flot ouverte :

VALEURS MOYENNES DES TURBIDITÉS (EN G/L) À 200 M EN AVAL DU BARRAGE (HEURE PAR RAPPORT À LA PLEINE MER DE SAINT-MALO)												
Heure (en mn)	-60	-50	-40	-30	-20	-10	PM	+10	+20	+30	+40	+50
Portes fermées C = 93	-	2,5	> 5	0,7	0,35	0,25	0,18	0,15	0,18	0,15	0,10	< 0,10
1 porte ouverte C = 105	0,1	1,0	> 5	2,5	1,6	1,35	1,2	1,0	0,7	0,35	0,30	0,25

Même en admettant que les turbidités varient comme le carré des coefficients de marée (1,27 plus fortes pour un coefficient 105 que pour un coefficient 93), on constate que les turbidités à 200 m en aval du barrage sont 4 à 5 fois plus fortes lorsque l'on fait pénétrer des eaux marines dans le Couesnon que lorsque le barrage arrête le flot.

Ce fait est dû à une augmentation locale des débits, donc des vitesses qui pénètrent dans le Couesnon.

Au droit du parking Ouest, à 1.850 m du barrage, les débits qui passent dans cette zone sont augmentés par rapport à ceux mesurés avec le barrage de la Caserne fermé.

Avec une porte ouverte, les vitesses en vives eaux (coefficient 106) atteignent près de 2 m/s 1 heure 10 minutes avant la pleine mer, diminuant ensuite progressivement jusqu'à la pleine mer, pour ré-augmenter en jusant à partir de 1 heure 50 minutes après la pleine mer et atteindre 1,80 m/s 2 heures 30 minutes après la pleine mer.

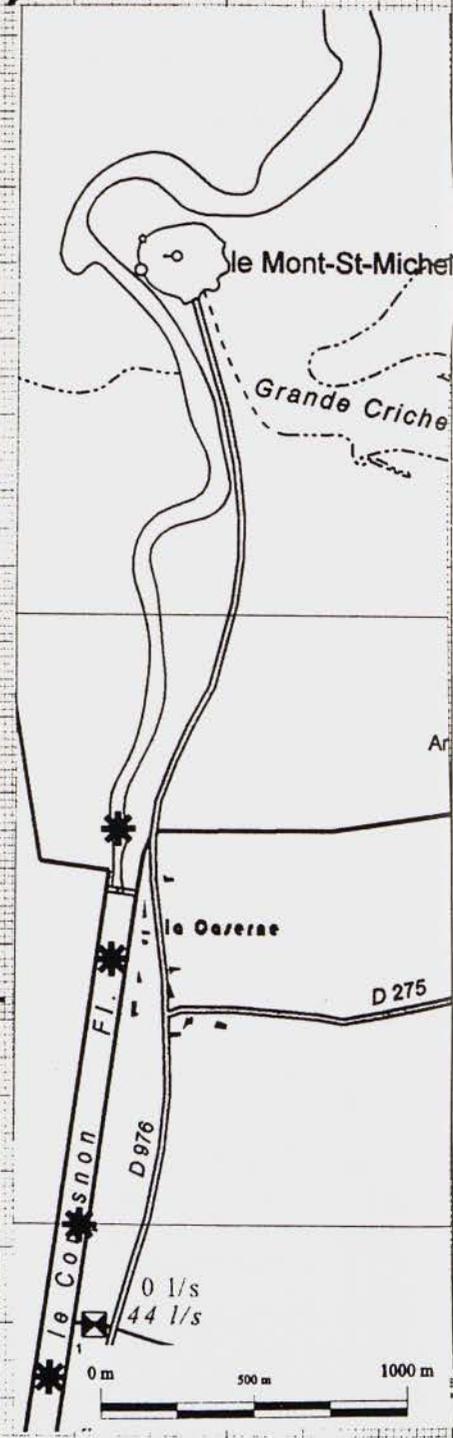
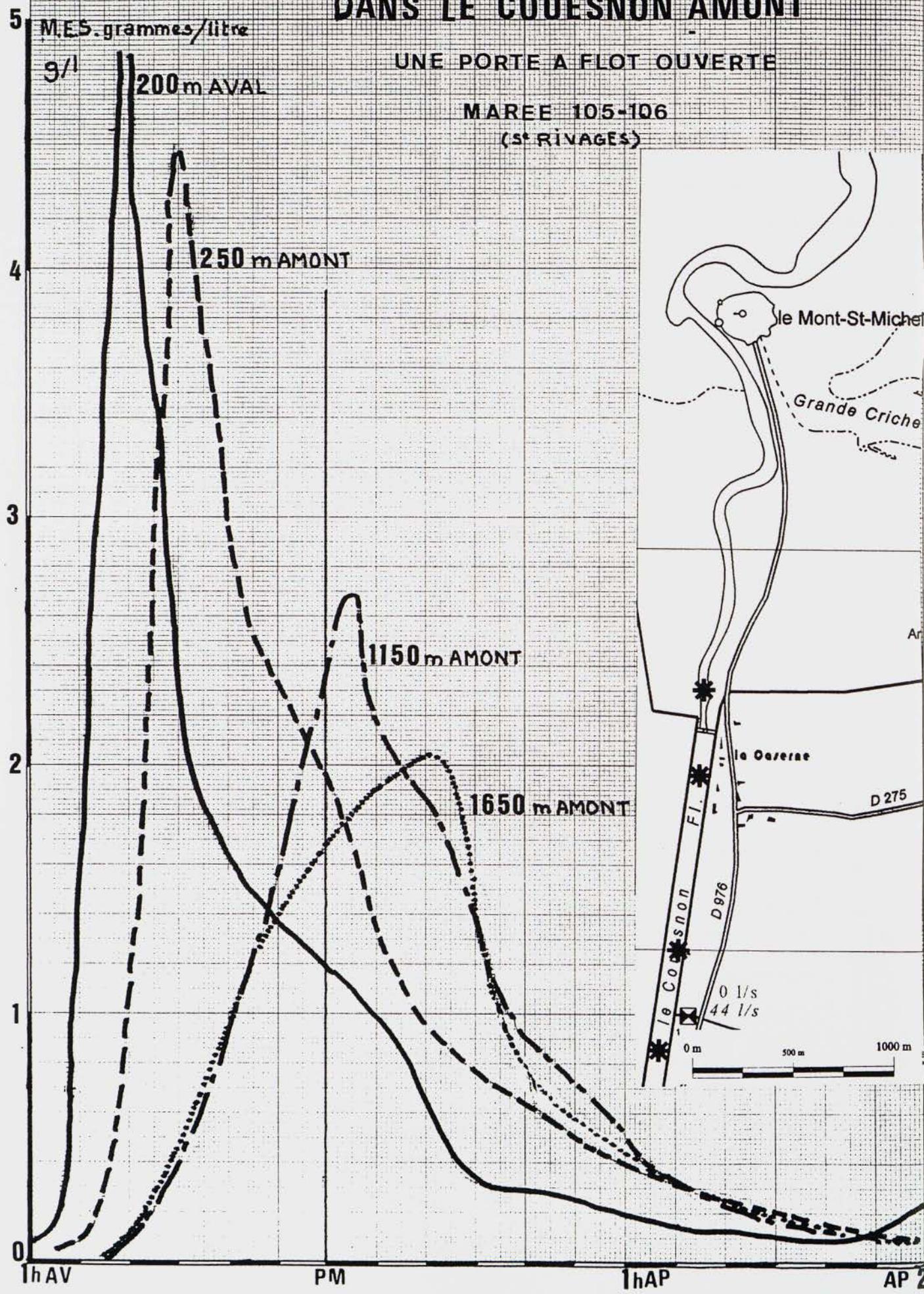
Les turbidités suivent une loi comparable et aux fortes turbidités de flot viennent s'opposer des turbidités très appréciables en jusant, caractérisant une reprise partielle des matériaux susceptibles de s'être déposés sur les fonds entre ces deux périodes [Figure 88].

On constate également la grande différence des turbidités avec les coefficients de marées passant en pointe de 7 g/l pour un coefficient 106 à moins de 1 g/l pour un coefficient 75 et 0,6 g/l pour un coefficient 71.

89 REPARTITION DES TURBIDITES MOYENNES DANS LE COUESNON AMONT

UNE PORTE A FLOT OUVERTE

MAREE 105-106
(5^e RIVAGES)



VALEURS MOYENNES DES TURBIDITÉS (EN G/L) À 1.850 M EN AVAL DU BARRAGE (HEURE PAR RAPPORT À LA PLEINE MER DE SAINT-MALO)													
Heure (en mn)	-60	-50	-40	-30	-20	-10	PM	+10	+20	+30	+60	+120	+150
Portes fermées C = 83	-	1,8	0,95	0,65	0,60	0,4	0,25	0,15	0,10	0,10	0,08	0,08	-
1 porte ouverte C = 106	3	10	2	1,4	1,2	0,9	0,55	0,35	0,25	0,20	0,08	0,3	1,8
1 porte ouverte C = 79	-	0,1	0,25	0,8	0,85	0,50	0,30	0,25	0,20	0,15	0,05	0,4	-

Précisons la grande différence des turbidités entre la marée de coefficient 106 et celle de coefficient 79 avec une porte ouverte.

En amont du barrage de la Caserne, des mesures systématiques ont été réalisées à 250 m, 1.150 m et 1.650 m du barrage et à 3 profondeurs différentes, surface, milieu et fond.

Avec une porte ouverte du barrage, les eaux en amont ont des turbidités importantes qui se font sentir sur toute l'étendue du plan d'eau jusqu'à 1.650 m à l'amont (limite des mesures).

La masse turbide, qui présente à l'aval du barrage (à 200 m) une pointe de concentration de plus de 5 g/l (coefficient 106) 40 minutes avant la pleine mer de Saint-Malo, se déplace progressivement vers l'amont conservant, à 250 m à l'amont du barrage, une pointe à 4,5 g/l et à 2,6 g/l à 1.150 m.

Il existe par contre un gradient de turbidité qui augmente de l'aval vers l'amont, pratiquement nul à 250 m du barrage (forte turbulence), atteignant 2 à 3 entre les fonds et en surface à 1.150 m, pour passer à 6 ou 7 à 1.650 m ; les eaux de surface devenant de moins en moins turbides et celles du fond augmentant. Il y a ségrégation des particules silteuses ou sableuses au cours de la remontée du flot et seules les particules très fines restent en suspension.

À titre indicatif, la répartition des turbidités moyennes entre l'aval du barrage (à 200 m) et les différentes zones situées à l'amont à 250, 1.150 et 1.650 m, est donnée dans le tableau ci-après et sur la *figure 89* pour une marée de coefficient 106, les débits du Couesnon étant de 1,6 à 1,8 m³/s (étiage) :

VALEURS MOYENNES DES TURBIDITÉS (EN G/L) EN AMONT DU BARRAGE (COEFFICIENT 106) (HEURE PAR RAPPORT À LA PLEINE MER DE SAINT-MALO) – 1 PORTE À FLOT OUVERTE														
Heure (en mn)	-60	-50	-40	-30	-20	-10	PM	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70
200 m aval	0,1	1	> 5	2,5	1,6	1,35	1,2	1,0	0,7	0,35	0,3	0,25	0,25	0,2
250 m amont	0,1	0,1	1,05	4,5	2,8	2,3	2	1,3	1	0,75	0,6	0,5	0,4	0,25
1.150 m amont	0,1	0,1	0,1	0,2	0,9	1,6	2,4	2,7	1,8	1,4	0,8	0,6	0,5	0,3
1.650 m amont	0,05	0,05	0,06	0,5	1,0	1,3	1,65	1,85	2,0	1,6	0,7	0,65	0,45	0,3

Les turbidités dans le Couesnon sont décalées dans le temps (déplacement de la masse turbide), mais restent très élevées malgré une ségrégation progressive des sédiments entre l'aval et l'amont.

Sans seuil d'écrêtement des eaux turbides, ou tout autre dispositif susceptible de s'opposer à l'arrivée brutale d'un front turbide sur le barrage, les risques de dépôts dans le Couesnon en amont du barrage sont loin d'être négligeables.

IV.4.3. Bilan des transports sédimentaires dans le chenal du Couesnon

À partir des mesures des sections, des marées, des vitesses et des turbidités, un bilan de transport en flot et en jusant a été réalisé par la Société RIVAGES sous la responsabilité scientifique du Professeur L.R. LAFOND [43.b.].

Ces interprétations ont été faites, d'une part, dans l'état actuel de fonctionnement du barrage, d'autre part, avec une porte à flot ouverte en permanence (largeur : 6,16 m avec seuil à +3 m). Le débit du Couesnon était, rappelons-le, très faible (3,5 à 1,5 m³/s à Pontorson).

Le tableau ci-après, extrait du rapport de la Société RIVAGES d'Avril 1998, donne les principaux résultats avec les portes à flot fermées et une porte à flot ouverte en permanence :

PORTES À FLOT FERMÉES (MASSES SOLIDES AU COURS D'UNE MARÉE COMPLÈTE, EN TONNES)						
Postes de mesures	Marées vives eaux moyennes (coefficients 83 à 93)			Marées moyennes (coefficients 65 à 79)		
	Masse entrante	Masse sortante	Résultante	Masse entrante	Masse sortante	Résultante
Large 3.850 m aval barrage	+104,8	-246,1	-141,3	+74,5	-64,7	+9,8
Nord-Est Mont 2.850 m aval barrage	+81,7	-97,4	-15,7	+43	-34,6	+8,4
Parking Ouest 1.850 m aval barrage	+173	-24,1	+148,9	+38,1	-17,4	+20,7
850 m aval barrage	-	-	-	+8,1	-8,0	+0,1
350 m aval barrage	+34,3	-11	+23,3	-	-	-
200 m aval barrage	+46,8	-12	+34,8	+1,6	-5,4	-3,8
250 m amont barrage	+14,4	-7,7	+6,7	+2,2	-6	-3,8
UNE PORTE À FLOT OUVERTE (SEUIL À +3 M - LARGEUR : 6,16 M)						
Large 3.850 m aval barrage	-	-	-	+39,2 +355	-312,5 -498	-273 -143
Parking Ouest 1.850 m aval barrage	+1.071	-520,5	+550,5	+52,6 +147	-15,2 -54	+27,4 +93
850 m aval barrage	-	-	-	-	-	-
200 m aval barrage	+648	-251	+397	+34,25 +23	-42,5 -44	-8,25 -21
250 m amont barrage	+965	-55	+910	+100,7 +71	-18,8 -13,5	+81,9 +57,5
1.150 m amont barrage	+670	-40	+630	+12,6 +68	-9,8 -15	+2,8 +53
1.650 m amont barrage	+412,8	-28,8	+384	+12,2 +25,4	-10,9 -11,4	+1,3 +14

Le signe(+) signifie une résultante dirigée vers l'amont du chenal du Couesnon (sédimentation) et le signe (-) une résultante dirigée vers l'aval (érosion).

En se basant sur les mesures réalisées à 250 m en amont du barrage avec 1 porte à flot ouverte et un seuil à +3 m (seuil du barrage), on aurait au cours d'une marée les échanges suivants :

Coefficient de marée	Volume fluide (en m³)		Poids sédiments secs (en tonnes)		Turbidité moyenne (en g/l)		Résultante apports (en %)
	Entrant	Sortant	Entrant	Sortant	Entrant	Sortant	
73	354.000	430.000	100	19	0,28	0,045	81
78	196.000	243.000	71	14	0,36	0,055	80
105	650.000	708.900	965	55	1,49	0,08	94

Au cours d'une année, 80 à 85 % des sédiments qui rentrent dans le Couesnon, se déposeraient et 15 à 20 % représentant la fraction fine des matériaux, inférieurs à 10 ou 15 microns, pourrait ressortir.

Partant de l'ensemble des mesures, la Sociétés RIVAGES a essayé d'établir un bilan annuel des transports sédimentaires dans le chenal du Couesnon depuis le large jusqu'à 1.650 m en amont du barrage, dans les deux hypothèses du barrage actuel fonctionnant avec ses portes à flot et du barrage ayant une porte continuellement ouverte.

Il a été admis :

- Peu ou pas de transport solide en marées de mortes eaux.
- 33 % en marées moyennes (coefficients 65 à 85).....230 marées par an.
- 20 % en vives eaux moyennes (coefficients 85 à 105).....150 marées par an.
- 3,75 % en vives eaux exceptionnelles (coefficient > 105)25 marées par an.

BILAN ANNUEL DES TRANSPORTS SÉDIMENTAIRES DANS LE CHENAL DU COUESNON (EN TONNES PAR AN)							
PORTES À FLOT FERMÉES (ÉTAT ACTUEL)							
Aval barrage				Amont barrage			
Large 3.850 m	2.850 m	Parking Ouest 1.850 m	850/350 m	200 m	250 m	1.150 m	1.650 m
-22.000	-900	+30.000	+4.000	+5.000	1.275	-	-
UNE PORTE À FLOT OUVERTE							
-88.000	-	+36.500	-	+5.400	+51.400	+25.000	+12.300

Sans vouloir donner à ces chiffres une valeur absolue, ils permettent de dégager un certain nombre de tendances générales :

- Dans l'état actuel, les apports sédimentaires annuels en amont du Mont Saint Michel (parking Ouest) atteindraient 30.000 tonnes par an dont 5.000 tonnes se déposent sur les 200 derniers mètres au pied du barrage.

Au large du Mont, par contre, la tendance s'inverse et le chenal du Couesnon aurait un transport résultant dirigé vers le large. La résultante à 2 km au large du Mont atteindrait 20.000 tonnes par an. Sur les bancs latéraux, par contre, le phénomène serait à une pénétration des sédiments.

En amont du barrage, on retrouve une résultante de dépôts de 1.275 tonnes par an, par suite des fuites constatées dans les portes à flot.

- **Avec ouverture d'une porte à flot**, plus de 50.000 tonnes de sédiments sont piégés à l'intérieur du Couesnon (sans seuil d'écrêtement des eaux turbides).

50 % de ces apports se déposent à moins de 1.150 m du barrage, 25 % environ entre 1.150 et 1.650 m, le reste se déposant en amont de 1.650 m.

Cette valeur de 50.000 tonnes par an semble sous-estimée et l'on constate qu'en nature les apports résultants seraient, pour une marée moyenne (coefficient 73 – 78), de 80 tonnes environ et de 900 tonnes pour une marée de vives eaux (coefficient 105). La résultante annuelle moyenne pour les marées supérieures au coefficient 70 pourrait atteindre près de 75.000 tonnes par an.

Il n'en reste pas moins que les ordres de grandeur obtenus par ces mesures sont très significatifs et l'on doit se rappeler que les anciennes études faites en 1975, à l'aide du modèle réduit sédimentologique, conduisaient à un dépôt annuel dans le Couesnon de 100.000 m³ par an si on supprimait le barrage du Couesnon entièrement, ce qui recoupe les estimations faites par RIVAGES avec une ouverture d'une seule porte à flot.

IV.4.4. Les mouvements sédimentaires à l'entrée de la criche Est

À l'entrée de la criche Est, les mesures réalisées en vives eaux (coefficient 103) montrent que :

- Le remplissage s'effectue de 1 heure avant pleine mer à Saint-Malo à 10 minutes après pleine mer. Le débit instantané maximum atteint 150 m³/s ½ heure avant pleine mer et le volume d'eau pénétrant dans la criche peut atteindre 450.000 m³.
- La vidange présente un maximum de débit ¾ heure après la pleine mer avec 130 m³/s, il n'est plus que de 50 m³/s 1 heure ½ après pleine mer, les écoulements étant ensuite très faibles 2 heures après pleine mer. Le volume sortant étant supérieur de 50.000 m³ au volume entrant.
- Le débit solide instantané atteint 550 kg/s à l'arrivée du flot (50 minutes avant pleine mer) représentant une turbidité moyenne des eaux de 5 à 6 g/l qui diminue très rapidement pour passer en 10 minutes à moins de 1 g/l. Au moment de la renverse, la charge turbide est très faible.
- Au cours de la marée, il se dépose 400 tonnes de sédiments dans la criche.

On ne dispose pas d'autres mesures pour réaliser un bilan annuel des transports solides et l'on ne peut que constater qu'en vives eaux le bilan reste à un lent colmatage de la criche.

IV.5. MÉCANISMES DE L'ÉVOLUTION DE LA PETITE BAIE – ÉVOLUTION DES APPORTS SÉDIMÉNTAIRES AU COURS DU PROCHAIN SIÈCLE

Les différentes mesures et les observations faites en nature permettent de dégager un certain nombre de présomptions sur les mécanismes qui interviennent dans le comblement de la petite baie du Mont Saint Michel et sur l'influence de la divagation des rivières et ruisseaux pour limiter l'extension des schorres et des herbous.

De même, les variations de la capacité d'emmagasinement des eaux marines au cours des temps, consécutives aux dépôts qui se sont produits dans la petite baie, permettent d'établir des présomptions sur l'évolution possible des apports sédimentaires au cours du prochain siècle.

IV.5.1. Mécanismes de l'évolution de la petite baie

IV.5.1.1. LE RÔLE DES MARÉES

Les courants de marée restent le phénomène prépondérant pour expliquer le colmatage progressif de la baie du Mont Saint Michel et son exhaussement important en fond de baie.

Ces marées, dont l'amplitude peut atteindre 15 m en vive eau exceptionnelle, vont pouvoir couvrir des zones comprises entre le zéro hydrographique et la cote +15 m environ C.M., c'est-à-dire par rapport au zéro terrestre I.G.N. 69 entre les cotes -6,7 m et +8,30 m.

Les cotes des fonds les plus bas à l'entrée de la petite baie se situant au voisinage de +1 m I.G.N. 69, la marée proprement dite ne dépassera cette cote que pendant la moitié du temps. Elle se présentera à cette limite en flot au moment où la vitesse ascensionnelle des eaux est la plus forte, entraînant des vitesses instantanées de remplissage très importantes qui agiront sur des épaisseurs d'eau très faibles, pouvant produire un véritable mascaret.

En flot, on assiste donc à une remise brutale des sédiments en suspension et à leur entraînement sur toute la largeur des fonds avec des bilans de transport au mètre linéaire pouvant atteindre des valeurs très importantes. La durée du flot sera très courte, de 2 heures $\frac{1}{2}$ à 3 heures à l'entrée de la baie, pour diminuer encore vers les zones plus élevées du fond de la baie et tomber à 1 heure ou 1 heure $\frac{1}{2}$.

À l'étalement des courants, une partie de ces sédiments en suspension pourra se déposer, notamment les sables et sablons, les éléments pélitiques (tangué) restant plus facilement en suspension et ne pouvant se déposer que dans les zones très calmes offertes notamment par les herbues lorsqu'ils sont couverts par les eaux sur la haute slikke.

En jusant, une grande partie des apports sédimentaires sera ré-entraînée vers le large, mais avec des débits sédimentaires instantanés plus faibles, mais pouvant se poursuivre sur des durées beaucoup plus longues. Ces transports se localiseront d'une façon préférentielle dans les chenaux, criches et filandres avec des écoulements réduits en période d'étiage des rivières, mais pouvant s'effectuer sur 8 ou 9 heures jusqu'au mi-flot suivant.

Les tracés des chenaux de flot et de jusant auront une grande importance pour la morphologie des fonds. Les chenaux de flot pouvant avoir des actions antagonistes par rapport aux chenaux de jusant, attaquant des rives différentes suivant leurs courbures et pouvant engendrer des divagations dans leurs tracés avec, suivant les cas, percement d'un banc – tel que le banc de l'Ouest en jusant de grand coefficient renforcé par des crues – ou au contraire s'associer au chenal de flot pour favoriser son extension vers l'Est.

IV.5.1.2. LE RÔLE DES DÉBITS FLUVAUX

En crue ou débit moyen des rivières et ruisseaux, l'action des apports d'eau douce fluviale devient prépondérante dans les chenaux et filandres, des écoulements de 200 m³/s par exemple pouvant se produire dans le chenal issu de la Sée – Sélune et de près de 100 m³/s dans celui du Couesnon. Dans les criches, les débits de drainage des eaux accumulées pendant le flot et après de violents orages sur le schorre et les herbues, sont également à prendre en considération.

De tels débits, agissant pendant plusieurs heures de la marée dans les zones exondées, vont ré-entraîner une partie importante des sédiments vers le large créant des méandres, balayant les grèves et les « remodelant » partiellement.

Aux apports sédimentaires massifs sous l'action des courants de flot, agissant notamment au cours des marées de vives eaux, vont s'opposer les érosions des fonds plus localisées dans les points bas de la baie que constituent les chenaux, filandres et criches.

Toutes réductions de ce potentiel d'apports d'eau douce mais également des volumes accumulés par la marée dans les estuaires en flot, vont modifier dans une forte proportion l'équilibre sédimentaire de la baie, en particulier aux abords du Mont.

Le pouvoir érosif de ces débits fluviaux ou de jusant dans les chenaux dépendra en partie des pentes d'écoulement entre l'arrivée des rivières et ruisseaux dans la baie – c'est-à-dire au débouché de leur estuaire – et la cote des fonds au large de la petite baie qui conditionne le « niveau de base » des écoulements [24.a.].

Précisons qu'une crue du Couesnon de 50 m³/s apporte, en une marée, 2,25.10⁶ m³ d'eau, c'est-à-dire un volume identique au volume oscillant moyen qui pénètre sous le jeu des marées dans un secteur délimité par un cercle passant à 1 km au large du Mont. En forte crue (100 m³/s), ce débit devient 2 fois plus important que le volume oscillant moyen, permettant une forte érosion de cette zone et son remodelage.

Rappelons que le rôle des « eaux douces » en tant que modification importante des caractéristiques mécaniques des sols et notamment des tangles, ne ressort pas des mesures faites sur leur cohésion en eau de mer et en eau douce. Par contre, il est certain qu'un sol émergé partiellement asséché peut, après des pluies abondantes, voir ses caractéristiques se modifier et être plus sensible à une érosion latérale par les courants se créant dans les filandres de drainage.

IV.5.1.3. LE RÔLE DE LA DIVAGATION DES CHENAUX

Les chenaux, filandres ou criches exercent un rôle primordial sur le couple érosion – sédimentation en canalisant les courants fluviaux et de marées et en concentrant leur énergie [27.e.].

L'érosion progresse par sapement des berges des rives concaves, ce phénomène étant plus particulièrement marqué dans les zones de haut schorre où les sols présentent une certaine cohésion.

Des microfalaises apparaîtront suivies d'éboulements par sapement sous-jacent libérant une masse appréciable de matériaux recouverts éventuellement de végétation. Les chenaux « tallardent » (du breton tallard qui signifie sillon).

Ce phénomène s'effectue non seulement en jusant et en crue, mais au début du flot qui s'engage dans ces dépressions, créant un « chenal de flot » souvent en opposition au « chenal de jusant ».

Ces actions complémentaires qui produisent des érosions successives latérales de sapement peuvent contribuer à limiter l'extension des herbues sur le schorre et sur la haute slikke. Ces actions peuvent être brutales avec des reculs de plusieurs dizaines de mètres en quelques jours correspondant à des phénomènes exceptionnels de tempêtes, de grandes vives eaux ou de crues.

De tels phénomènes se sont produits au cours des temps, conduisant aux destructions des polders de l'Est par les divagations de la Sée et de la Sélune qui ont été rabattues, à une époque, vers l'Ouest venant passer entre le Mont Saint Michel et la terre pour, au contraire, partir à d'autres époques vers l'Est venant attaquer le secteur de Genêts.

Le Couesnon de son côté venait – tant qu'il n'a pas été canalisé – divaguer vers l'Ouest jusqu'à la Chapelle Sainte Anne pour repartir, à d'autres époques, vers le Nord ou même vers l'Est, « balayant » alternativement de grandes étendues de terrains et s'opposant au développement du schorre et à sa colonisation par la végétation.

Actuellement, ces divagations ont été volontairement limitées par les interventions humaines du XIX^{ème} et du début du XX^{ème} siècle, avec une réduction ou une suppression des volumes oscillants pénétrant notamment dans le Couesnon. L'extension du schorre et sa consolidation par les herbues sont des éléments permettant de limiter les grandes divagations des rivières dans la frange littorale, de telles divagations se limitant à la zone de la haute slikke plus vulnérable.

IV.5.1.4. LE RÔLE DES HOULES ET CLAPOTS

On admet que les houles n'exercent qu'un rôle « subordonné » dans la zone estuarienne de la petite baie.

On ne peut cependant éliminer en tempête (clapots ou houles résiduelles faibles) l'augmentation de la turbulence qu'elles exercent sur les fonds et négliger leurs effets sur les remises en suspension des sédiments à la laisse des eaux, avec augmentation des phénomènes de lévigation et élimination des particules très fines que l'on retrouvera, à ces périodes de tempêtes, dans les eaux en pourcentage plus élevé qu'en période de calme.

IV.5.1.5. LES TRANSPORTS ÉOLIENS

L'action du vent peut remobiliser des sables et sablons secs exondés, notamment en période de mortes eaux.

Cette remise en suspension des sables par le vent, appelée localement le « riblon », ne peut intervenir que pour une masse très faible dans les mouvements sédimentaires de la baie et, dans tous les cas, inférieurs à 50.000 m³ par an pour toute la baie.

* * *

Action des courants de marées avec les volumes d'eau oscillants qu'elles entraînent, divagation des rivières et ruisseaux, débits propres des rivières en crue, restent les phénomènes prépondérants intervenant dans les mécanismes qui contribuent à l'évolution des fonds de la petite baie, et que les interventions humaines du siècle passé ont su utiliser au mieux pour gagner des terres sur la mer contribuant à modifier l'environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel.

IV.5.2. Évolution des apports sédimentaires dans la petite baie au cours du prochain siècle

Au fur et à mesure que le fond de la petite baie et les embouchures des rivières se colmatent, les volumes d'eau oscillants qui pénètrent et sortent de cette zone, à la limite fixée à 3 km au large de Tombelaine, diminuent progressivement et, de ce fait, les quantités de sédiments susceptibles d'être apportées.

L'établissement d'une loi de décroissance exponentielle est difficile à établir bien qu'elle se justifierait par l'homothétie des formes géomorphologiques et le maintien des pentes d'équilibre, ce qui conduit à postuler une proportionnalité des transports sédimentaires aux volumes oscillants comme un phénomène général, dont l'actualité est par ailleurs vérifiée [29 – 26.f.].

Dans la période de poldérisation allant de 1857 à 1934 on a vu, au cours des chapitres précédents, que les dépôts dans la petite baie atteignent environ 1,4 millions de m³ par an, les dépôts dans les polders de l'Ouest atteignant à eux seuls 50 millions de m³ sur une superficie de 35 km² et ceux à l'Est, à l'abri de la digue de la Roche Torin, 20 à 30 millions de m³ sur une superficie de 12,5 km².

Au cours de cette époque, on extrayait encore près de 200.000 m³ de tanguie dans l'Anse de Moidrey (moyenne de 1870 à 1920) et l'on pouvait admettre que la totalité des dépôts atteignait environ 1,5 millions de m³ par an au début du siècle.

Entre 1947 et 1980, on sait que la progression des herbues atteignait 27 hectares par an ; cette valeur tombant à 15 hectares par an entre 1980 et 1996.

De même, les dépôts sur les bancs Ouest et Est, uniquement sur le schorre et la haute slikke, ont atteint 24 millions de m³ (13.10⁶ m³ à l'Ouest et 11.10⁶ m³ à l'Est) entre 1958 et 1997.

En analysant par ailleurs les levés des fonds de 1958 – 1975 et 1997 sur une partie de la petite baie (43 km²), on constate que 27 millions de m³ se sont déposés dans cette zone entre 1958 et 1997, soit 700.000 m³ par an qui, extrapolés à l'ensemble de la petite baie et des estuaires de la Sée et de la Sélune, représenteraient une sédimentation moyenne annuelle de un million de m³ par an environ.

Ces chiffres, qu'il faut prendre avec réserve, conduisent à penser qu'en une centaine d'années les dépôts dans la petite baie – localisés principalement en fond de baie – ont diminué de 40 % environ, soit en moyenne de 0,4 % par an.

En calculant, à partir des levés de 1958 à 1997, la diminution de capacité d'emmagasinement des eaux dans la petite baie (limitée à l'amont par un alignement Roche Torin – Grouin du Sud et à la cote +7 m I.G.N.), on a constaté que l'on passait d'un volume de 196.10⁶ m³ en 1958 à 160.10⁶ m³ en 1997, soit une diminution de 19 % en 40 ans (0,5 % par an en moyenne). Une valeur analogue est obtenue en se basant sur les volumes d'eau oscillants annuels qui atteignent 75.10⁹ m³ en 1958 à 65.10⁹ m³ en 1997 (diminution de 14 %).

Une diminution moyenne des apports et des dépôts de 0,5 % par an semble une valeur acceptable et transposable au prochain siècle, ce qui conduirait vers l'an 2100 à des dépôts annuels de moins de 400.000 m³ pour l'ensemble de la petite baie du Mont Saint Michel avec une loi de décroissance exponentielle dans le temps de la forme :

$$V_t = V_0 e^{-kt}$$

avec :

V_t = Volume des dépôts après un temps "t" en années

V_0 = Volume initial au temps T_0

k = Un coefficient voisin de $k = 0,0065$

DÉPÔTS DANS LA TOTALITÉ DE LA PETITE BAIE AU COURS DES DIFFÉRENTES PÉRIODES				
(EN MILLIONS DE M³ PAR AN)				
Période	1900	1958 – 1975	1975 – 1997	
Volumes des dépôts estimés	1,5	1,1	0,8	—
Volumes calculés	T_0 (1900)	1966	1986	2050
	1,4	1,0	0,85	0,56

Entre 1900 et 2050, les dépôts auraient diminué en moyenne de 0,4 % par an et ne seraient plus que de 400.000 m³/an à la fin du XXI^{ème} siècle.

Cette estimation suppose qu'aucune modification ne soit apportée dans les aménagements et que le niveau marin ne subit pas de surélévation appréciable.

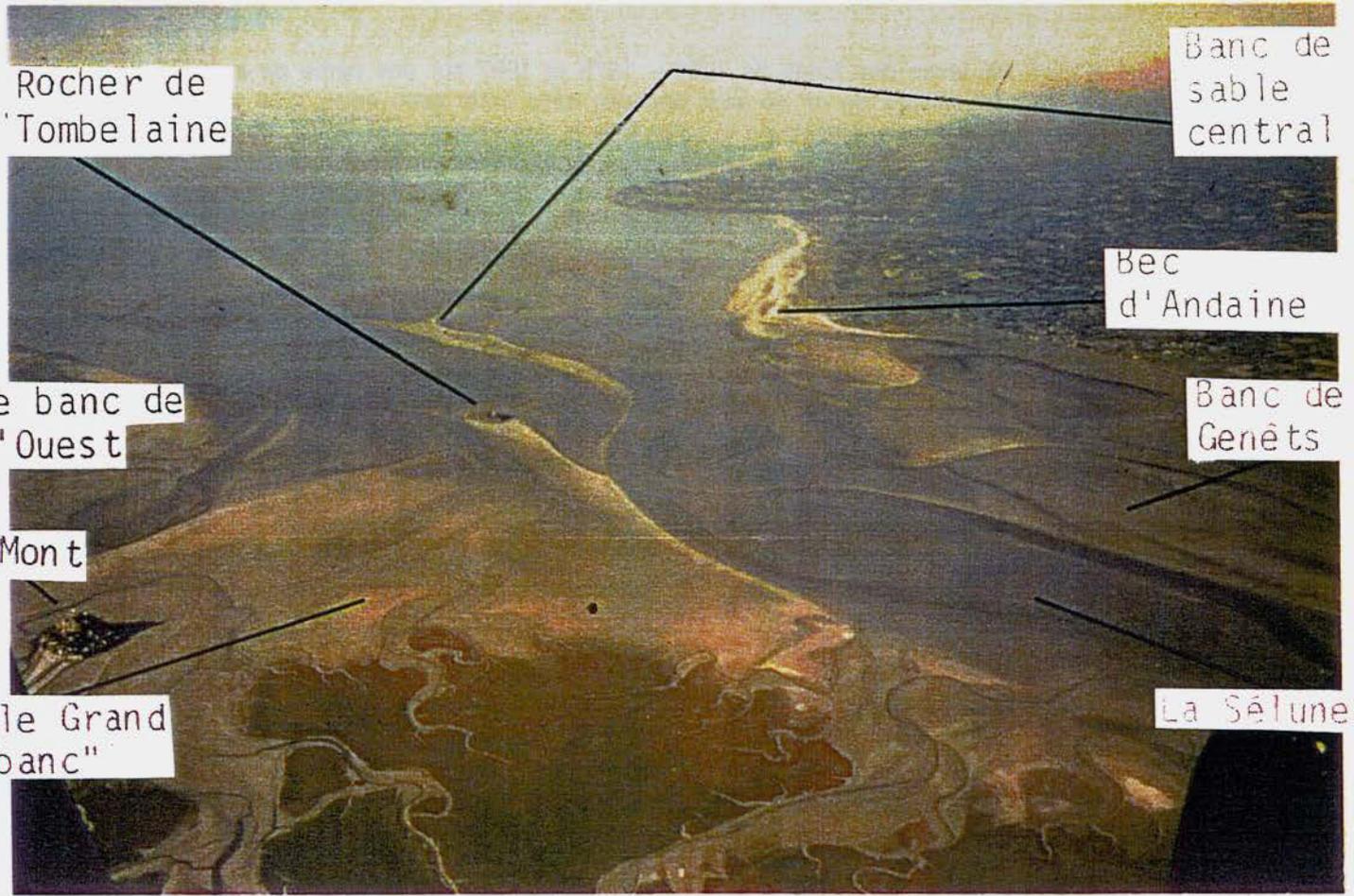
Si l'on admettait une surélévation du niveau moyen des marées de 0,50 m au cours du prochain siècle, les capacités d'emmagasinement des eaux dans la petite baie seraient augmentées d'autant avec envahissement progressif d'une partie du schorre.

En 2100, la capacité d'emmagasinement de la petite baie qui atteint actuellement 160.10⁶ m³ à la cote +7 m, passerait à 195.10⁶ m³, valeur à laquelle il faudrait soustraire les dépôts prévisibles pendant cette période (70.10⁶ m³).

90

VUE AÉRIENNE DE LA PETITE BAIE EN 1975

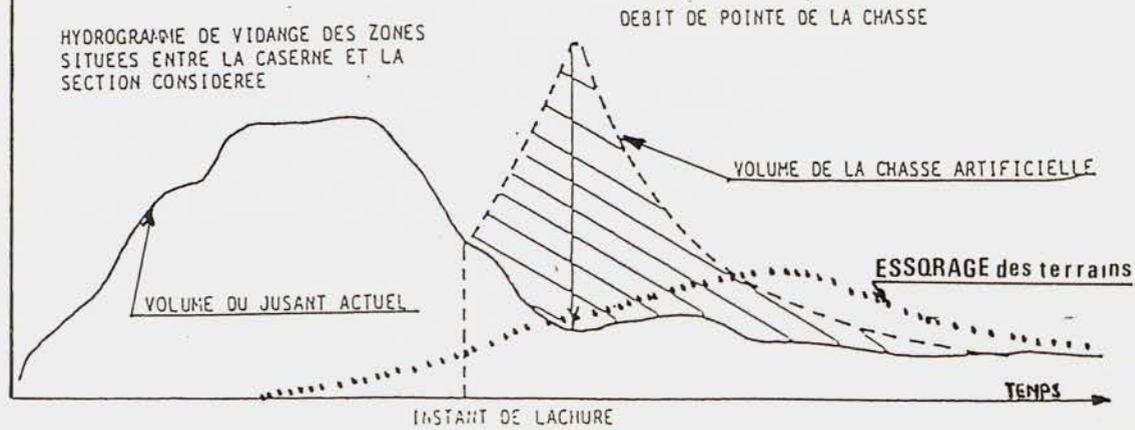
Photo (27-10-1975)



91

DEBIT EN m³/s

Au Mont Saint Michel le débit de chasse vient s'ajouter au débit de vidage



IV.5.3. Conclusions

Le colmatage progressif de la petite baie du Mont Saint Michel est un phénomène inéluctable contre lequel on ne peut agir que localement aux abords immédiats du Mont.

Si ce colmatage tend à se réduire dans le temps, dans la zone délimitée de la petite baie par un arc de cercle passant à 3 km au large de Tombelaine, les volumes sédimentaires pénétrant dans cette zone diminuant progressivement par suite de la variation de sa capacité d'emmagasinement des eaux marines, les abords du Mont situés au fond de la baie perdent de plus en plus leur caractère maritime. De part et d'autre, les bancs de l'Ouest et de l'Est progressent enclavant littéralement le Mont et risquant de le voir un jour se raccorder à l'un de ces bancs avec la progression des herbues en résultant.

Le fond de la petite baie avance régulièrement vers le large, plus de 60 % des dépôts se produisent sur la haute slikke et le schorre entraînant une extension des herbues de près de 15 hectares par an dans un secteur situé à 5 km environ de part et d'autre du Mont.

Parallèlement, les estuaires des rivières, et notamment du Couesnon, se colmatent et leurs embouchures se déplacent vers le large ; le phénomène étant d'autant plus rapide que l'on a réduit artificiellement les volumes d'eau marine qui pouvaient pénétrer dans ces estuaires.

Progressivement, la petite baie se divise entre deux zones « estuariennes » : l'une rattachée à la Sée – Sélune, l'autre au Couesnon, et séparées par des hauts fonds reliant Tombelaine à Roche Torin [Figure 90].

L'équilibre morphologique de ces estuaires reste tributaire entre autres [Figure 91] :

- Des volumes d'eau oscillants qui pénètrent et sortent de leurs embouchures.
- Des débits propres des rivières qui, pour le Couesnon, sont loin d'être négligeables (près de 1 million de m³ par jour pendant 6 mois par an pour le Couesnon).
- Dans une moindre part, des eaux de drainage et d'essorage des slikkes et des schorres qui peuvent se gorger partiellement d'eau avec la marée (en vives eaux) et les restituer avec un phénomène de « rétention » au moment du jusant contribuant à la formation des filandres.

Dans le cas du Couesnon – dont l'influence est prépondérante pour le maintien de l'environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel – le colmatage naturel de son bief fluvio-maritime, en aval de Pontorson, y compris l'anse de Moidrey, avait déjà diminué fortement les volumes d'eau oscillants avant 1969. La création du barrage de la Caserne les a supprimés.

Au droit du Mont il ne reste, en 1997, pour les volumes oscillants dus à la marée, qu'une capacité maximale de 6 millions de m³ pour une marée de vive eau (cote +7 m I.G.N.) dans toute la zone délimitée par un arc de cercle passant à 1 km au large du Mont et englobant, non seulement l'embouchure du Couesnon, mais la criche Est. Cette capacité tombe à 1,5 millions de m³ pour une cote d'eau de +5 m correspondant à celle atteinte pendant la moitié du temps en pleine mer.

Le débit fluvial devient prépondérant dans cette zone qui, d'après les estimations faites, perd chaque année environ 0,5 % de sa capacité dans son état actuel avec le barrage de la Caserne.

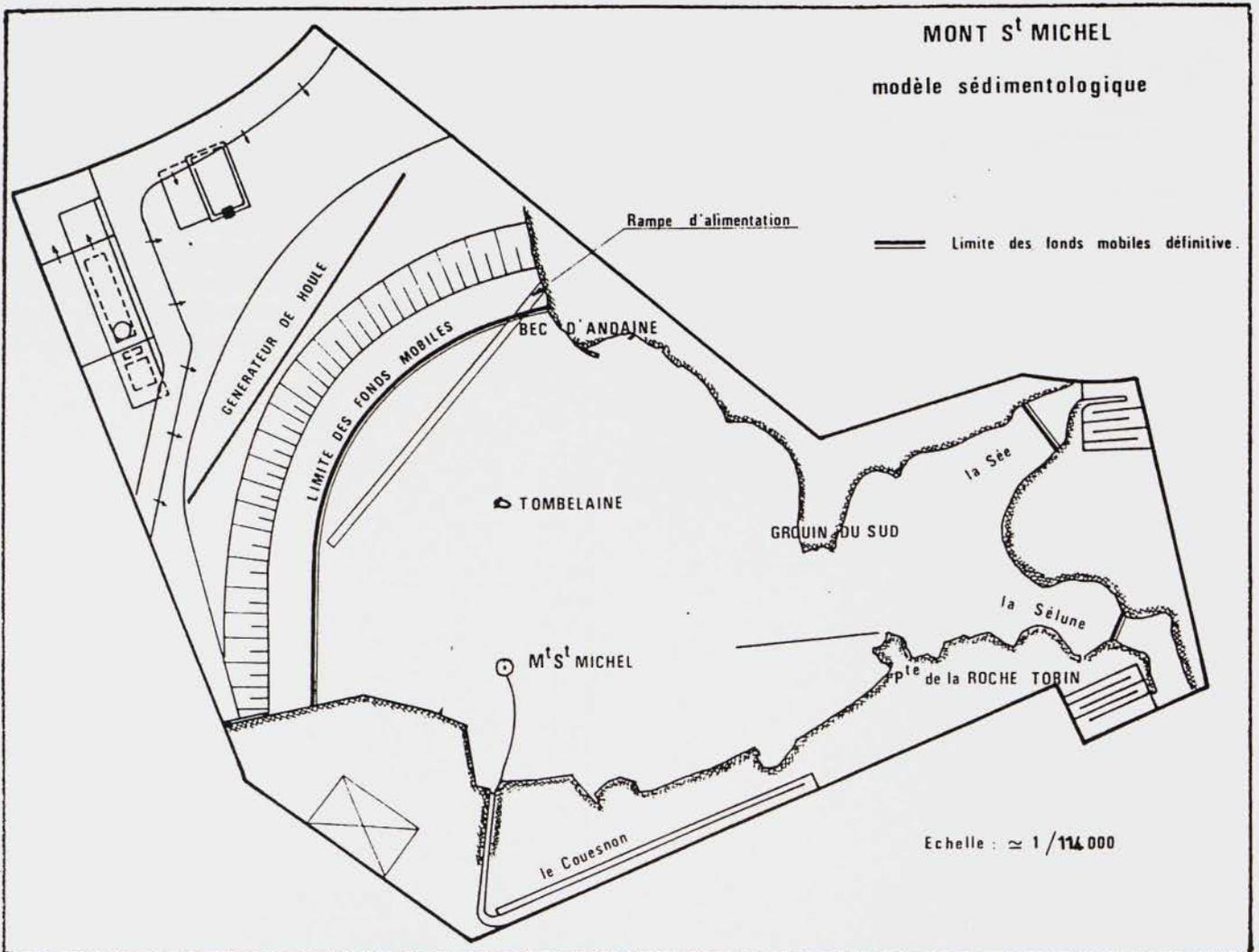
Pour améliorer et maintenir des profondeurs acceptables pour l'environnement maritime des abords du Mont, on ne peut agir – en dehors d'extractions artificielles des dépôts – que :

- En augmentant les volumes d'eau oscillants sous le jeu des marées : l'aménagement du barrage de la Caserne et le rétablissement progressif des profondeurs dans l'anse de Moidrey permettront d'obtenir ce résultat, avec un volume oscillant de 1 à 1,5 millions de m³ en marées de vives eaux exceptionnelles.
- En gérant les chasses du Couesnon par conservation des eaux pénétrant en flot en amont du barrage et en accumulant les eaux fluviales apportées pendant quelques heures après la pleine mer (chasses réalisées de 3 heures à 7 heures après pleine mer).

- En alimentant artificiellement la criche Est pour pallier à l'impossibilité de rétablir les actions des anciens ruisseaux Guintre – Landais – Ardevon, qui ne présentent plus actuellement de capacités d'emmagasinement et de débits propres utilisables.

Cette association entre l'amélioration des volumes d'eau oscillants aux abords du Mont et des chasses du Couesnon tributaires du débit de la rivière devraient permettre, en répartissant équitablement ces puissances hydrauliques de part et d'autre du Mont, de rétablir ou tout au moins de maintenir localement un environnement maritime, sans pouvoir s'opposer pour autant à l'avancée du littoral de part et d'autre du Mont ; ce qui nécessiterait des moyens déterministes beaucoup plus importants et onéreux qui avaient été envisagés antérieurement au cours des études de 1975.





CHAPITRE V - LES PRÉVISIONS DES ÉTUDES FAITES SUR LE MODÈLE RÉDUIT EN 1975-1977 ET LES ENSEIGNEMENTS À EN TIRER POUR L'AMÉLIORATION ET LE MAINTIEN DE L'ENVIRONNEMENT MARITIME AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL

V.1. LES PRÉVISIONS DES ÉTUDES SUR LE MODÈLE RÉDUIT RÉALISÉ EN 1975-1977 ET LES CONSTATATIONS FAITES EN NATURE 20 ANS APRÈS

V.1.1. Rappel des caractéristiques du modèle sédimentologique de 1975-1977

Devant la complexité des phénomènes agissant sur la baie du Mont Saint Michel, et que les mesures océanographiques et sédimentologiques réalisées par le L.C.H.F. en 1975 avaient permis de quantifier, la nécessité de faire appel à des recherches plus poussées à l'aide d'études sur modèle réduit physique sédimentologique, associées à un modèle mathématique pour les problèmes d'aménagement du Couesnon, a été retenue en 1975 par le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie.

Ces études sur modèle physique sédimentologique avaient été jugées, par la Commission Scientifique supervisant les recherches, comme le moyen le mieux adapté pour les études envisagées.

Ce modèle représentait, à l'échelle en plan du 1/500^{ème} et du 1/70^{ème} pour les hauteurs, l'ensemble de la petite baie du Mont Saint Michel et était limité au large par une enveloppe semi-circulaire passant à 3,5 km de Tombelaine, joignant le bec d'Andaine à l'Est et Sainte Anne à l'Ouest [Figure 92].

Parallèlement, un petit modèle hydraulique – représentant l'ensemble de la grande baie, mais à une échelle très réduite – avait été mis en œuvre pour apporter des précisions sur les conditions aux limites du grand modèle sédimentologique [15 – 24.c.].

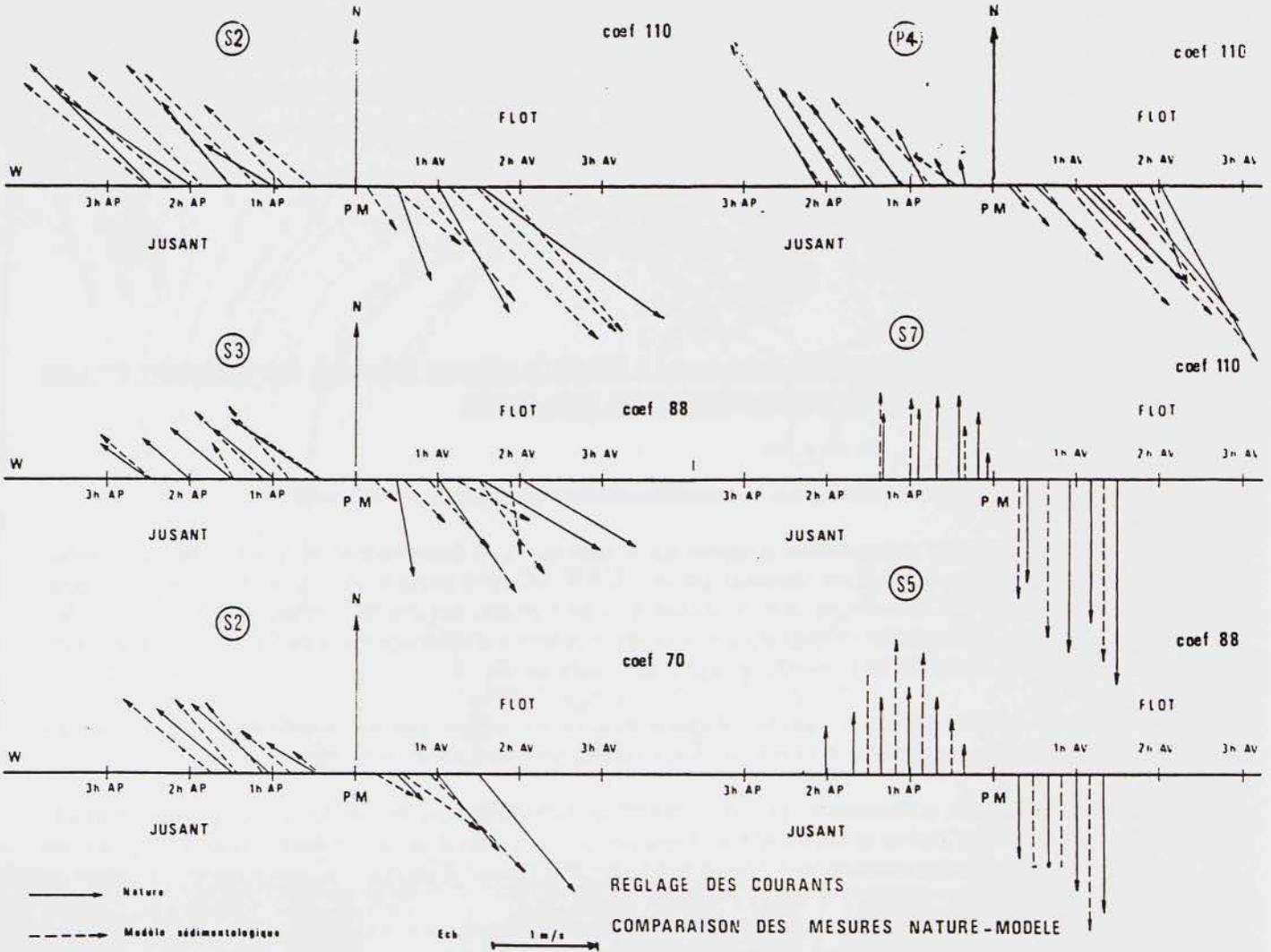
L'ensemble des conditions océanographiques et hydrauliques connues (marées, houles, courants, débits fluviaux...) était représenté en similitude ainsi que les différents sédiments recouvrant les fonds (sablons et tangues) dont les propriétés physiques et le comportement sous les actions hydrodynamiques (courants, houles) avaient été étudiés par ailleurs [24.d.].

Après avoir examiné l'influence des différents coefficients de marées et du cycle hydrologique sur les évolutions des fonds, il a été admis que l'on pouvait simplifier le cycle expérimental en représentant uniquement des marées de vives eaux (coefficient 100, pleine mer, à +7 m I.G.N.) avec des fluctuations de houles et des débits des rivières entre 7 et 25 m³/s. Le Couesnon était représenté en amont du barrage de la Caserne en respectant ses capacités d'emmagasinement des eaux pour différentes cotes du plan d'eau (1 million de m³ pour une cote de remplissage à +6,40 m ; 1,2 millions de m³ à la cote +7 m).

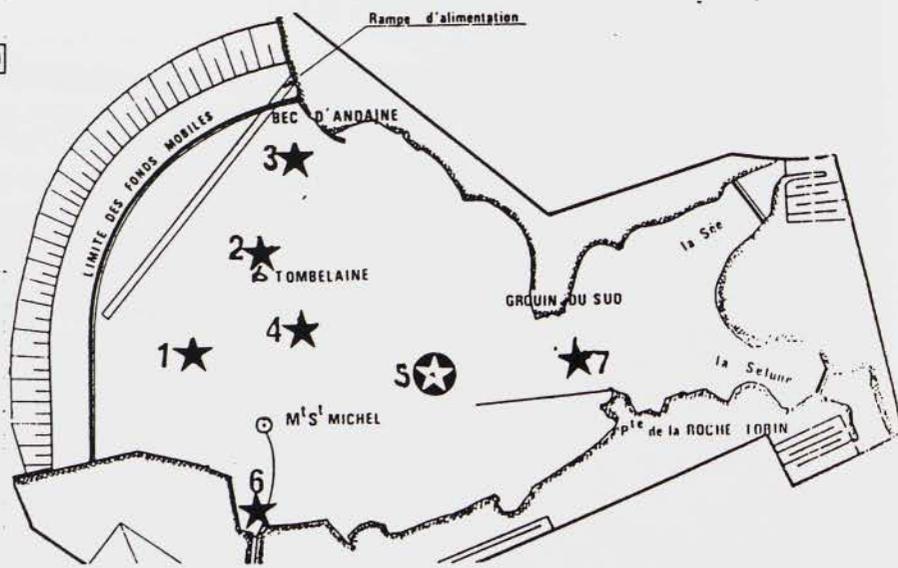
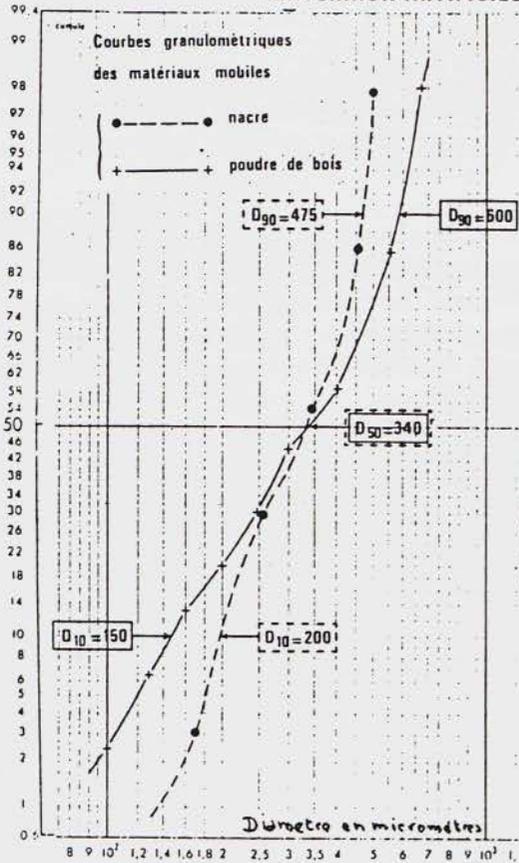
Sur ce modèle sédimentologique, différentes solutions « déterministes » d'aménagements envisagés par le Ministère, ou suggérées à la suite des essais, ont été étudiées. Leur objectif était de maintenir le plus longtemps possible un caractère maritime aux abords immédiats du Mont Saint Michel en agissant sur une meilleure utilisation des puissances hydrauliques disponibles, tant dans le Couesnon, la Sée et la Sélune qu'à l'aide de réservoirs artificiels susceptibles de remplacer les ruisseaux qui se jetaient jadis à l'Est du Mont (Guintre, ruisseaux Landais et d'Ardevon...).

Parallèlement, la possibilité de couper la digue route et de la remplacer par un pont d'accès susceptible de laisser passer la marée entre le Mont et le continent, a été examinée, ainsi qu'une meilleure utilisation du barrage de la Caserne qui, dans toutes les études sur modèle réduit physique, a été conservé avec une largeur de 50 m hors tout.

FIGURE N°93 : COMPARAISON ENTRE LES COURANTS MESURÉS EN NATURE ET SUR LE MODÈLE



MATÉRIAUX ARTIFICIELS SCHÉMATISANT LES SABLONS ET LES TANGUES



Ce n'est qu'ultérieurement, à la suite d'études sur un modèle mathématique, que la largeur du barrage a été envisagée à 70 m avec élargissement du Couesnon, pour faciliter la pénétration de la marée et l'évacuation des crues, ce dispositif n'ayant pas été introduit dans le modèle réduit physique sédimentologique.

Les détails de ces études ne seront pas examinés ici et l'on se limitera à comparer les prévisions faites en 1977 par le modèle pour la période 1958-1995 sans aménagement avec les phénomènes que l'on a pu constater en nature au cours de la même époque avec seulement la destruction partielle de la digue de la Roche Torin.

V.1.2. Les phénomènes hydrauliques représentés – Comparaison avec les mesures faites en nature

La *figure 93* montre la bonne similitude entre les courants reproduits sur le modèle par rapport aux mesures faites en nature préalablement au modèle.

De même, on a vérifié que les marées avaient une propagation satisfaisante et que les volumes d'eau pénétrant et sortant des rivières Sée et Sélune étaient correctement représentés.

Sur le plan sédimentologique, les sables et sablons ont pu être correctement schématisés par des particules de nacre artificielle (densité 1,22, diamètre moyen 0,34 mm) et la tangué par des sciures de bois préalablement traitées pour leur donner aux échelles les mêmes propriétés physiques que le sédiment naturel avec les phénomènes de tassement, reprise par les courants par sapement latéral, etc...

Ces matériaux étaient introduits aux limites du modèle, du côté large, suivant les lois de débits solides en suspension déterminées en nature.

V.1.3. Représentation de la période 1958 à 1975

Partant d'un état initial des fonds de 1958, le modèle a été soumis à 17 « cycles annuels » tels que précédemment définis, avec des levés intermédiaires permettant de suivre l'évolution générale de la petite baie du Mont Saint Michel.

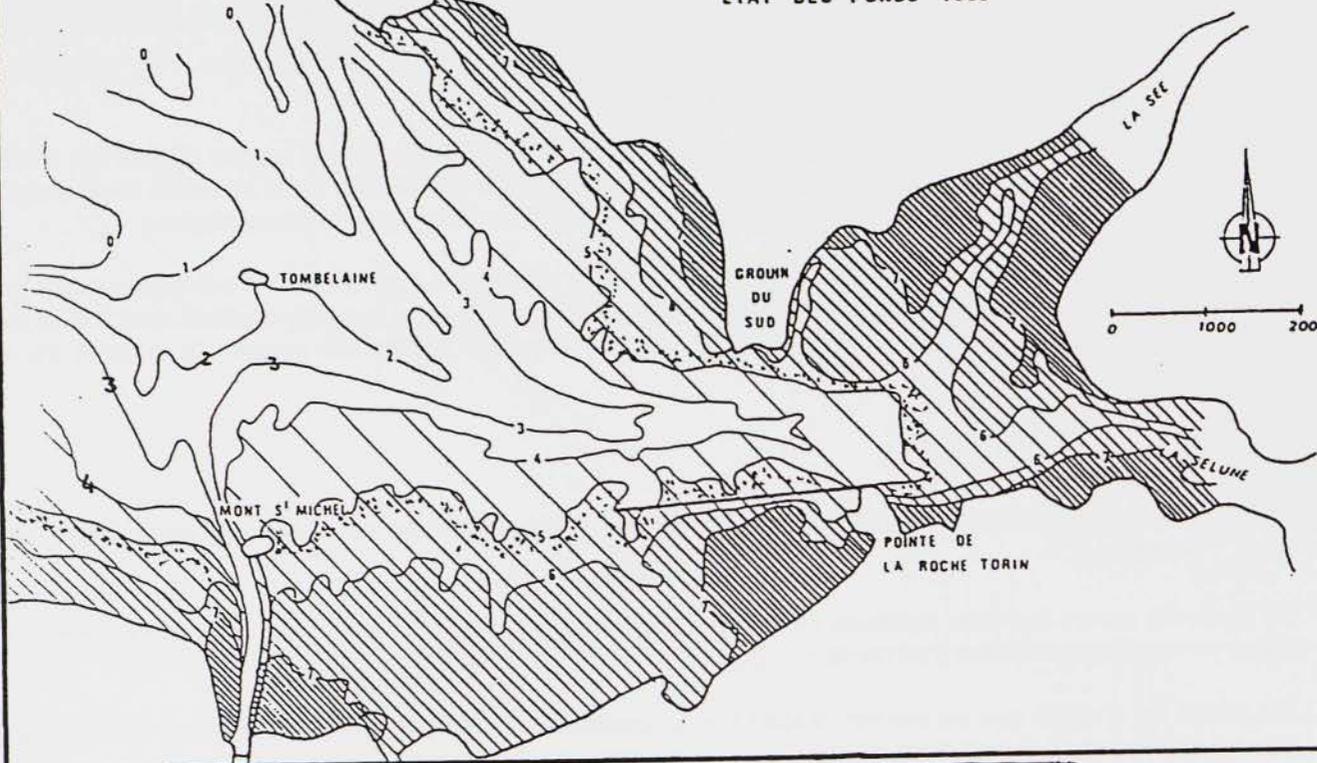
On a pu ainsi vérifier l'évolution donnée par le modèle pour la période 1958 à 1975.

L'état obtenu à la fin de cette période a donné un « état des fonds » très comparable à celui que l'on a pu relever en nature en 1975 [Figure 94].

De même, on a constaté que les grandes tendances d'évolution des fonds constatées en nature ou au cours de cette époque se retrouvent sur le modèle avec un bilan sédimentaire de 22 millions de m³ en 17 cycles sur les 50 km² effectivement étudiés sur le modèle (1,3 Mm³ par an). En nature, les dépôts atteignaient, sur la période 1958 à 1975, 1,5 Mm³/an sur les 70 km² de la petite baie.

On a constaté, comme en nature, des dépôts :

- sur le grand banc Est, à l'abri de la digue de la Roche Torin, avec près du Mont une zone stable ou en légère érosion et une avancée de la ligne +6 m notamment dans la partie médiane à 1,5 km ou 2 km à l'Est du Mont,
- au Nord, entre le Groin du Sud et Genêts,
- à l'Ouest du Mont où l'épaisseur des dépôts dépasse 1,5 m,

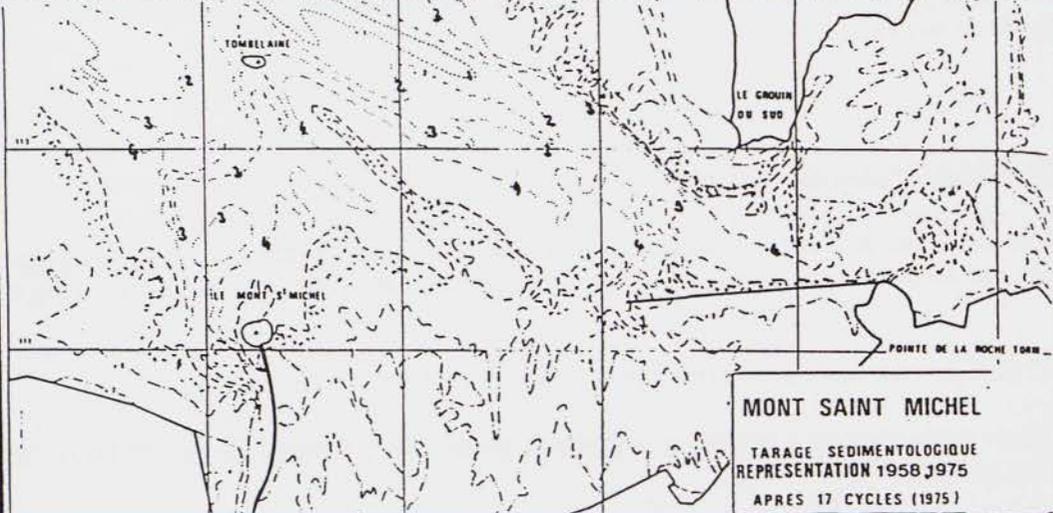


COURBES DE NIVEAU RAPPORTEES AU ZERO NGF 1963

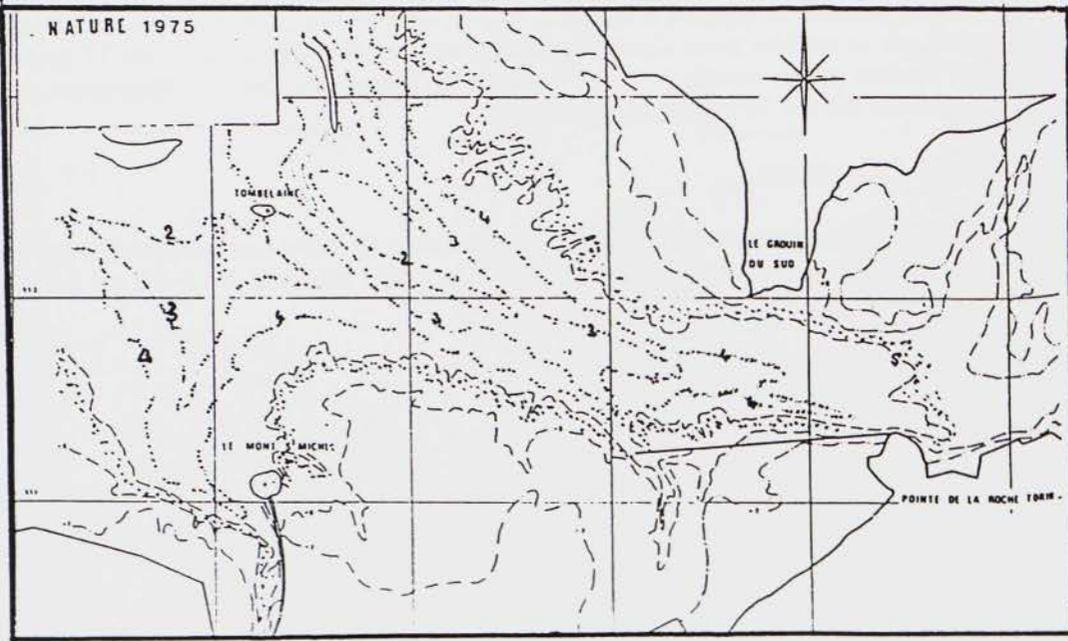


REPRESENTATION DE L'ÉVOLUTION DES FONDS ENTRE 1958 ET 1975

COMPARAISON ENTRE LES FONDS OBTENUS SUR LE MODÈLE ET LES FONDS EN NATURE EN 1975



NATURE 1975



- au Sud-Est de Tombelaine où toute la zone centrale de la petite baie s'exhausse de près de 2 m en 17 ans alors qu'elle s'approfondit immédiatement de 2 m au Nord à l'emplacement des sorties des rivières Sée et Sélune. Cette zone en forte sédimentation au Sud-Est de Tombelaine semblait plus importante que celle que l'on a pu observer en nature mais peut être due à des divagations différentes des rivières au Nord de la petite baie.

L'influence de la réalisation du barrage de la Caserne, sur le Couesnon, se retrouvait également sur le modèle au cours de la période 1965 à 1971 avec des dépôts de l'ordre de 1 m entre le barrage et le Mont et des cotes comparables à celles trouvées en nature [Figure 95].

Parallèlement, des expériences à l'aide de traceurs fluorescents et radioactifs ont permis de définir l'importance des transports sédimentaires sur les fonds et leur résultante. Les mêmes expériences ont été faites sur le modèle réduit avec de la nacre fluorescente schématisant les sablons et l'on a retrouvé les mêmes résultats qu'en nature avec un transit vers le Sud – Sud-Ouest dans la zone située à 1,75 km au Nord-Ouest du Mont et un transit vers le Sud-Est au point situé à 1,75 km au Nord-Est du Mont.

De même, en fin d'essais, on constate sur le modèle un triage caractéristique des sédiments provenant de l'alimentation du large avec affinement du large vers la côte où la nacre artificielle – schématisant les sablons – s'est déposée dans les fonds inférieurs à +4 m N.G.F. tandis que la sciure de bois, plus fine, qui schématise la tange s'est déposée sur la haute slikke et le schorre. Ce triage granulométrique sur le modèle était conforme aux observations faites en nature.

D'une façon générale, les évolutions des fonds, entre 1958 et 1975 (17 cycles annuels), constatées sur le modèle réduit étaient comparables aux phénomènes observés en nature, assurant un « calage » correct du modèle.

V.1.4. Préviation du modèle pour l'évolution des fonds après 1975 sur une période de 20 ans

V.1.4.1. PRÉVISION DE L'ÉVOLUTION GÉNÉRALE DES FONDS SANS AMÉNAGEMENTS (1975 À 1991)

Partant de l'état connu des fonds de 1975, une étude « prévisionnelle » des risques de colmatage de la petite baie du Mont Saint Michel, et plus particulièrement des abords du Mont, a été effectuée sur le modèle réduit sédimentologique en admettant qu'aucun aménagement n'était réalisé et que les conditions océanographiques et sédimentologiques constatées entre 1958 et 1975 n'étaient pas modifiées.

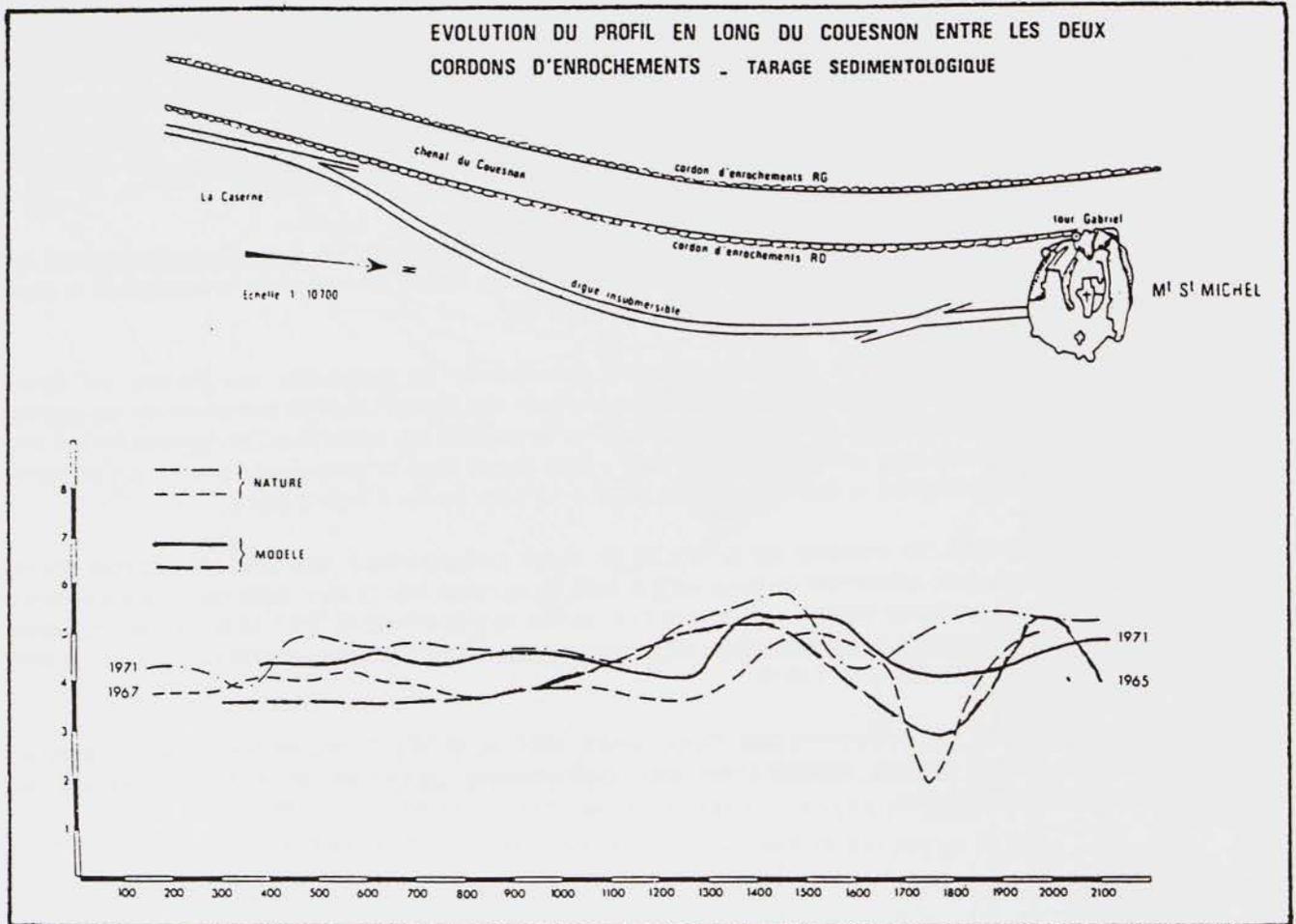
Seize « cycles annuels » ont été réalisés correspondant sensiblement – d'après l'échelle des temps sédimentologiques adoptée – à un état final voisin de celui de 1991-1995.

La *figure 96* donne l'état des fonds obtenu sur le modèle à la fin de cette période et la *figure 97* l'évolution des profondeurs dans les différentes parties de la baie.

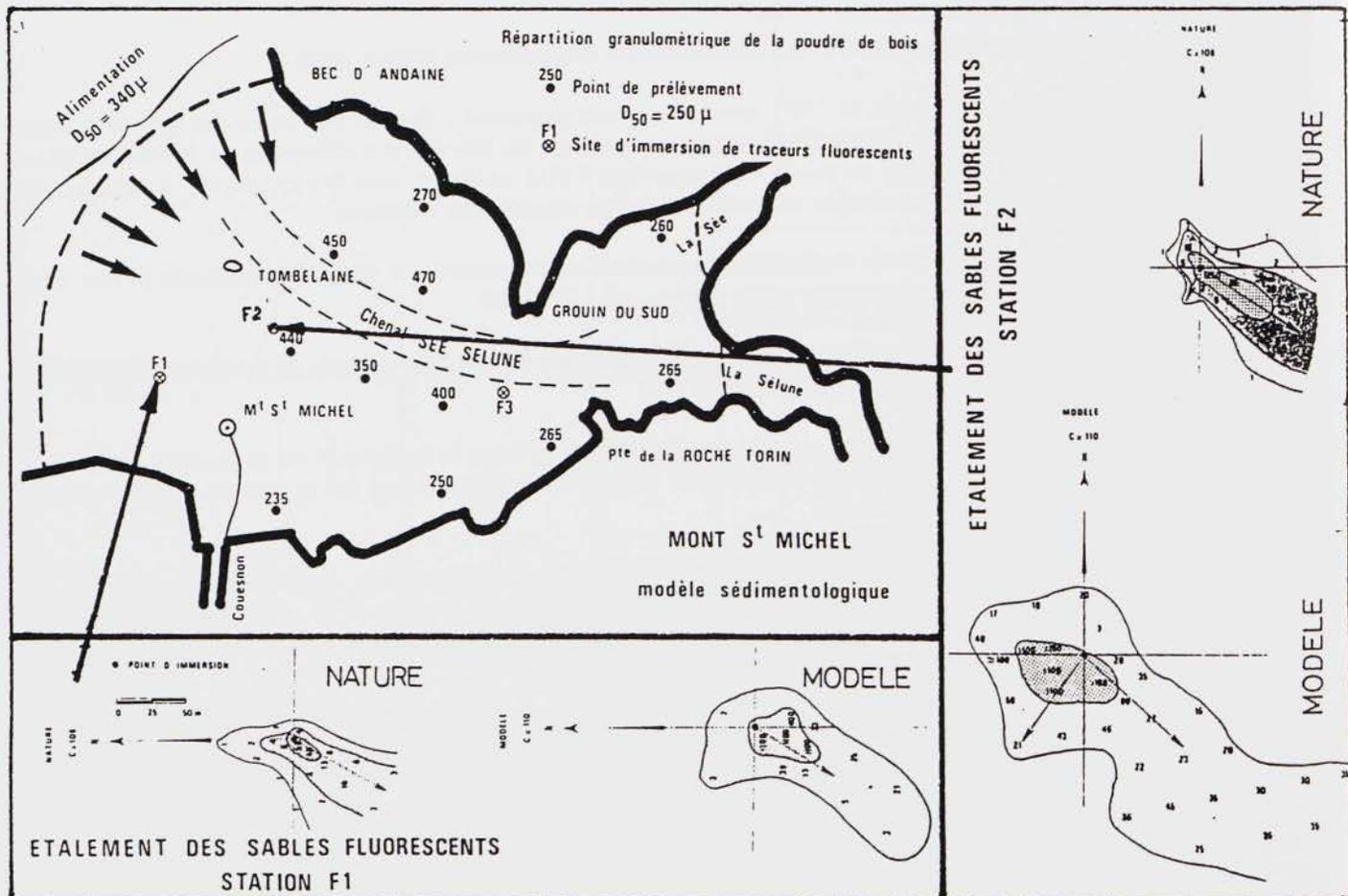
Les évolutions des fonds constatées en nature et développées dans le chapitre II de ce rapport, présentent de grandes analogies pour la période 1975 à 1997 avec les prévisions faites sur le modèle réduit physique sédimentologique en vingt ans plus tôt.

La petite baie du Mont Saint Michel, comme prévu par les essais prévisionnels, continue de se colmater, les fonds avançant vers la mer, les herbues se développent, le chenal du Couesnon se sédimente et perd de sa puissance à son débouché en mer favorisant ainsi l'extension du schorre et des slikkes à l'Ouest et la création d'une véritable barre sédimentaire au large du Mont.

FIGURE N°95 : ÉVOLUTION DU PROFIL EN LONG EN NATURE ET SUR LE MODÈLE
AVANT ET APRÈS CONSTRUCTION DU BARRAGE



COMPARAISON DES DÉPLACEMENTS DES TRACEURS FLOUORESCENTS EN NATURE ET SUR LE MODÈLE



On constate d'après ces prévisions du modèle que :

- La zone située à l'Est du Mont Saint Michel jusqu'à la Pointe de Roche Torin, appelée grand banc Est, continue de se sédimenter lentement ; les dépôts atteignant en moyenne 0,50 à 0,80 m en 16 cycles (3 à 5 cm par an) avec un maximum de dépôts en bordure Nord du grand banc et des dépôts très faibles en fond de baie où les fonds ont déjà atteint une cote d'équilibre.
- Le grand banc de l'Ouest, qui s'était déjà développé entre 1958 et 1975, se sédimente fortement et avance vers l'Est avec des dépôts pouvant atteindre 1 à 1,5 m en 16 cycles. Il déborde l'alignement Tombelaine – le Mont obligeant le chenal du Couesnon de s'orienter vers le Nord-Est avant de repartir vers Tombelaine, entraînant une érosion (zone hachurée sur la *figure 97*) en extrémité du banc de l'Ouest.
- La criche de l'Est qui s'est formée à l'Est immédiat de la digue route s'est maintenue sur le modèle, mais, comme en nature, a perdu la moitié de sa superficie entre 1975 et 1991 montrant la nécessité d'intervenir rapidement dans ce secteur si l'on ne veut pas perdre le caractère encore maritime de cette zone.
- L'évolution des « herbus », caractérisés sur le modèle pour les lignes +5 m et +6 m I.G.N. [*Figure 98*], présente également des analogies avec les phénomènes qui seront constatées en nature en 1996-1997 surtout si l'on tient compte des bancs sableux cartographiés par l'E.P.H.E. à cette date [*Figure 99*].
- Un haut fond, déjà amorcé dans la période précédente de 1958 à 1975, se forme entre Tombelaine et la pointe de Roche Torin, dans le prolongement de la partie Est du grand banc de l'Est, tendant à séparer progressivement la partie « estuarienne » de la Sée – Sélune de la partie « Couesnon » située plus au Sud.
- Par contre, le modèle s'il a bien prévu un déplacement du chenal de la Sée – Sélune vers le Nord, avec une zone d'érosion dans ce secteur due au déplacement du chenal, n'a pas représenté une remontée vers Genêts qui a balayé la slikke dans ce secteur en 1984. Il se peut qu'en nature le tracé du cours de la Sélune en amont de l'alignement Roche Torin – Grouin du Sud – qui n'est que schématisé sur le modèle – ait une influence sur l'orientation possible du chenal en aval, notamment au cours des fortes crues qui ne sont pas représentées sur le modèle.

Au cours de cet essai « prévisionnel » de 16 cycles annuels (1975-1991), les dépôts sur le modèle ont atteint 14 millions de m³ de sédiments, soit 900.000 m³ par an, alors que pour la période précédente, représentée sur le modèle (1958-1975), le taux de sédimentation atteignait 1.300.000 m³ par an. Cette réduction du taux de sédimentation prévue par le modèle (30 % entre 1958 et 1991) présente de grandes analogies avec les valeurs que les nouvelles études en nature ont pu donner.

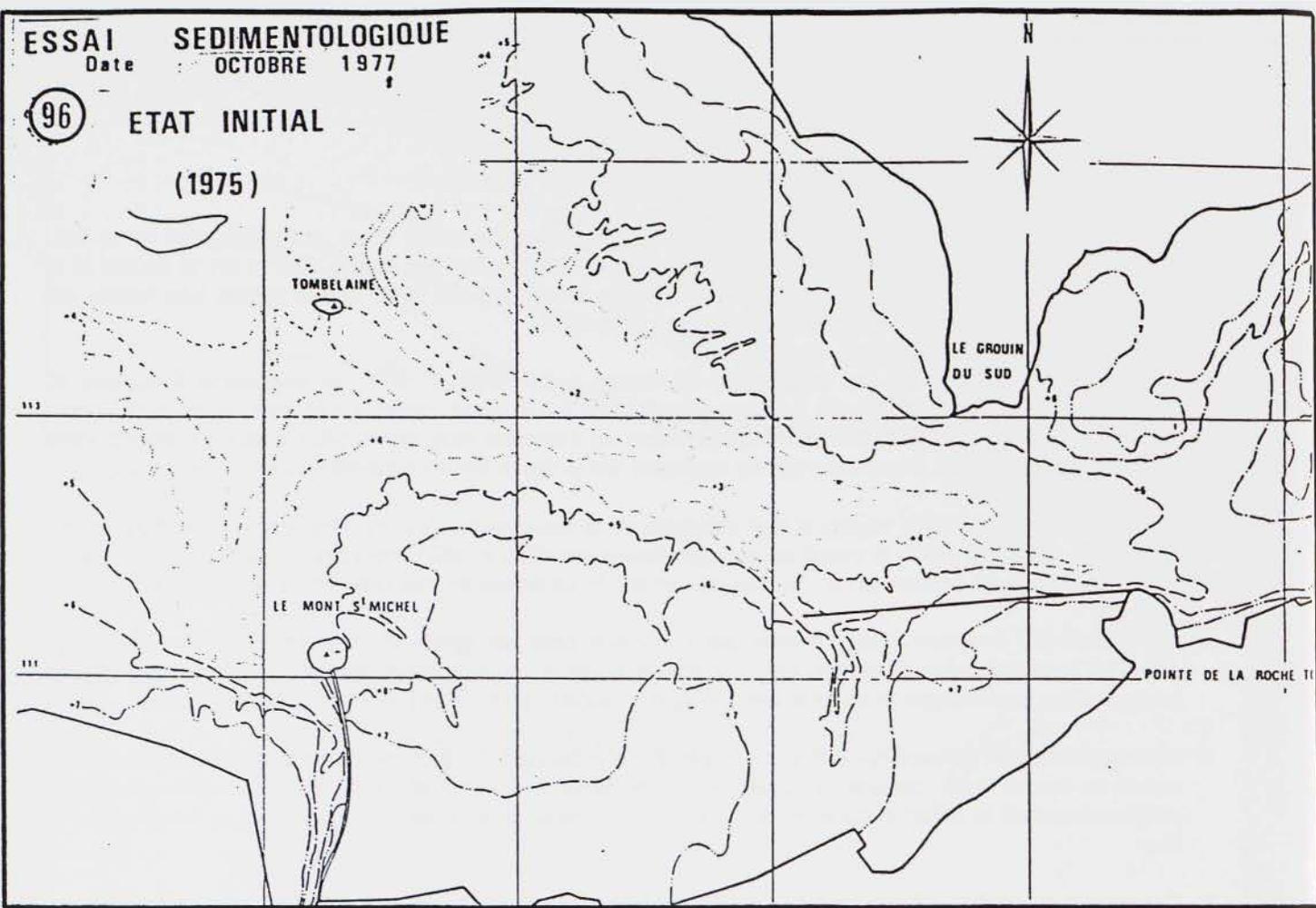
V.1.4.2. DIVAGATION DES RIVIÈRES SÉE – SÉLUNE ET COUESNON

En comparant les tracés des chenaux des rivières Sée – Sélune et Couesnon obtenus sur l'ancien modèle L.C.H.F. entre 1958 et 1991 [*24.d.*], on retrouve, comme en nature, des divagations très appréciables [*Figure 100*].

Sur le modèle, le Couesnon qui était orienté vers le Nord – Nord-Ouest jusqu'en 1967 (9 cycles annuels après 1958), commence à être dévié vers l'Est dans sa partie aval à partir de cette date qui correspond à la construction du barrage de la Caserne. Ce phénomène s'intensifie progressivement jusqu'en 1985 où une branche du Couesnon passe nettement à l'Est entre Tombelaine et le Mont. En 1991 (16 cycles annuels après 1975), **la position du Couesnon obtenue sur le modèle présente de grandes analogies avec celle que l'on constate en nature en 1996... Le Couesnon contourne le Mont vers l'Est avant de s'incurver faisant une grande boucle qui passe à l'Est de l'alignement Tombelaine – le Mont pour repartir ensuite vers l'Ouest à 500 m environ au Sud de Tombelaine.**

96 ETAT INITIAL

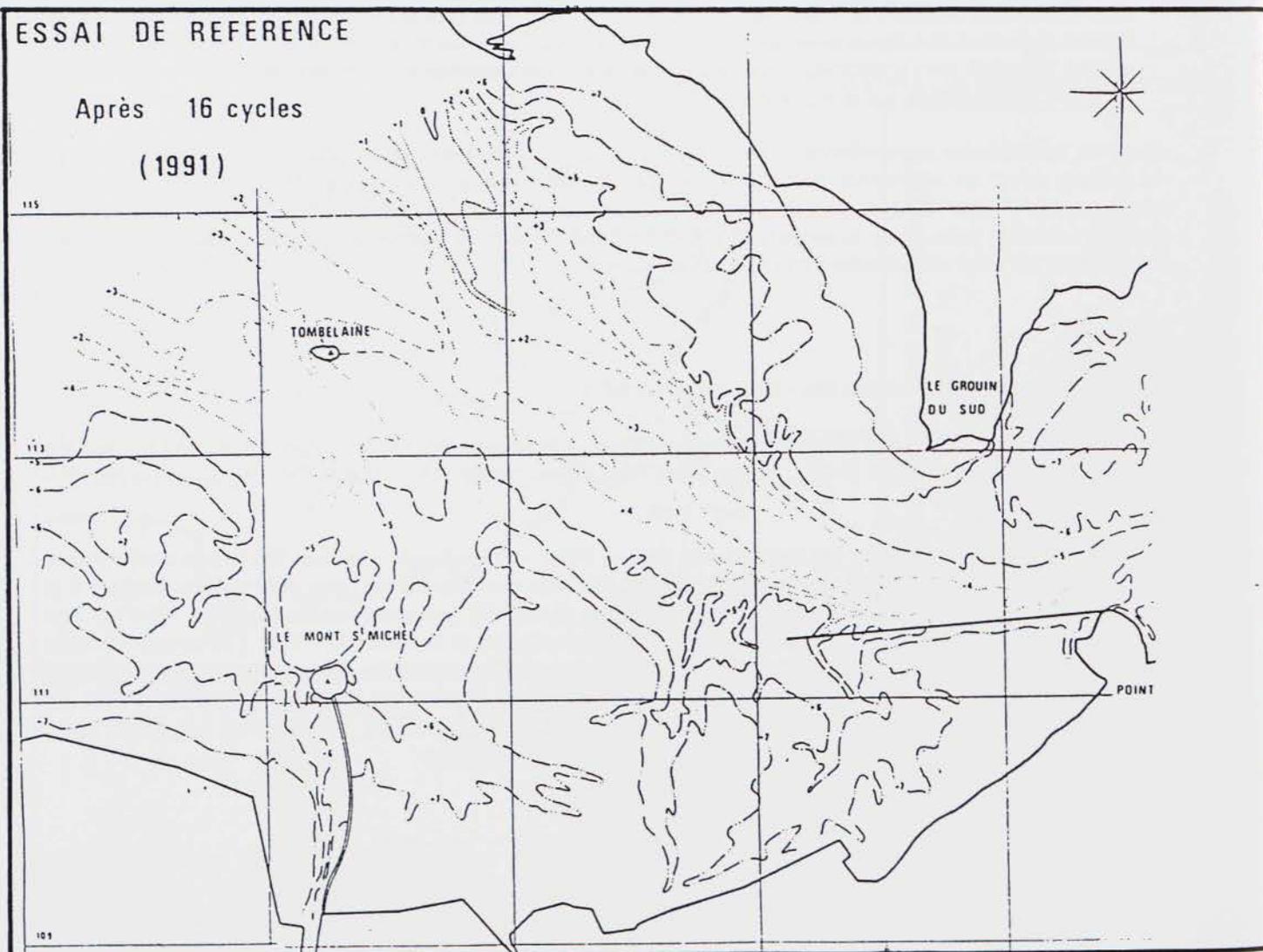
(1975)

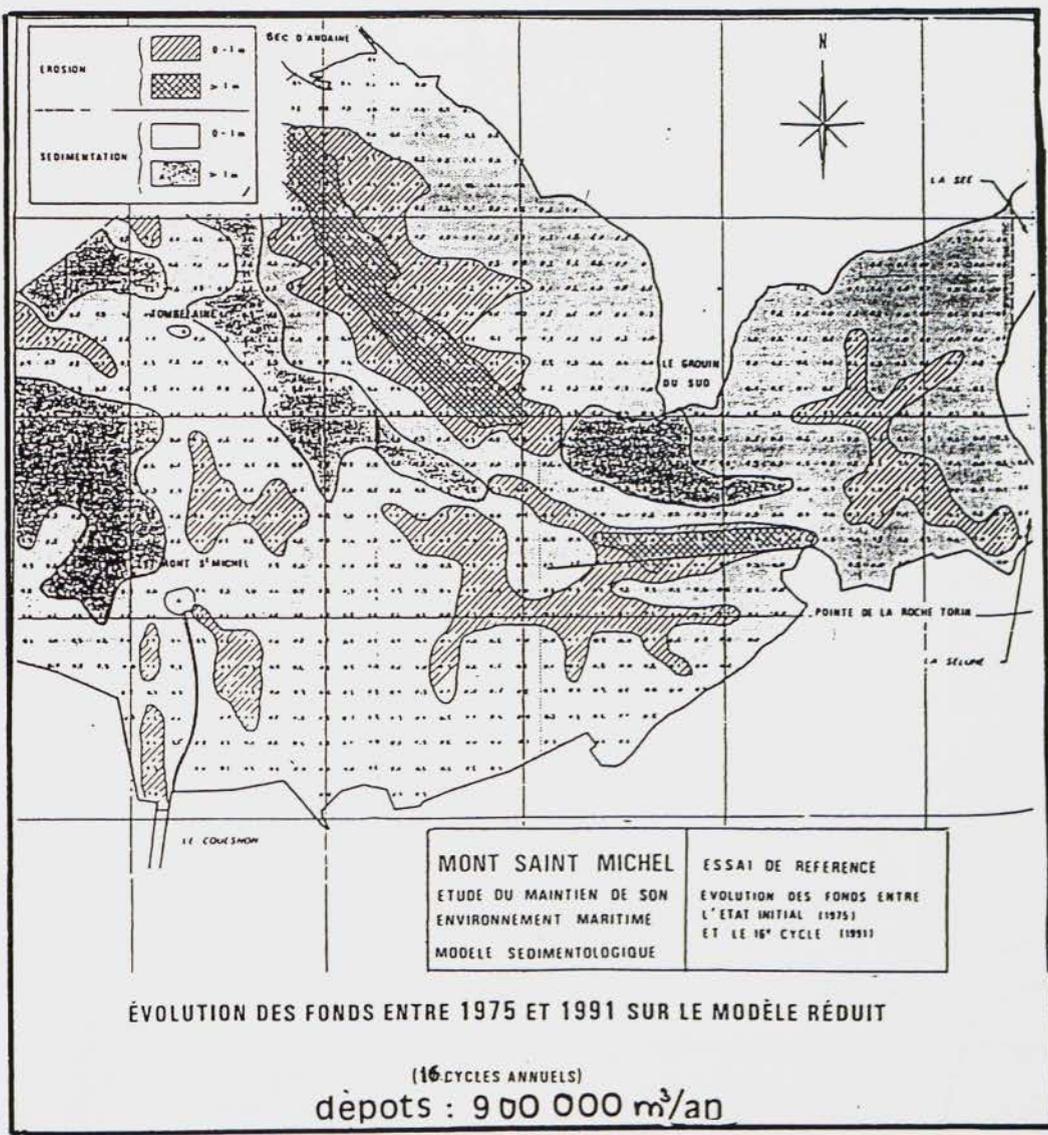
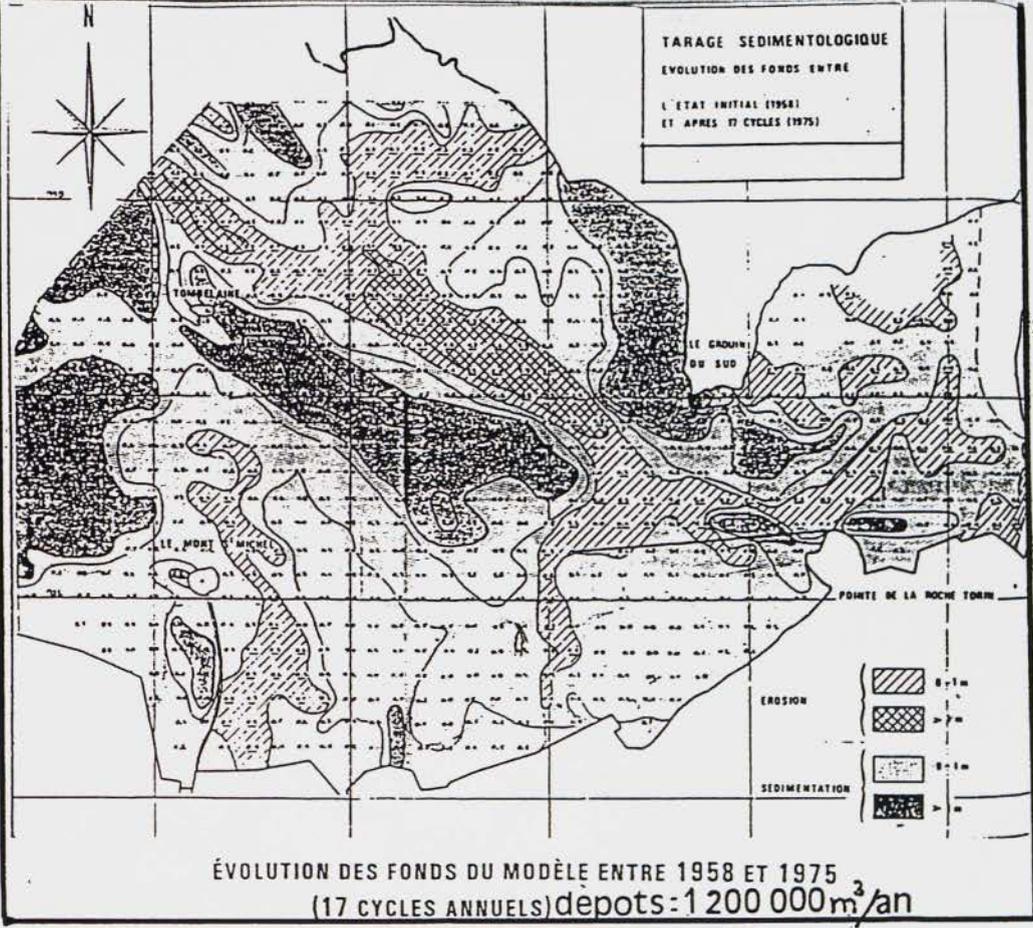


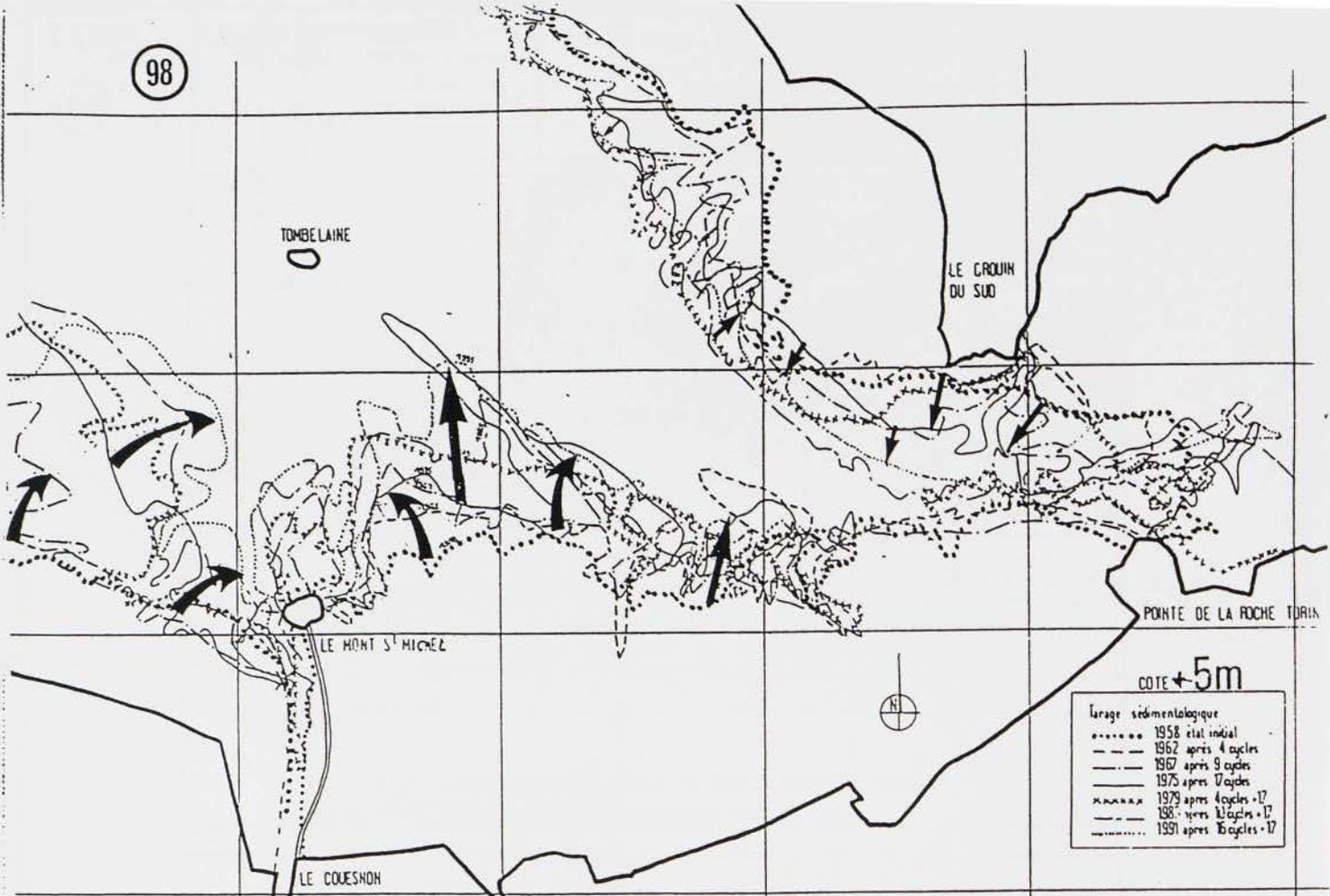
ESSAI DE REFERENCE

Après 16 cycles

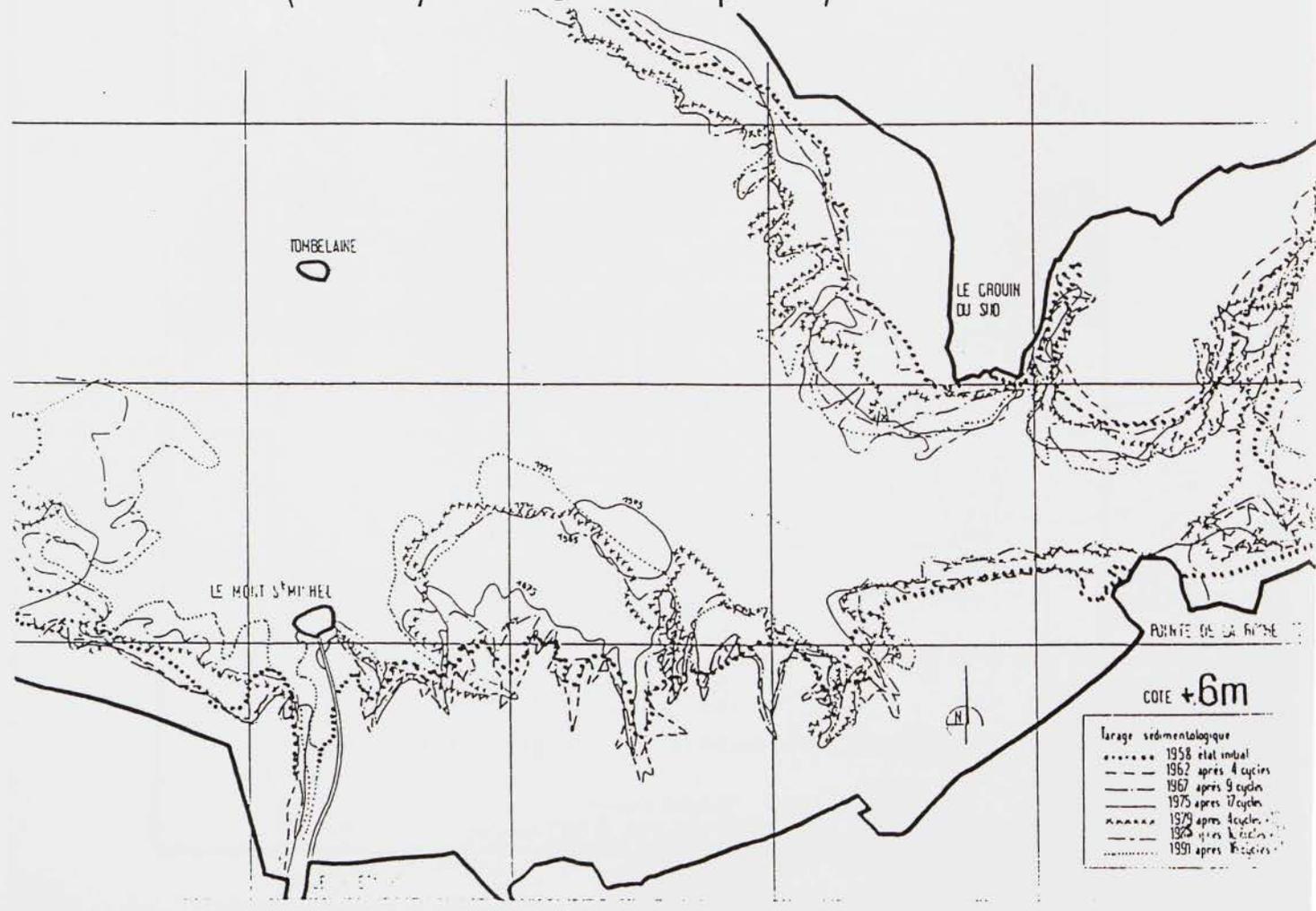
(1991)

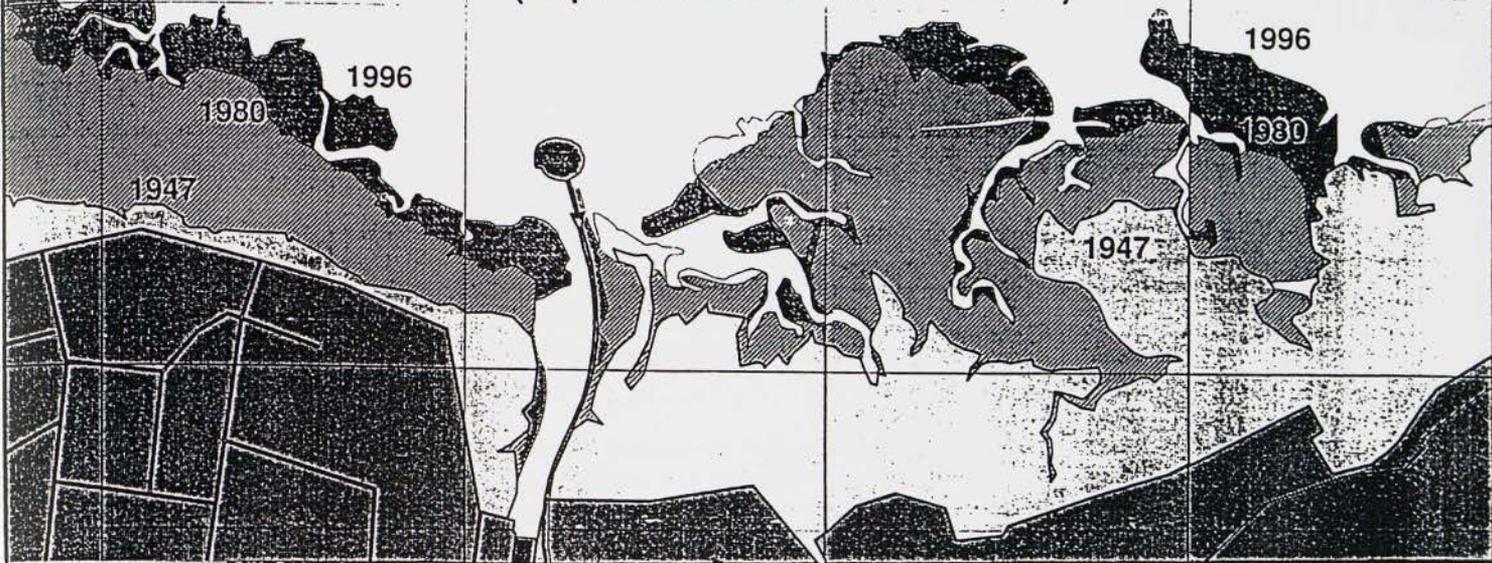




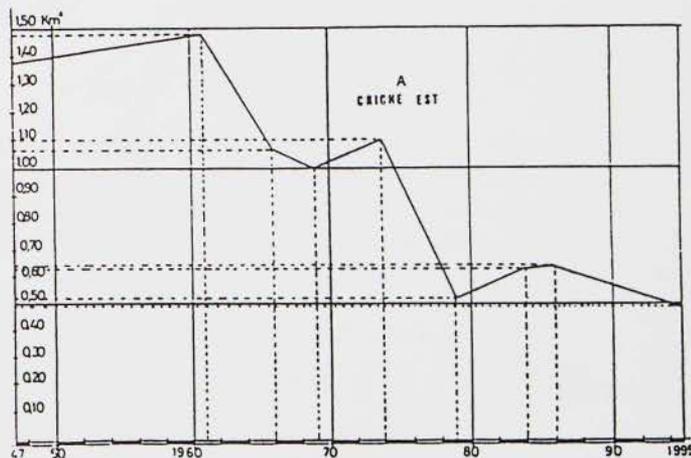
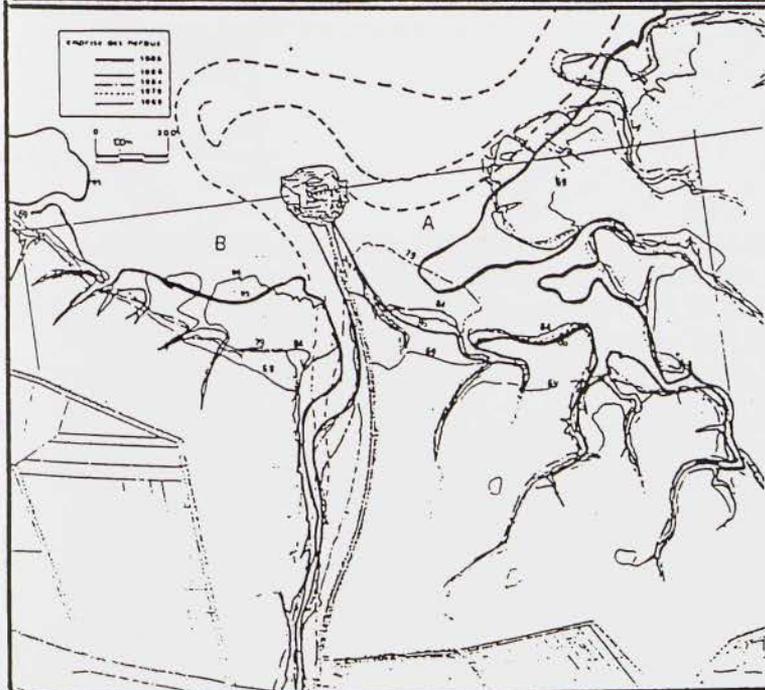


EVOLUTION DU SCHORRE SUR LE MODELE DE 1977 (HERBUS)
 (en moyenne 15 hectares par an)

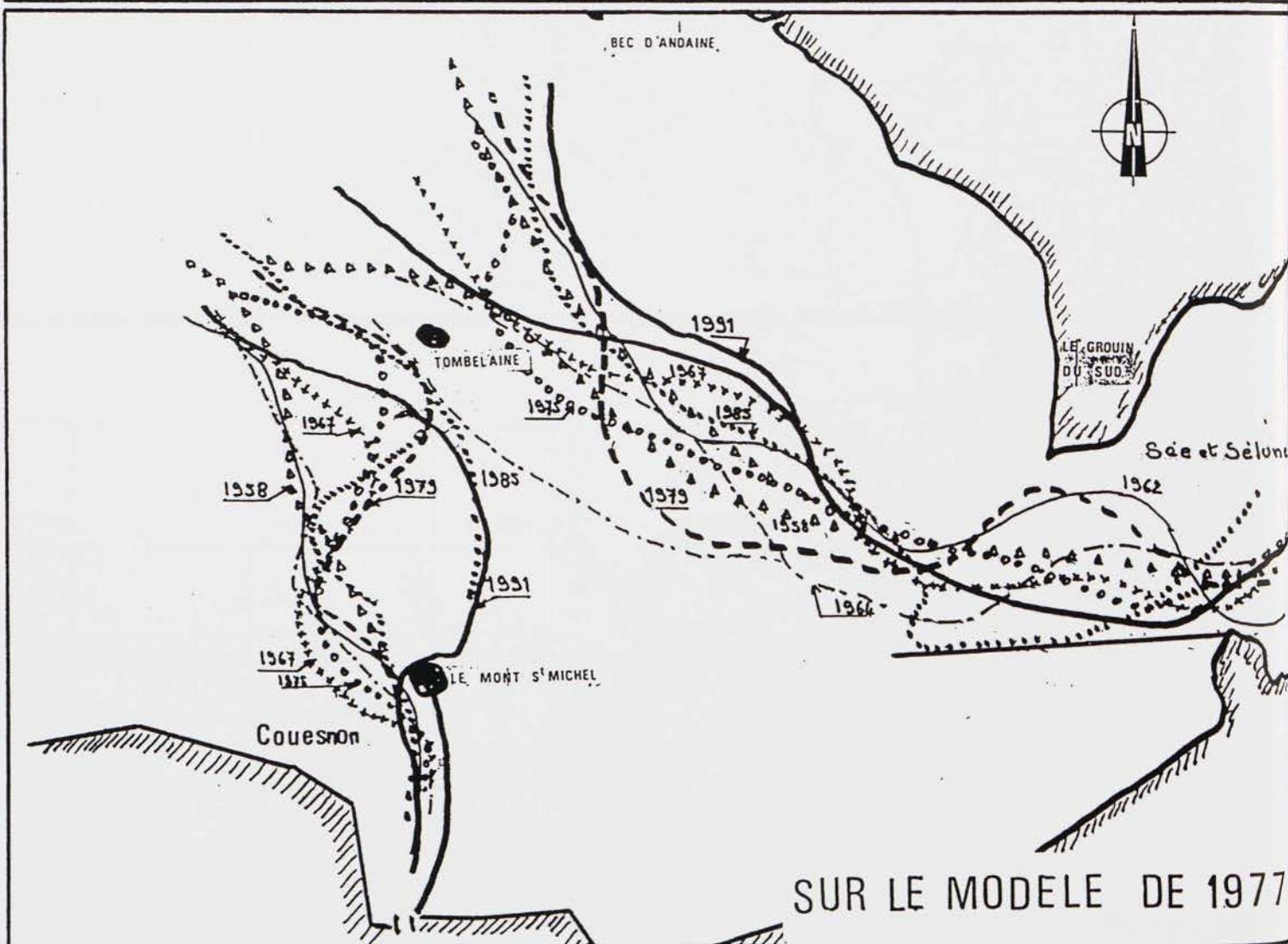
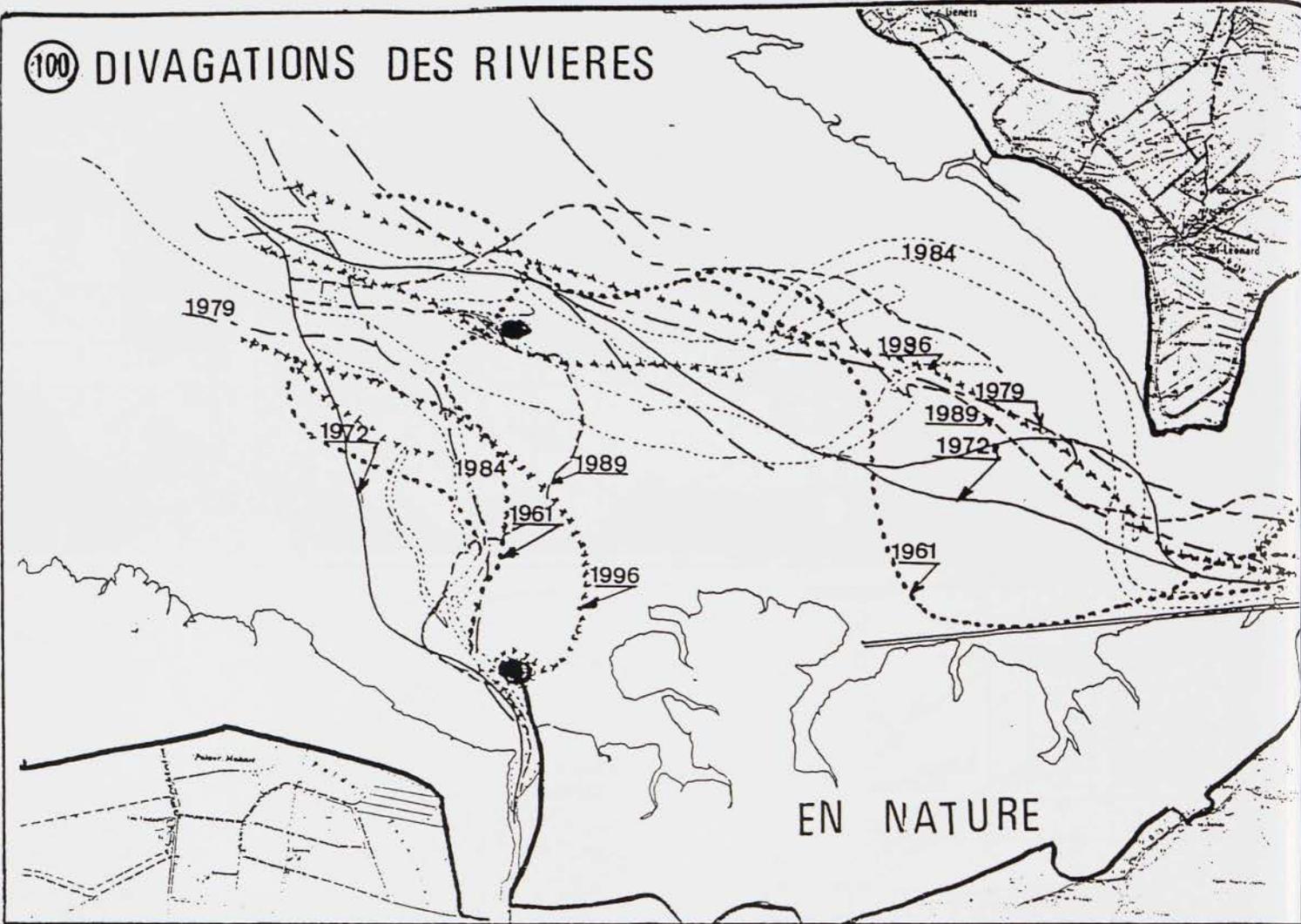




- Bancs sableux et/ou coquilliers
- Levées sableuses de haute siltke
- xxx x x. Digue et blocs d'enrochement



100 DIVAGATIONS DES RIVIERES



La Sée – Sélune accuse également, comme en nature, des divagations balayant une largeur atteignant 1.500 m avec des positions très aléatoires. Par contre, si son orientation générale Sud-Est – Nord-Ouest est correcte, les chenaux n'ont jamais remonté vers Genêts en balayant la slikke de ce secteur, comme cela s'est produit en nature en 1984 notamment. Il ne faut pas oublier que sur le modèle la démolition de la digue de la Roche Torin n'avait pas été envisagée, alors qu'elle sera entreprise en nature en 1984. De même il se peut qu'en nature le tracé du cours de la Sélune, immédiatement en amont de Roche Torin (la digue de guidage qui prolongeait en nature celle de la Roche Torin vers l'amont ayant été plus ou moins détruite en nature), ait une influence sur les tracés possibles de chenaux en aval notamment au cours de certaines crues de la Sélune. Ce problème reste à élucider.

Il est intéressant de constater sur l'ancien modèle les actions antagonistes entre les chenaux de flot et de jusant dès que leur courbure devient impropre à la stabilité d'un chenal commun. Un nouveau tracé prend alors naissance au détriment de l'ancien chenal qui tend à disparaître, comme on peut le constater sur les photographies prises sur le modèle pour la Sée et la Sélune [Figure 101].

V.1.4.3. LA DESTRUCTION DE LA DIGUE DE LA ROCHE TORIN EN 1984

Cette destruction partielle qui a été réalisée en 1983-1984 sans autres travaux dans la baie, a été examinée sur le modèle avec différents aménagements notamment sur le Couesnon.

En dissociant les actions de ces deux interventions, on peut comparer – localement – l'influence de la suppression de la digue en totalité sur le modèle et partielle en nature. La figure 102 donne la comparaison entre le modèle et la nature avec les mêmes tendances d'érosion par sapement latéral du schorre montrant que ce phénomène était bien reproduit sur le modèle L.C.H.F. de 1977.

V.1.4.4. REPRÉSENTATION DE LA SÉDIMENTATION DU COUESNON EN AVAL DU BARRAGE APRÈS SA CONSTRUCTION ET INFLUENCE DES DÉBITS DE LA RIVIÈRE (OU DES CHASSES)

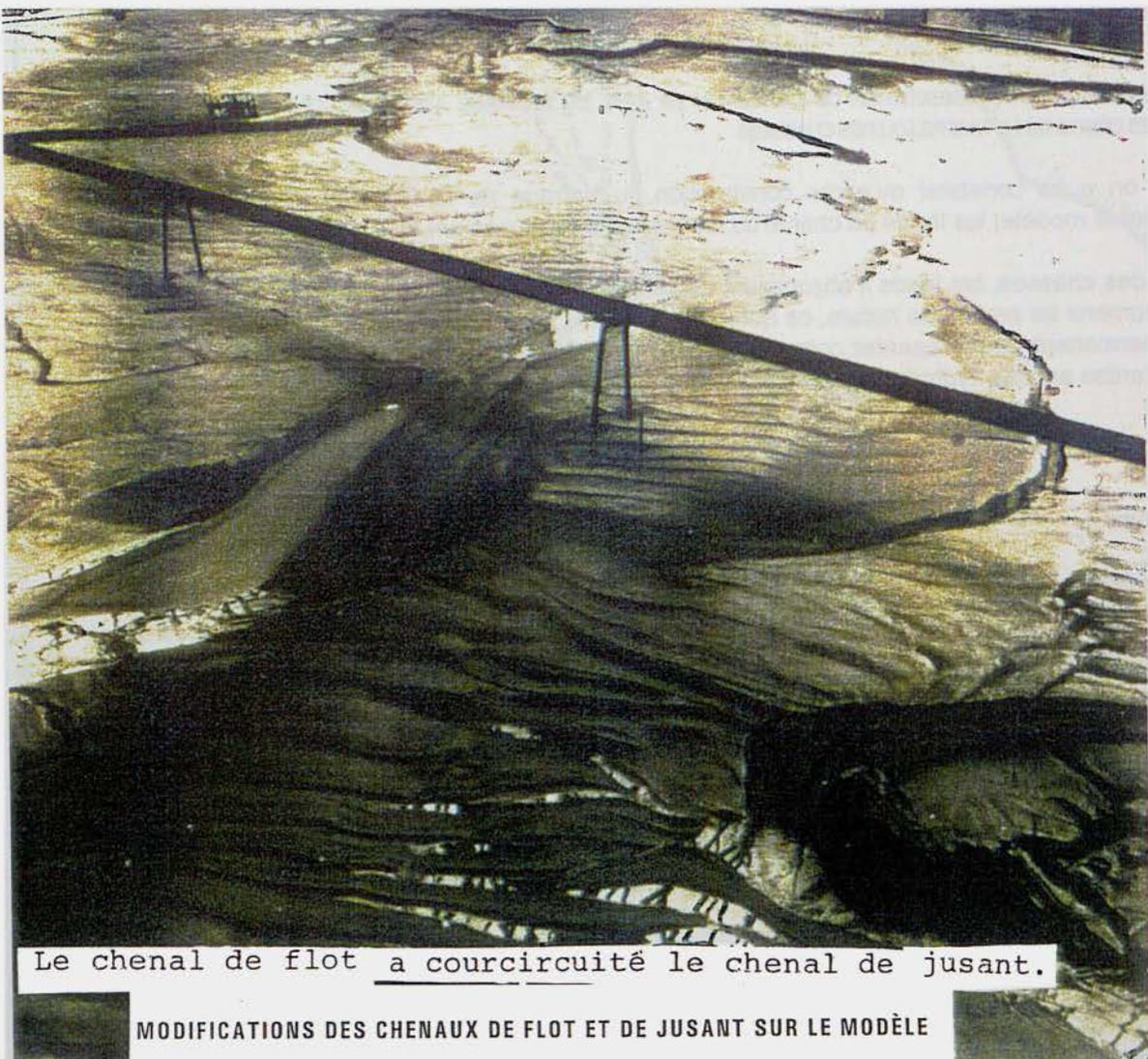
Comme en nature on a pu constater qu'après construction du barrage de la Caserne en 1969 (après 10 cycles annuels sur le modèle) les fonds du chenal du Couesnon s'exhaussaient de 2 m environ.

Avec des crues ou des chasses, les fonds s'abaissaient de plus de 2 m passant de +4 à +5 m à +2 m environ. Le même phénomène se produit en nature, ce qui montre que les matériaux artificiels du modèle (nacre et sciure de bois) permettent de représenter correctement non seulement les sédimentations mais les érosions sous les différentes actions hydrodynamiques.

V.1.5. Conclusions

Les évolutions des fonds constatées en nature, tant pour les évolutions globales de la petite baie que l'évolution des schorres ou herbus, les divagations des rivières ou l'impact de la destruction de la Roche Torin, viennent confirmer – comme les techniciens l'avaient toujours admis et notamment la Commission Scientifique en place à l'époque – que le modèle L.C.H.F. de 1977 représentait correctement l'ensemble des phénomènes connus en nature.

Les prévisions faites sur l'évolution de la petite baie d'ici la fin du siècle (période 1975 à 1997) se sont trouvées globalement confirmées avec toutefois un accroissement du banc Ouest sensiblement plus important sur le modèle qu'en nature ; ce phénomène pouvant être dû à un état initial des fonds de 1975 (levé en nature) déjà trop sédimenté par suite d'imprécision dans le levé stéréophotographique de l'époque.



Le chenal de flot a courcircuité le chenal de jusant.

MODIFICATIONS DES CHENAUX DE FLOT ET DE JUSANT SUR LE MODÈLE

Dans tous les cas, les prévisions du modèle réalisé en 1977 sont qualitativement confirmées en nature. Elles montrent que le colmatage de la petite baie et des abords du Mont Saint Michel reste un phénomène réel qui, s'il a diminué légèrement d'intensité depuis l'arrêt des interventions humaines, n'en reste pas moins préjudiciable au maintien du caractère maritime du Mont.

L'attention était attirée, à cette époque, sur le fait que des travaux d'aménagement devaient être réalisés très rapidement ; les difficultés de maintenir un environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel devenant de plus en plus importantes à mesure que les fonds limitrophes auront progressé vers le large

V.2. RECHERCHES DE SOLUTIONS POUR MAINTENIR UN ENVIRONNEMENT MARITIME AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL – SOLUTIONS DÉTERMINISTES ET SOLUTIONS DOUCES – LES RÉSULTATS OBTENUS SUR LE MODÈLE RÉDUIT DE 1975-1977

- Solutions « déterministes » mettant en œuvre, pour la totalité des aménagements, des travaux importants, allant depuis la suppression de tous les ouvrages réalisés antérieurement à l'aménagement du barrage de la Caserne avec des chasses, des coupures partielles de la digue route avec son remplacement par un pont passerelle, la réalisation de réservoirs à marées à l'Est, un arasement de la digue de Roche Torin associé éventuellement à un épi au Grouin du Sud.
- Solutions « douces » limitées à une coupure partielle de la digue d'accès du Mont associée au rétablissement du débouché des anciens ruisseaux Guintre, Landais, Ardevon... à l'Est du Mont, et à un rétablissement partiel de la remontée de la marée dans le Couesnon avec un aménagement du barrage de la Caserne.

Ces options peuvent apparaître à première vue comme très différentes, mais ont des objectifs communs : maintien de la pérennité de la criche Est, passage des eaux entre le Mont et la terre, réduction de l'envasement du Couesnon à l'Ouest du Mont... avec l'espoir d'une amélioration et du maintien du caractère maritime aux abords du Mont Saint Michel sans apporter de perturbations aux autres parties de la baie.

Sur l'ancien modèle de 1975-1977, des solutions dites « déterministes » ont été étudiées.

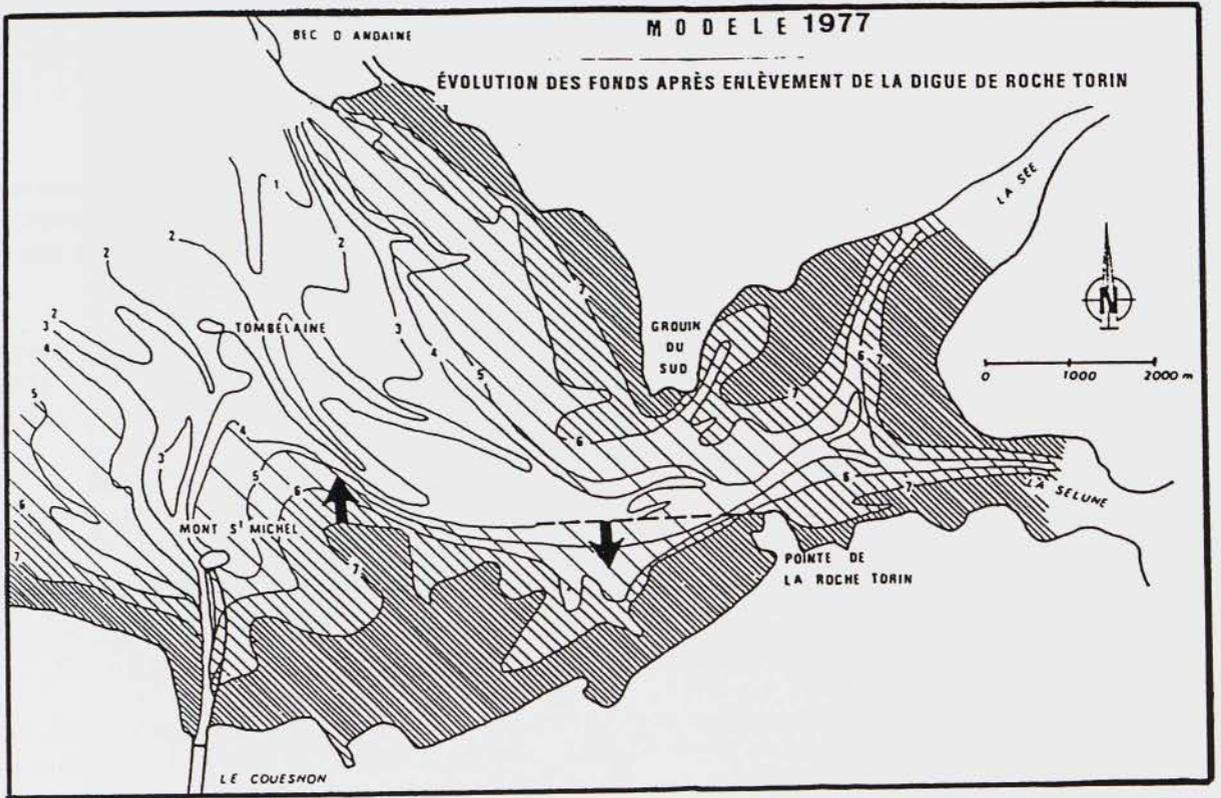
À l'époque ces aménagements ont, la plupart du temps, été réalisés simultanément, ce qui rend quelquefois leur interprétation délicate lorsque l'on veut faire ressortir l'influence propre à un seul type d'aménagement. Le lecteur se reportera, pour les détails, aux documents originaux et, dans ce paragraphe, on se limitera aux grandes tendances obtenues avec chaque type d'aménagement [24.d.e.].

L'efficacité des aménagements envisagés a été comparée aux évolutions des fonds obtenues sans aménagement, c'est-à-dire à « l'état de référence » réalisé pour la période 1975 à 1991 et ayant conduit tant sur le modèle qu'en nature à une menace pour l'environnement maritime du Mont [Figures 103 et 96].

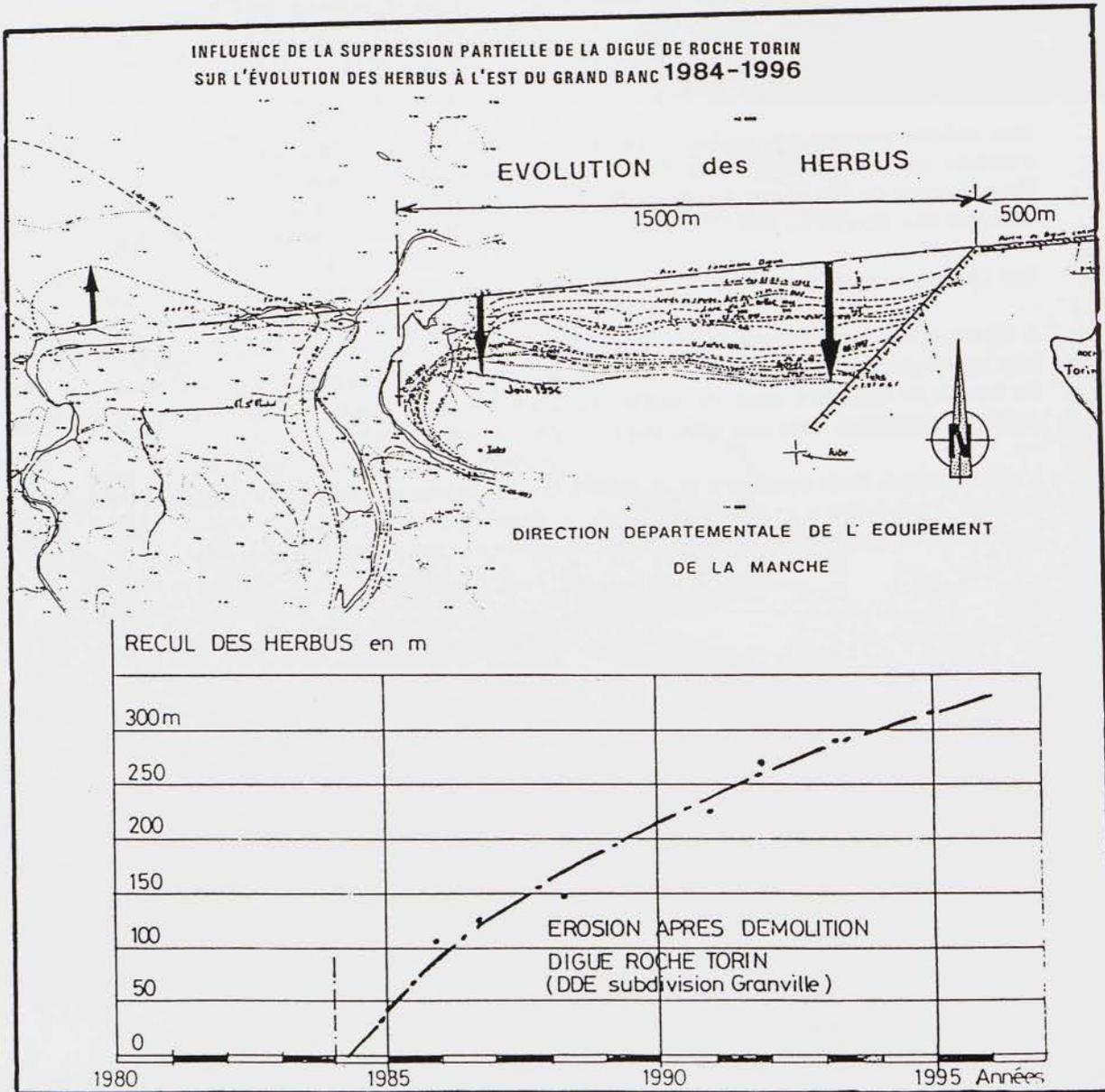
V.2.1. Suppression de la digue route, du barrage de la Caserne et de la digue de Roche Torin – Rétablissement du ruisseau de la Guintre

Sur le modèle sédimentologique, le rétablissement de la pénétration de la marée dans le Couesnon avec une suppression du barrage de la Caserne, associée à la coupure de la digue route, permet d'éroder les fonds entre le Mont et la terre et au chenal du Couesnon de s'orienter vers le Nord en aval du Mont [Figure 104].

Dès la première année, l'érosion des fonds atteint 500.000 m³ entre le Mont et le barrage de la Caserne et 400.000 m³ supplémentaires au cours de la deuxième année, soit près d'un million de m³ d'érosion favorable à une nette amélioration des profondeurs au Sud du Mont Saint Michel.



**ÉVOLUTION DU BANC DE L'EST APRÈS ENLÈVEMENT DE LA DIGUE DE ROCHE TORIN
EN NATURE ET SUR LE MODÈLE**



103



Essai de Référence

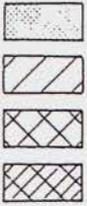
Les fonds aux abords du Mont en 1991 dans la configuration actuelle de la Baie.

EVOLUTION DES FONDS ENTRE LE MONT SAINT MICHEL ET LE BARRAGE DE LA CASERNE

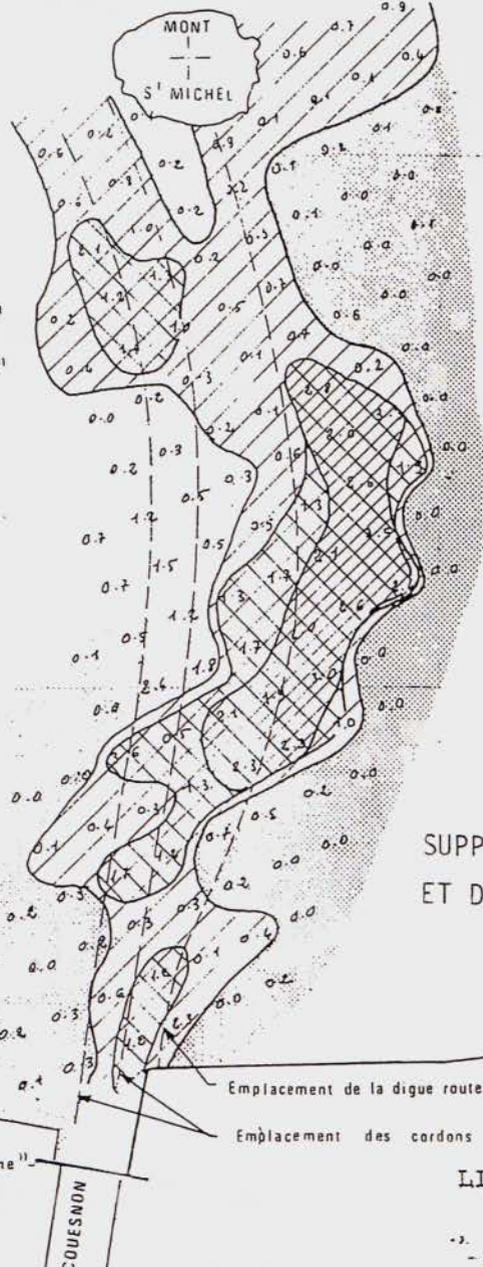
104

ENTRE L'ETAT INITIAL (1975) ET LE 4^e CYCLE (1979)

ZONES



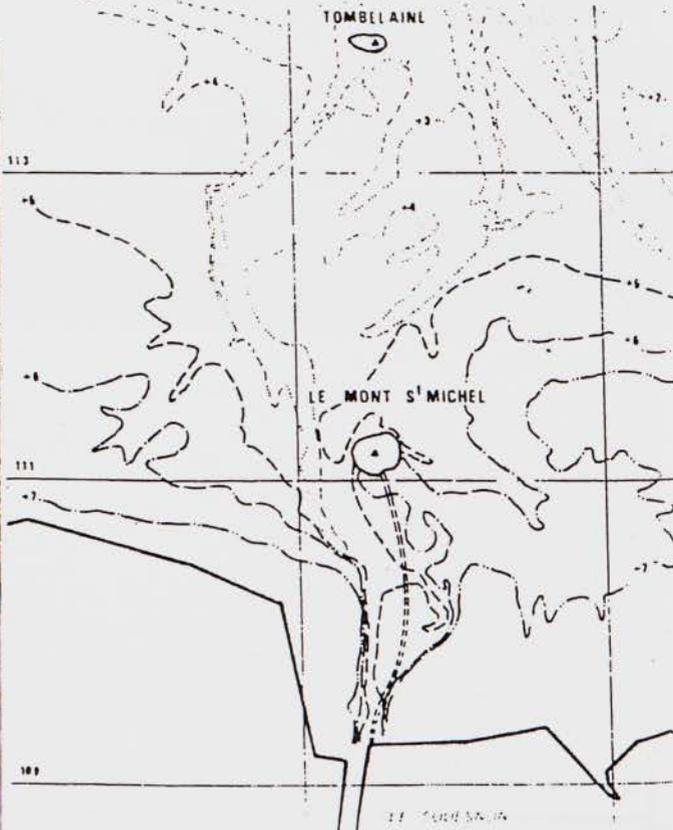
SEDIMENTÉES OU STABLES
 ERODÉES de 0 à 1m
 " de 1 à 2m
 " > 2m



Ech: 1/14300

SUPPRESSION DU BARRAGE DE LA CASERNE ET DE LA DIGUE ROUTE

LIGNES DE NIVEAU AUX ABORDS DU MONT ETAT 1984



Ces résultats risquaient malheureusement d'être temporaires et progressivement le Couesnon s'ensablait perdant une partie de sa puissance hydraulique, comme cela avait d'ailleurs été constaté avant la réalisation du barrage de la Caserne.

V.2.2. Aménagement du barrage de la Caserne sur le Couesnon associé à la coupure de la digue d'accès

La suppression du barrage du Couesnon ne permettant pas de rétablir une puissance hydraulique permanente et la pénétration complète de la marée conduisant à des risques d'inondations dans la zone de Pontorson à chaque vive eau, le barrage a été modifié, en conservant sa largeur actuelle, avec une ouverture commandée et programmée pour :

- Emmagasiner les eaux marines avec un seuil mobile permettant d'écrêter la première partie du flot, très chargée en sédiments, et de limiter le volume introduit pour ne pas dépasser, compte tenu du débit fluvial, la cote +6,5 m I.G.N. considérée comme limite pour l'inondation des terrains avoisinant le Couesnon [Figure 105]. Pour les essais, le seuil d'écrêtement était fixé à +6 m permettant de commencer à remplir le Couesnon ¾ heure à 1 heure avant la pleine mer (cote +7 m) jusqu'à environ 1 heure après la pleine mer (+6,5 m d'eau dans le Couesnon).
- Retenir l'eau au moment de l'étalement du courant par fermeture totale du barrage.
- Effectuer le lâcher des eaux 2,5 heures après la pleine mer pour réaliser une chasse susceptible de remettre en suspension les sédiments accumulés en aval du barrage et de les éliminer vers le large. Cette chasse était faite par la vanne de fond (50 m²) permettant également de reprendre une partie des sédiments qui avait pu se déposer immédiatement à l'amont du barrage.

L'efficacité du barrage peut être accrue, en période de mortes eaux, en retenant les eaux fluviales provenant du débit propre du Couesnon. Pour un débit de 20 m³/s, il est possible de stocker 500.000 m³ par jour et de l'utiliser pour les chasses.

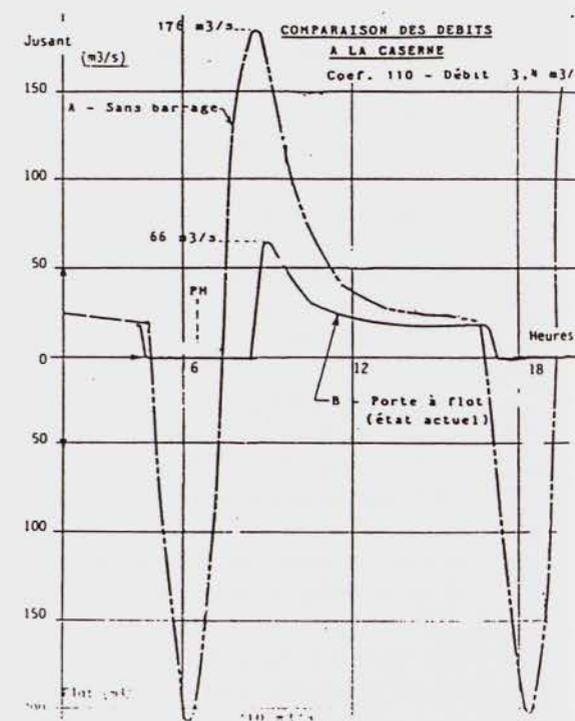
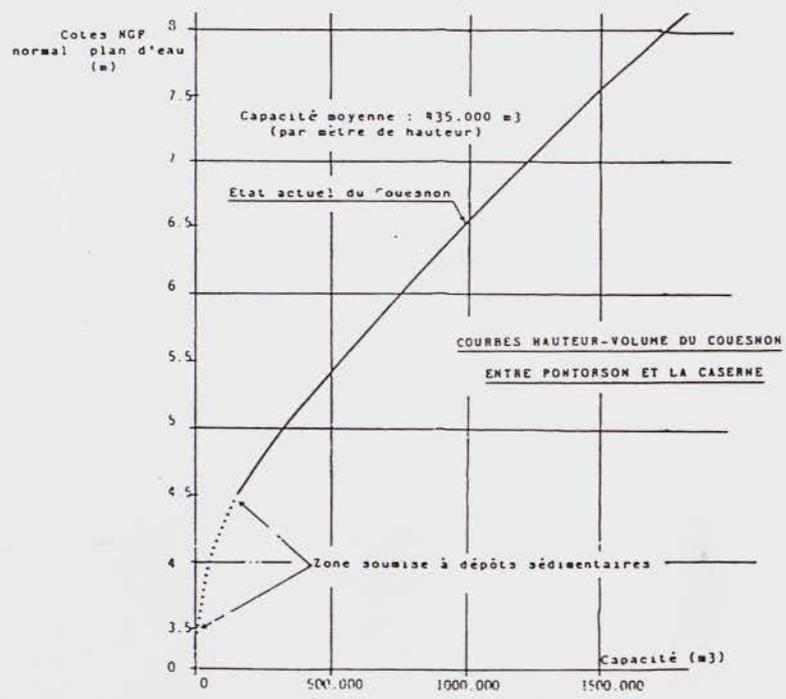
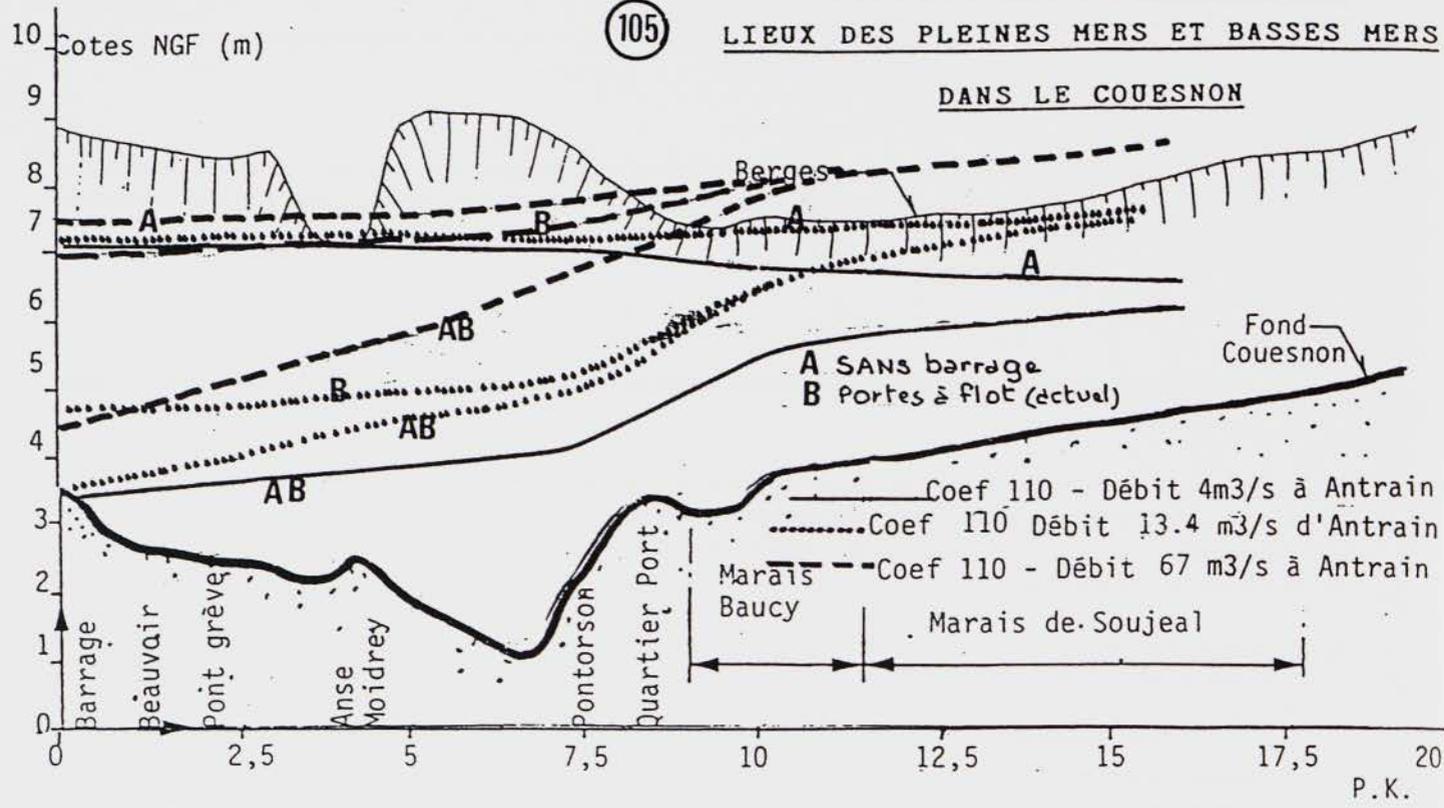
Associé à la coupure de la digue route, ce dispositif a permis de renverser les phénomènes de dépôts à l'Ouest du Mont et d'entraîner des érosions de 1 à 1,5 m favorables au maintien des profondeurs à +4 m I.G.N. aux abords du Mont Saint Michel. L'influence des chasses se faisait sentir sur une distance de près de 4 km vers le large sous forme d'un chenal orienté sensiblement Nord – Sud et passant à l'Ouest du Mont.

À l'Est du Mont, par contre, le grand banc continue de progresser vers le large et à 1.500 m à l'Ouest du Mont le même phénomène est constaté après une période correspondant à une dizaine d'années en nature.

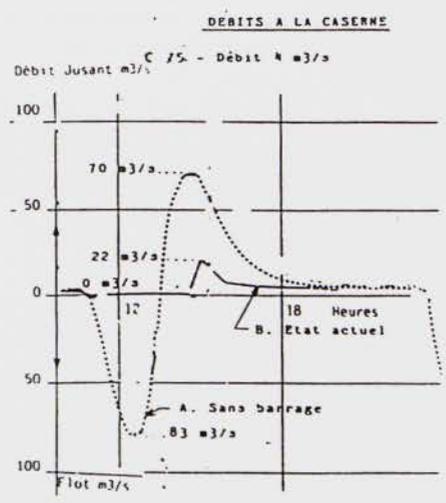
Les dépôts à l'amont du barrage sont plus faibles, une partie des sédiments qui peuvent encore pénétrer dans le Couesnon, par dessus le seuil d'écrêtement, étant partiellement reprise par les courants de fonds au moment des chasses ou des crues.

La comparaison des états obtenus après 10 « cycles annuels » à partir des fonds de 1975, d'une part sans aménagement, et d'autre part avec la coupure de la digue route associée à un aménagement progressif du barrage du Couesnon, montre les possibilités qu'apporte cette solution d'aménagement notamment à l'Ouest du Mont Saint Michel [Figure 106].

Par contre, cette solution d'aménagement n'agit que localement. Elle ne supprime pas l'extension du grand banc Est qui vient toujours déborder l'alignement entre le Mont et Roche Torin en se rapprochant du Mont, ni l'extension du banc de l'Ouest à 1,5 ou 2 km du Mont.



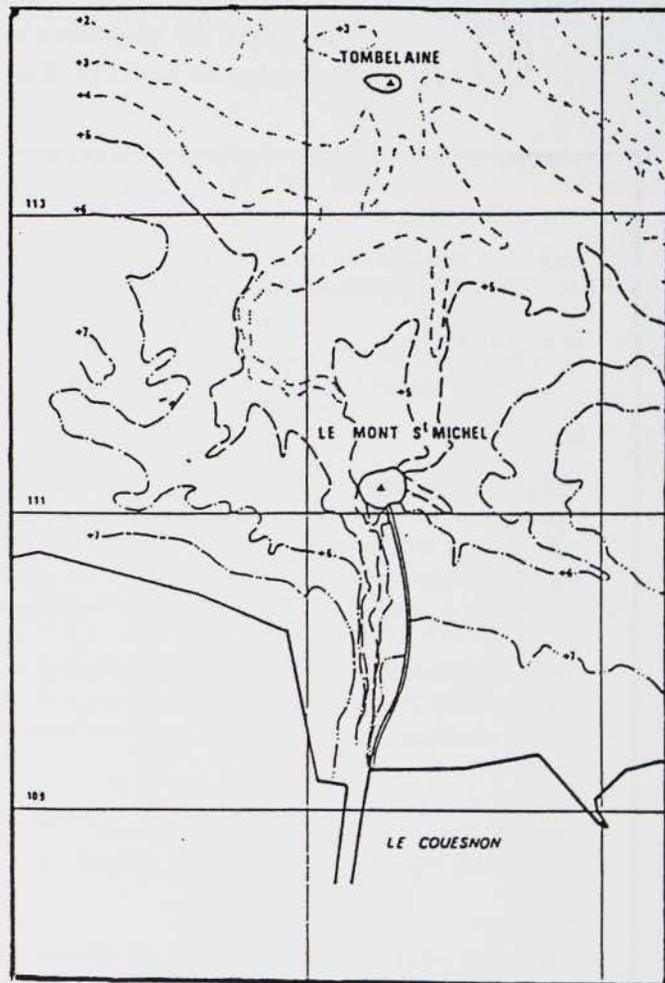
PROPAGATION DE LA MARÉE DANS LE COUESNON AVANT ET APRÈS LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE LA CASERNE (MODÈLE MATHÉMATIQUE)



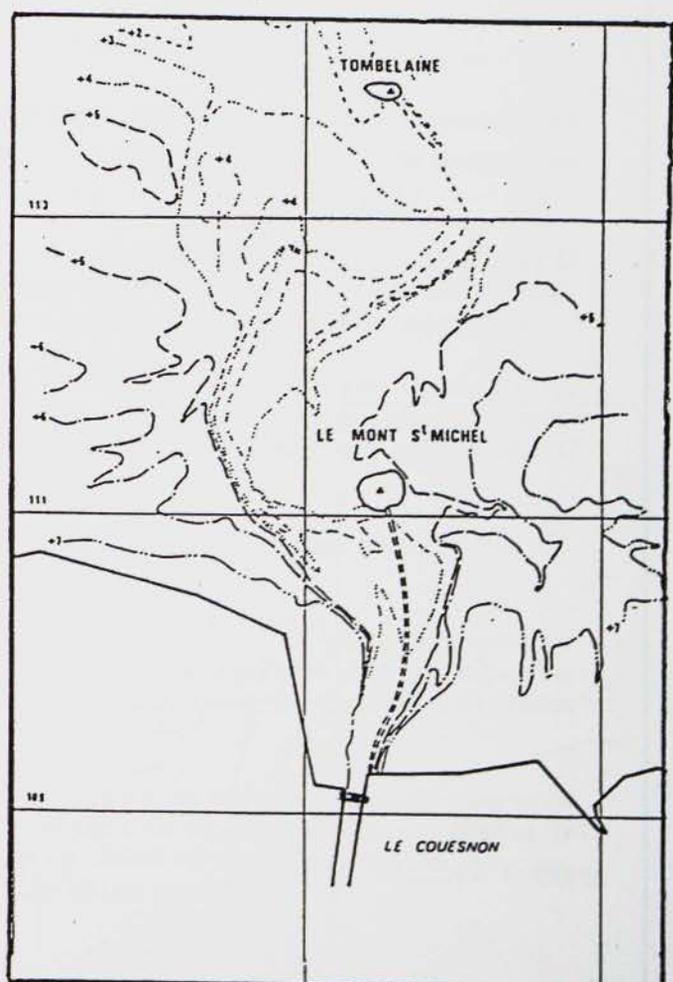
INFLUENCE DU BARRAGE AMÉNAGÉ

ET DE LA COUPURE DE LA DIGUE ROUTE

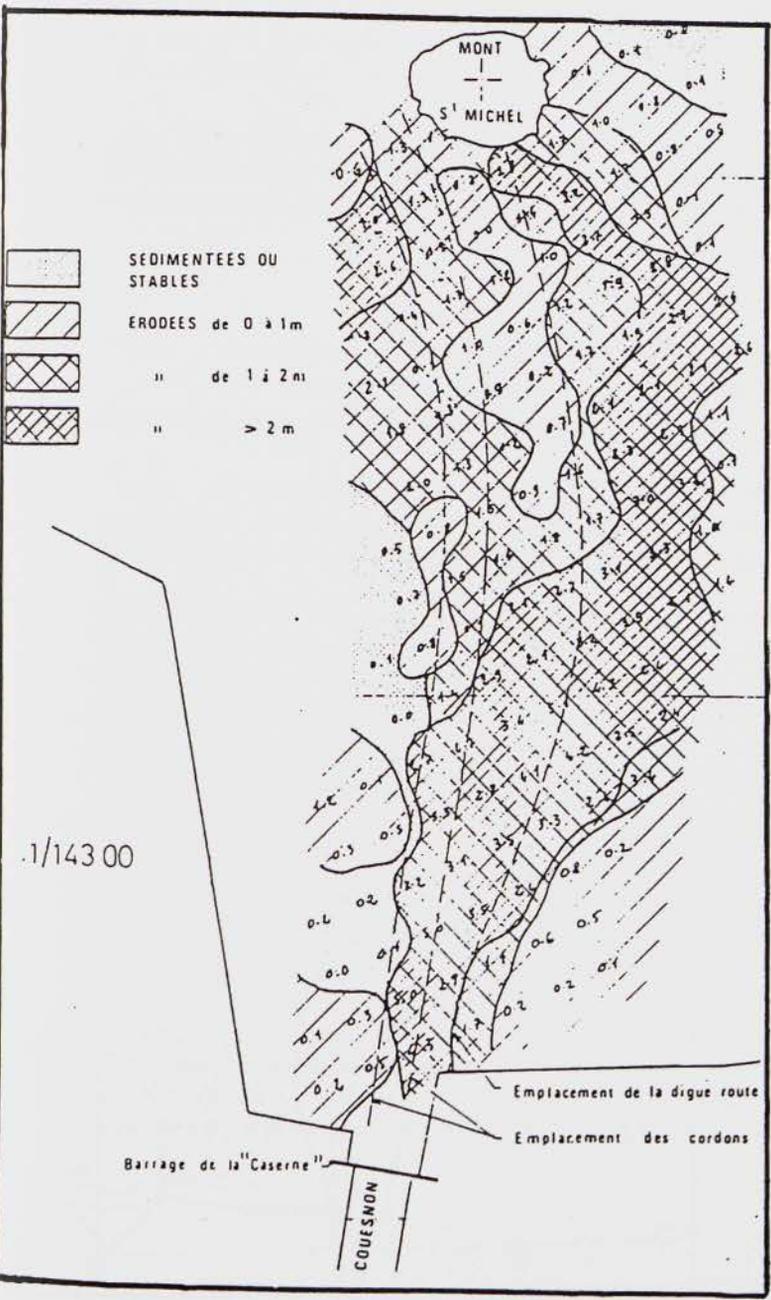
COMPARAISON DES FONDS AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL
APRÈS 10 CYCLES ANNUELS

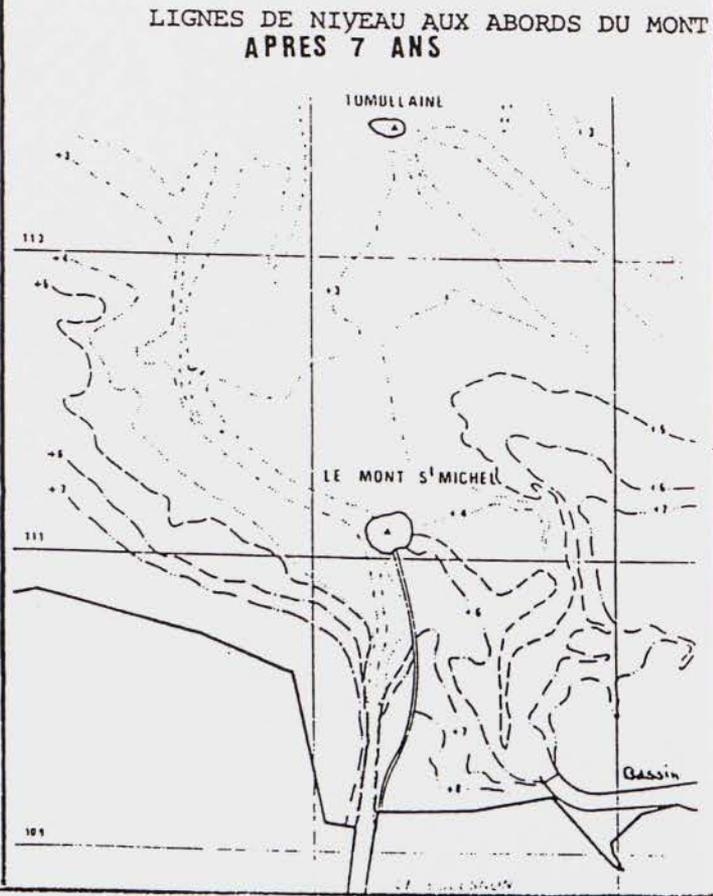
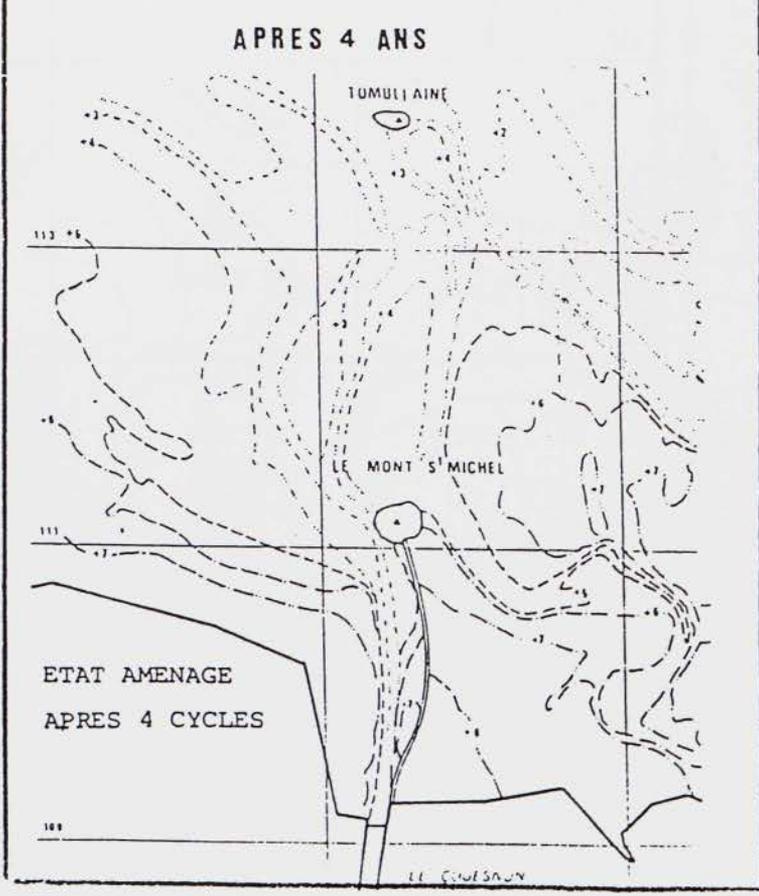
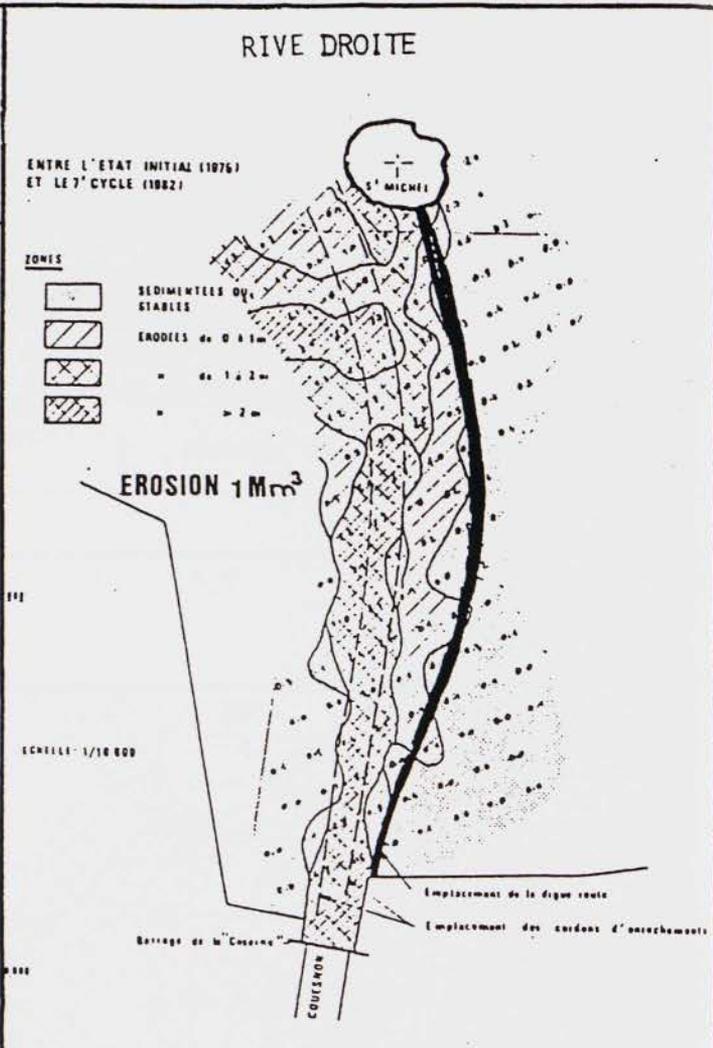
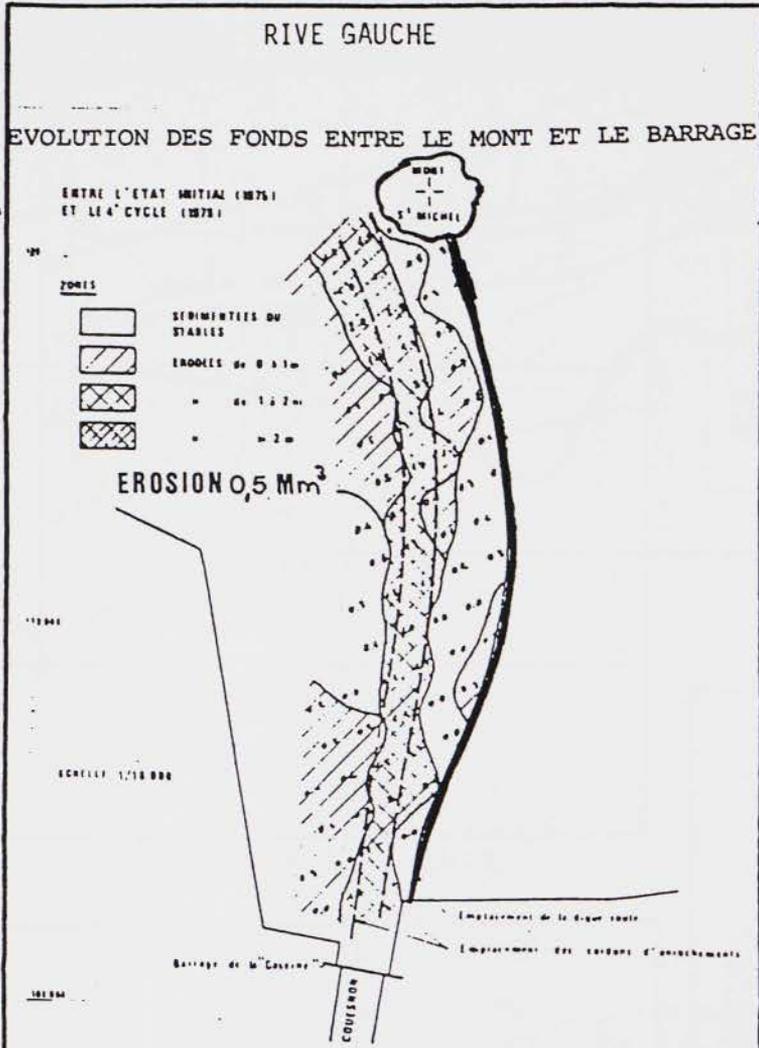


SANS AMENAGEMENT



AVEC COUPURE DIGUE ET BARRAGE AMENAGE





V.2.3. Aménagement du barrage de la Caserne sans coupure de la digue route, mais en supprimant les cordons d'enrochements qui bordent le Couesnon

Cette solution n'a pas été étudiée seule sur l'ancien modèle sédimentologique, mais en association avec les aménagements dits de « l'Est » et comportant des bassins de chasse, la coupure de la Roche Torin...

On peut toutefois, en admettant que ce qui se passe à l'Ouest de la digue route ne dépend que de l'aménagement du barrage de la Caserne avec rétablissement de la pénétration des eaux marines et réalisation de chasses, donner un aperçu de la seule influence de l'aménagement du barrage.

En aménageant le barrage de la Caserne, en maintenant la digue route dans son état actuel et en supprimant le cordon d'enrochements sur la rive droite, on obtient un abaissement progressif des fonds dans le chenal du Couesnon de l'ordre de 1,5 à 2 m au cours des 4 premières années avec une érosion de 450.000 m³ sur les 1,3 km limités par le cours aval du Couesnon. Vers le large, le Couesnon s'oriente vers le Nord, c'est-à-dire vers Tombelaine, le cordon de la rive gauche évitant sa divagation vers l'Ouest.

En supprimant le cordon d'enrochements rive gauche et dans les mêmes conditions d'aménagement que précédemment, on obtient un volume d'érosion du chenal du Couesnon, entre le barrage et le Mont, qui atteint 1 million de m³ en 7 ans, les sédiments étant dispersés vers le large. Le chenal s'approfondit de 2,5 m en moyenne [Figure 107].

La suppression du cordon d'enrochements sur la rive gauche favorise une déviation du chenal vers l'Ouest dès qu'il aborde le Mont, ce qui peut-être moins favorable pour le maintien des profondeurs devant le Mont et dans sa partie Nord.

Dans tous les cas, le seul aménagement du barrage de la Caserne ne permet qu'un maintien des profondeurs à l'Ouest immédiat du Mont, mais reste insuffisant pour redonner un caractère maritime autour du Mont Saint Michel. Il s'agit d'une solution nécessaire, mais insuffisante.

V.2.4. L'amélioration des profondeurs à l'Est du Mont Saint Michel – Les solutions envisagées pour réduire l'extension du grand banc de l'Est – Les réservoirs à marée sans coupure de la digue route d'accès au Mont

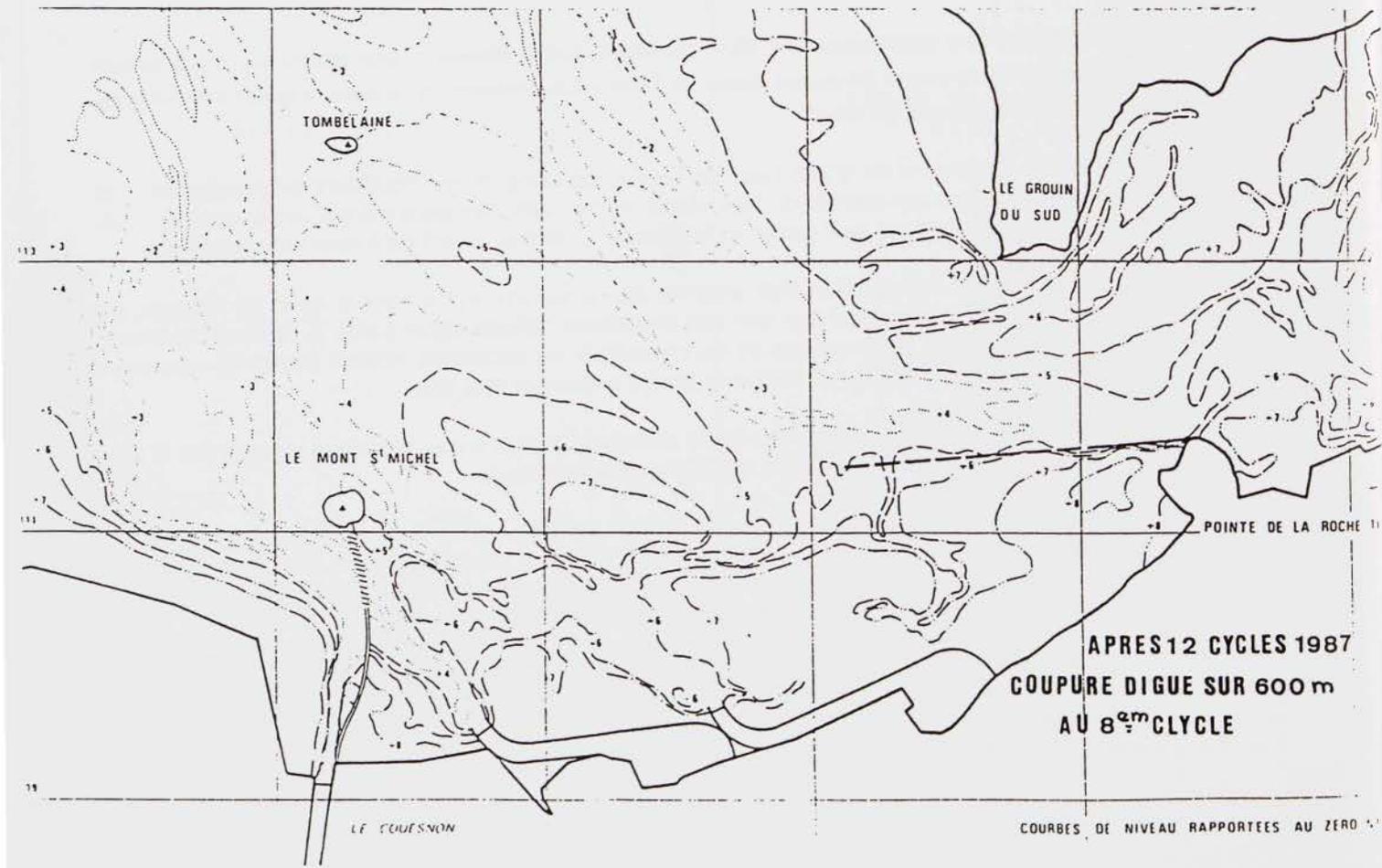
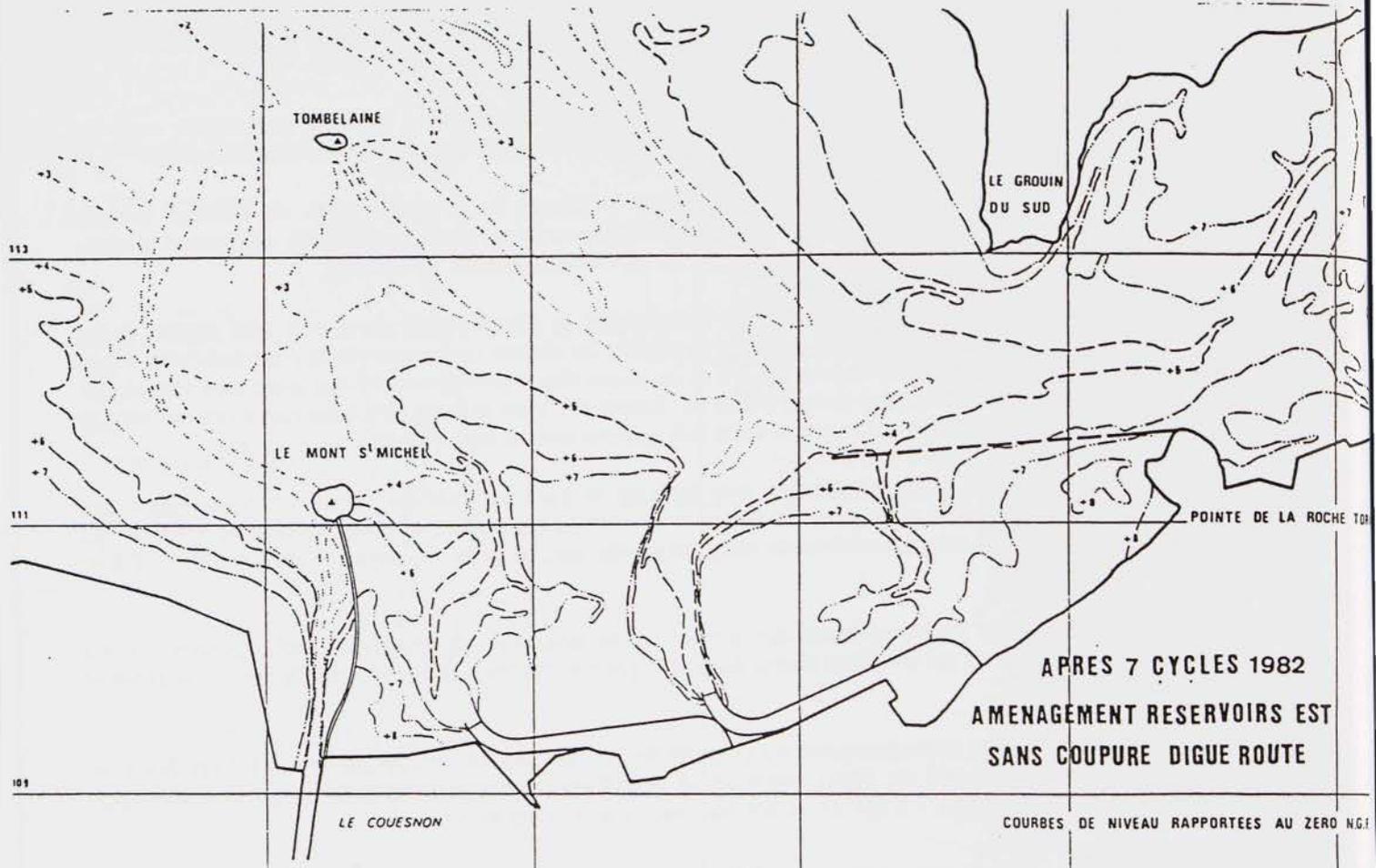
Devant l'importance de l'extension du grand banc de l'Est et les dangers qui pouvaient en résulter pour le maintien du caractère maritime aux abords du Mont Saint Michel, des recherches importantes ont été réalisées sur le modèle sédimentologique pour tenter de s'opposer ou tout au moins de freiner ce phénomène.

Compte tenu de la cote et de la superficie déjà atteintes par le schorre et les herbus dans ce secteur, les moyens à mettre en œuvre ne pouvaient être que très importants, faisant appel à des puissances hydrauliques « artificielles » susceptibles de remplacer en les intensifiant les anciennes actions des petits ruisseaux qui se jetaient jadis dans ce secteur lorsque les fonds étaient beaucoup plus bas.

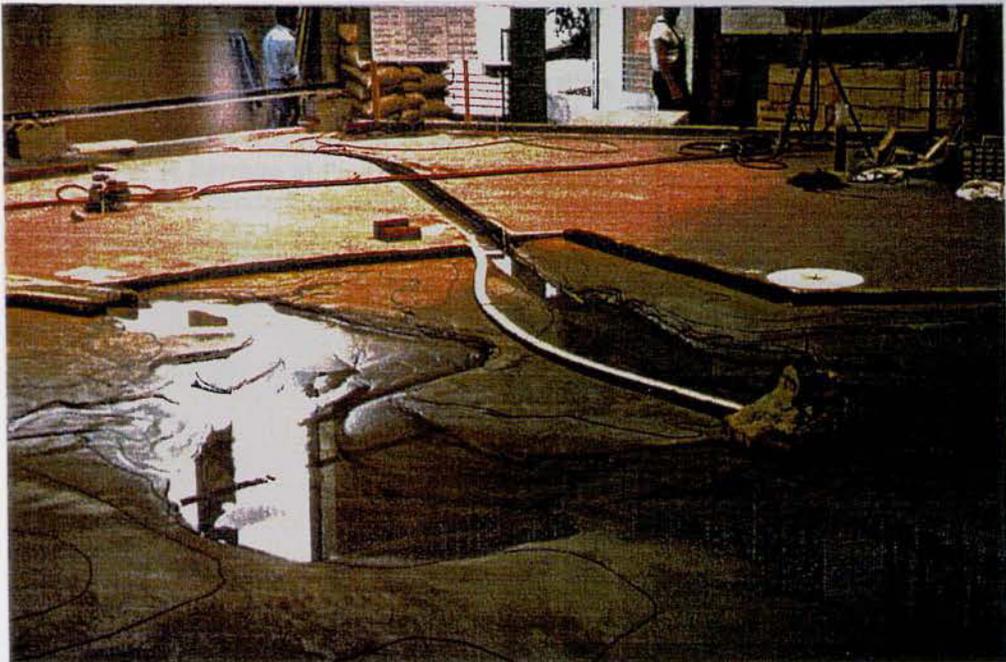
L'écrêtement par engins mécaniques des herbus a été envisagé, mais n'a pas fait l'objet d'étude sur le modèle réduit où les seules actions ont été laissées aux pouvoirs hydrauliques.

Le rétablissement de la puissance hydraulique des petites rivières, telles que la Guintre et la rivière d'Ardevon, risquant d'entraîner des répercussions pour le drainage des terrains agraires, on a imaginé de les remplacer par des « réservoirs à marée » implantés le long du littoral dans le domaine maritime et ayant des capacités d'emmagasinement des eaux marines beaucoup plus importantes.

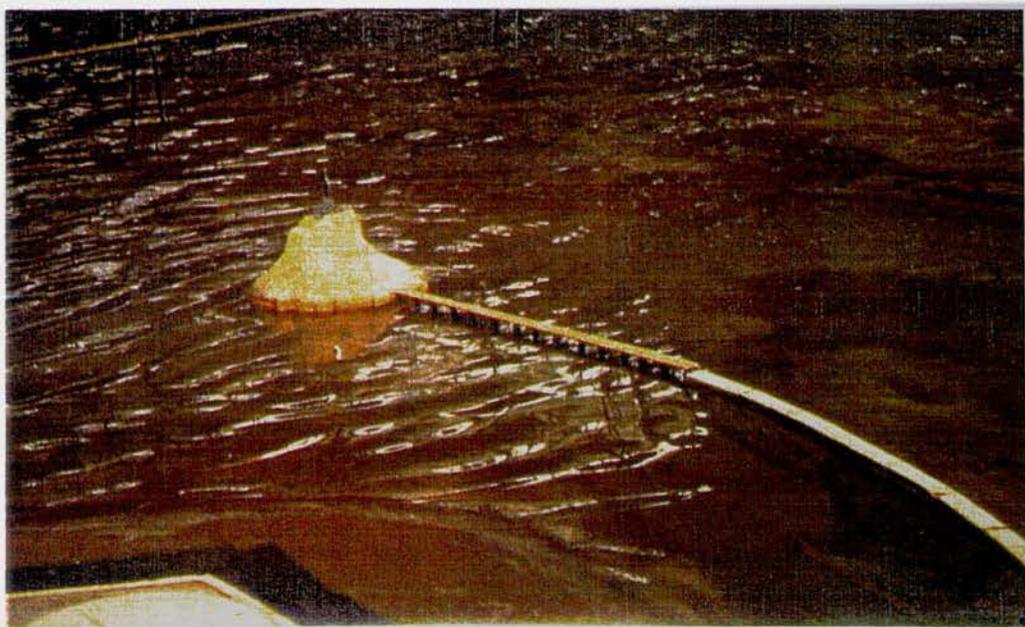
À l'Est du Mont, une première réalisation a été celle d'un réservoir à marée muni d'un dispositif d'extrémité dans des conditions comparables à celles du barrage sur le Couesnon. Un tel ouvrage nécessiterait près de 700.000 m³ de terrassement et un dragage annuel d'entretien de 50.000 m³ environ que l'on pourrait chercher à réduire par des installations d'auto-dragage à moins de 20.000 m³ par an.



EFFET DE
« CONFLUENCE »



ENVIRONNEMENT
« MARITIME »



110



SUPPRESSION TOTALE DE LA DIGUE-ROUTE AVEC BARRAGE AMÉNAGÉ
LE COUESNON PASSE À L'EST DU MONT

Associée à celle du barrage sur le Couesnon, la réalisation d'un tel réservoir permet de restituer et de maintenir des profondeurs acceptables aux abords du Mont en créant des érosions qui peuvent atteindre deux mètres. Le Mont se trouverait à la confluence de deux rivières dont l'une naturelle, le Couesnon, serait régie par le barrage et l'autre artificielle, par la capacité du réservoir. La mer pourrait venir de part et d'autre du Mont pendant six marées sur dix, alors qu'à la même époque le Mont ne serait plus atteint que par une marée sur dix si aucun ouvrage n'était réalisé.

Dans les mêmes conditions, pour faire régresser les herbues sur l'ensemble des grèves situées à l'Est, un deuxième réservoir a été réalisé sur le modèle, restituant ainsi en les accentuant les effets des petites rivières qui se jetaient dans cette zone, telle que la Guintre [Figure 108].

Parallèlement, l'arasement de la digue de la Roche Torin permet de réduire l'extension du banc de l'Est vers l'Est bien que ce phénomène reste soumis à des divagations aléatoires de la Sée et de la Sélune et ne pourrait être rendu déterminant qu'en l'associant à un épi au Grouin du Sud. Son action sur les abords du Mont Saint Michel reste secondaire à court terme.

L'action des réservoirs à marée se faisait sentir sur une distance de 2 km environ et sur une largeur de près de 1 km mais, sans la coupure de la digue route, ils n'avaient pas une répercussion suffisante pour assurer un caractère maritime sur toute la périphérie du Mont Saint Michel, l'effet de « confluence » étant prépondérant sur l'effet « d'environnement » maritime [Figure 109].

V.2.5. Suppression partielle de la digue route associée à l'aménagement du barrage et à la réalisation de bassins de marée à l'Est

La suppression partielle de la digue route permet de créer des courants traversiers entre l'Est et l'Ouest par suite des dénivellations du plan d'eau qui existent de part et d'autre de la digue route, tant en flot qu'en jusant. Ces courants traversiers nécessitent cependant que les profondeurs soient suffisantes à l'emplacement de la coupure pour que le phénomène puisse au moins s'amorcer.

Aucun essai n'a été réalisé au cours des anciennes études avec la seule suppression partielle ou totale de cette digue route et l'on ne peut faire que des présomptions.

En supprimant la totalité de la digue route, en mettant en service le barrage de la Caserne aménagé pour accumuler les eaux marines dans le Couesnon et faire des chasses, en enlevant les cordons d'enrochements qui bordent le chenal du Couesnon et en mettant en place un réservoir à l'Est, on constate que dans certains cas le Couesnon peut passer à l'Est à 500 m environ de l'enracinement de la digue route [Figure 110]. Il en résulte une extension du banc Ouest vers le Mont préjudiciable à son maintien maritime dans cette zone.

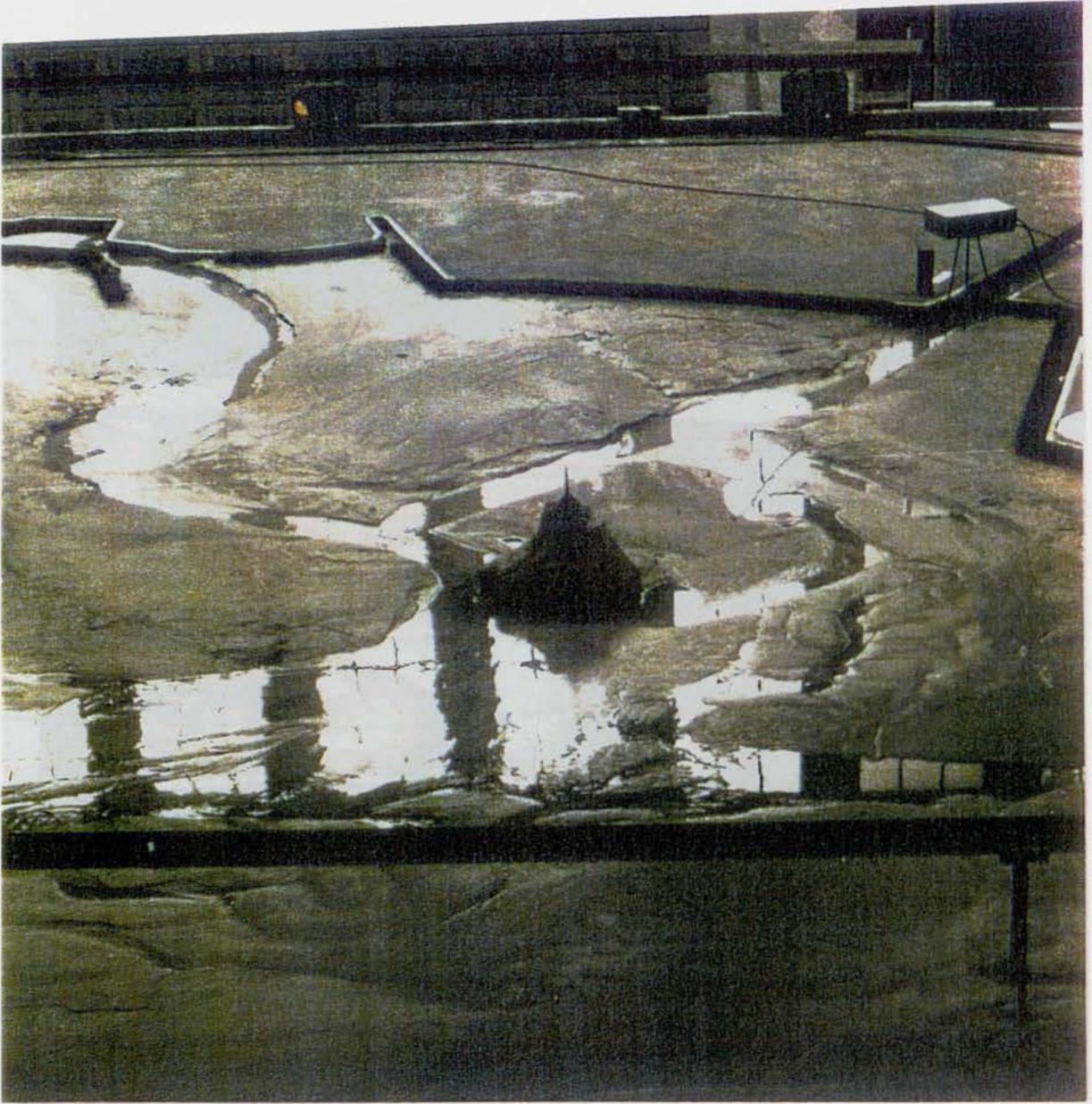
La coupure totale de la digue route est donc à déconseiller, surtout si on l'associe à la suppression du cordon d'enrochements à +4 m qui doit canaliser le Couesnon sur sa rive droite, les phénomènes aléatoires de passage des eaux à l'Est ou à l'Ouest du Mont n'étant pas maîtrisables.

La coupure de la digue route sur 600 m à partir du Mont, associée à l'aménagement du barrage de la Caserne et à un réservoir à l'Est, les cordons d'enrochements du chenal du Couesnon étant maintenus, apporte un résultat satisfaisant pour les abords du Mont Saint Michel avec, toutefois, un dépôt à +4,5 m au Nord immédiat du Mont dans une zone moins balayée par les courants.

Les fonds aux abords du Mont sont supérieurs à +4 m et la progression du banc de l'Ouest bien maîtrisée par la puissance hydraulique du Couesnon [Figure 111].

Un résultat assez comparable avait été obtenu avec une coupure de la digue route sur 600 m, mais avec la mise en place des 2 réservoirs à marée sur la côte Est.

110



SUPPRESSION TOTALE DE LA DIGUE-ROUTE AVEC BARRAGE AMÉNAGÉ
LE COUESNON PASSE À L'EST DU MONT

Associée à celle du barrage sur le Couesnon, la réalisation d'un tel réservoir permet de restituer et de maintenir des profondeurs acceptables aux abords du Mont en créant des érosions qui peuvent atteindre deux mètres. Le Mont se trouverait à la confluence de deux rivières dont l'une naturelle, le Couesnon, serait régie par le barrage et l'autre artificielle, par la capacité du réservoir. La mer pourrait venir de part et d'autre du Mont pendant six marées sur dix, alors qu'à la même époque le Mont ne serait plus atteint que par une marée sur dix si aucun ouvrage n'était réalisé.

Dans les mêmes conditions, pour faire régresser les herbues sur l'ensemble des grèves situées à l'Est, un deuxième réservoir a été réalisé sur le modèle, restituant ainsi en les accentuant les effets des petites rivières qui se jetaient dans cette zone, telle que la Guintre [Figure 108].

Parallèlement, l'arasement de la digue de la Roche Torin permet de réduire l'extension du banc de l'Est vers l'Est bien que ce phénomène reste soumis à des divagations aléatoires de la Sée et de la Sélune et ne pourrait être rendu déterminant qu'en l'associant à un épi au Grouin du Sud. Son action sur les abords du Mont Saint Michel reste secondaire à court terme.

L'action des réservoirs à marée se faisait sentir sur une distance de 2 km environ et sur une largeur de près de 1 km mais, sans la coupure de la digue route, ils n'avaient pas une répercussion suffisante pour assurer un caractère maritime sur toute la périphérie du Mont Saint Michel, l'effet de « confluence » étant prépondérant sur l'effet « d'environnement » maritime [Figure 109].

V.2.5. Suppression partielle de la digue route associée à l'aménagement du barrage et à la réalisation de bassins de marée à l'Est

La suppression partielle de la digue route permet de créer des courants traversiers entre l'Est et l'Ouest par suite des dénivellations du plan d'eau qui existent de part et d'autre de la digue route, tant en flot qu'en jusant. Ces courants traversiers nécessitent cependant que les profondeurs soient suffisantes à l'emplacement de la coupure pour que le phénomène puisse au moins s'amorcer.

Aucun essai n'a été réalisé au cours des anciennes études avec la seule suppression partielle ou totale de cette digue route et l'on ne peut faire que des présomptions.

En supprimant la totalité de la digue route, en mettant en service le barrage de la Caserne aménagé pour accumuler les eaux marines dans le Couesnon et faire des chasses, en enlevant les cordons d'enrochements qui bordent le chenal du Couesnon et en mettant en place un réservoir à l'Est, on constate que dans certains cas le Couesnon peut passer à l'Est à 500 m environ de l'enracinement de la digue route [Figure 110]. Il en résulte une extension du banc Ouest vers le Mont préjudiciable à son maintien maritime dans cette zone.

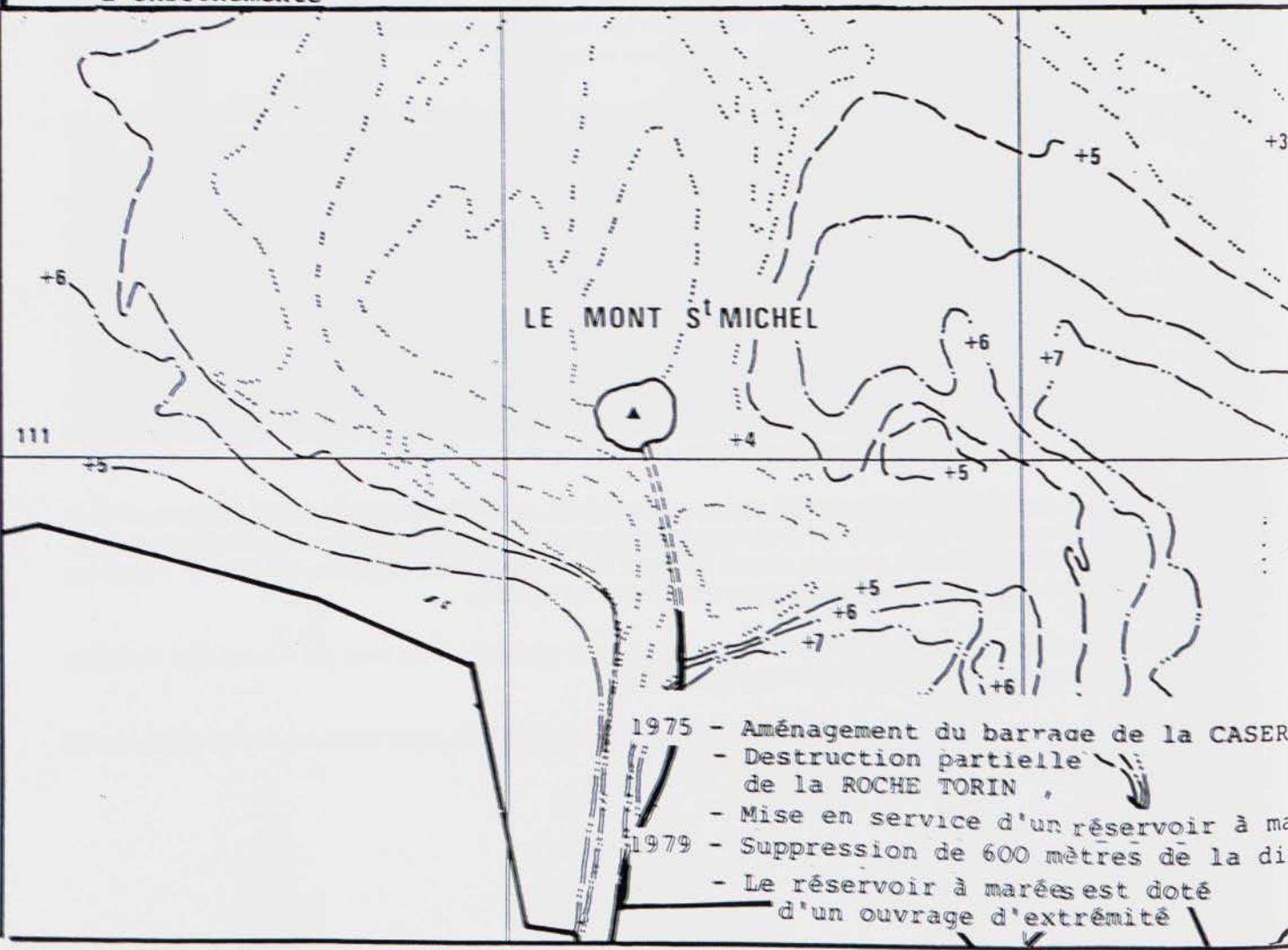
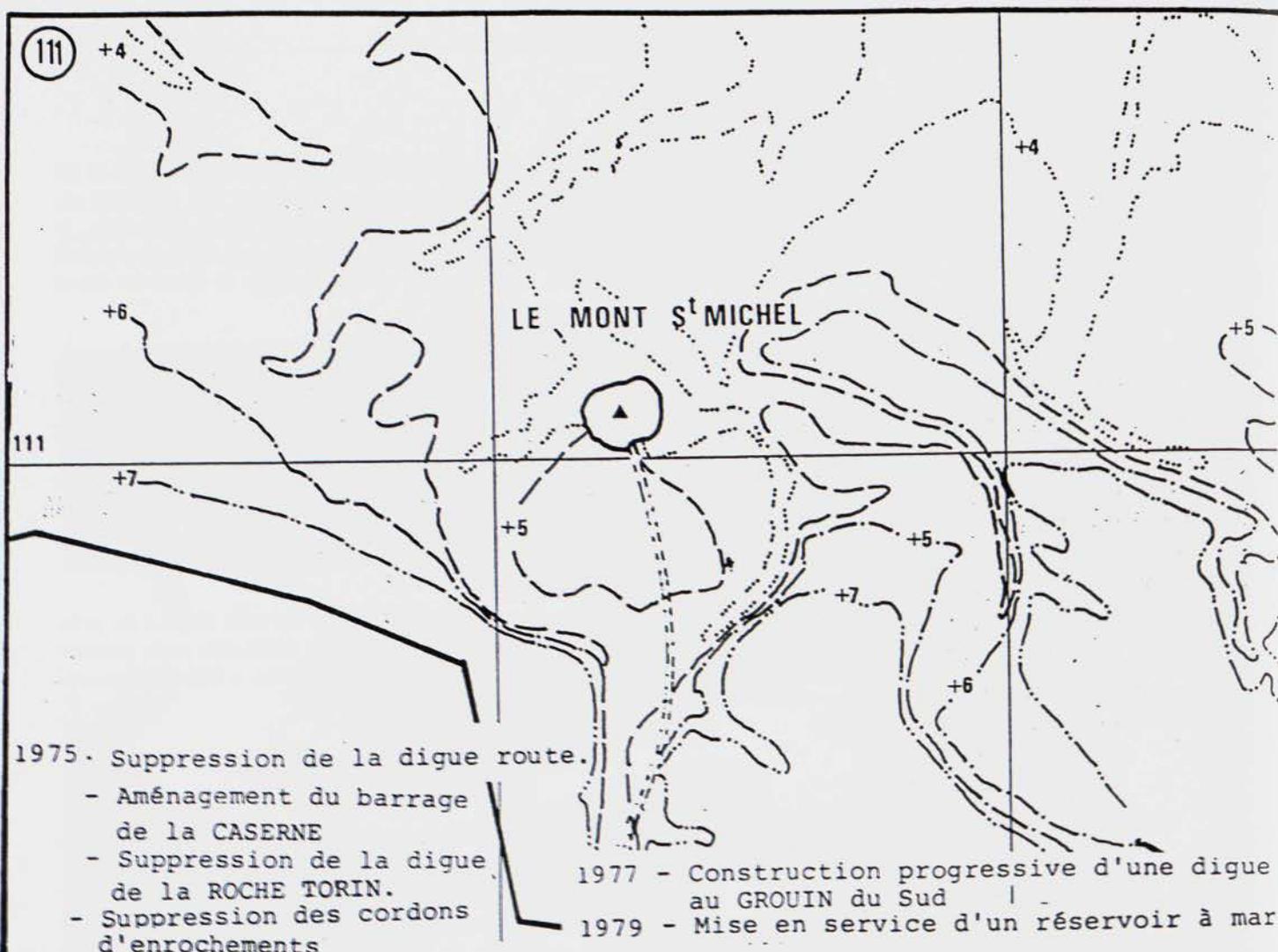
La coupure totale de la digue route est donc à déconseiller, surtout si on l'associe à la suppression du cordon d'enrochements à +4 m qui doit canaliser le Couesnon sur sa rive droite, les phénomènes aléatoires de passage des eaux à l'Est ou à l'Ouest du Mont n'étant pas maîtrisables.

La coupure de la digue route sur 600 m à partir du Mont, associée à l'aménagement du barrage de la Caserne et à un réservoir à l'Est, les cordons d'enrochements du chenal du Couesnon étant maintenus, apporte un résultat satisfaisant pour les abords du Mont Saint Michel avec, toutefois, un dépôt à +4,5 m au Nord immédiat du Mont dans une zone moins balayée par les courants.

Les fonds aux abords du Mont sont supérieurs à +4 m et la progression du banc de l'Ouest bien maîtrisée par la puissance hydraulique du Couesnon [Figure 111].

Un résultat assez comparable avait été obtenu avec une coupure de la digue route sur 600 m, mais avec la mise en place des 2 réservoirs à marée sur la côte Est.

111



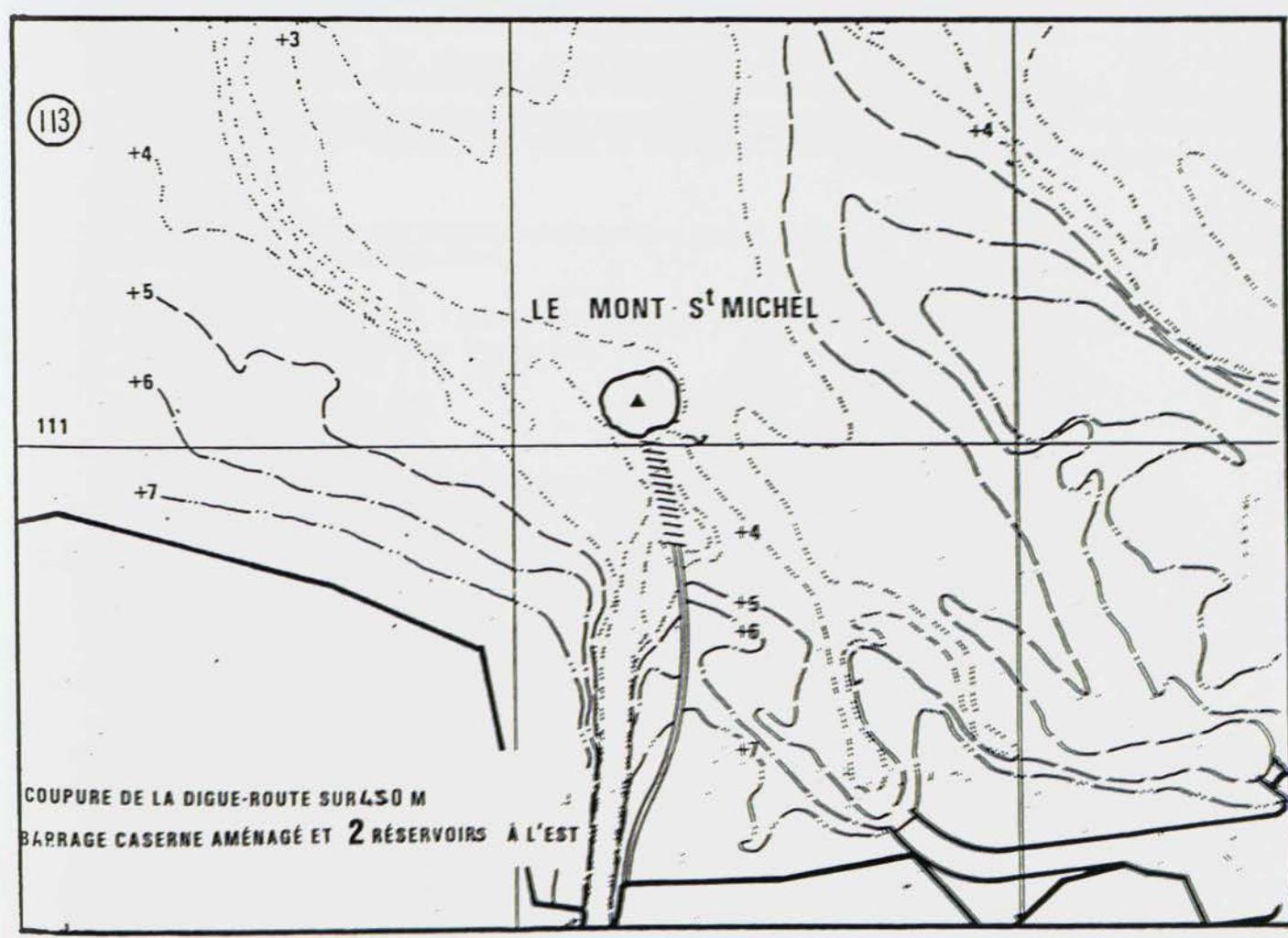
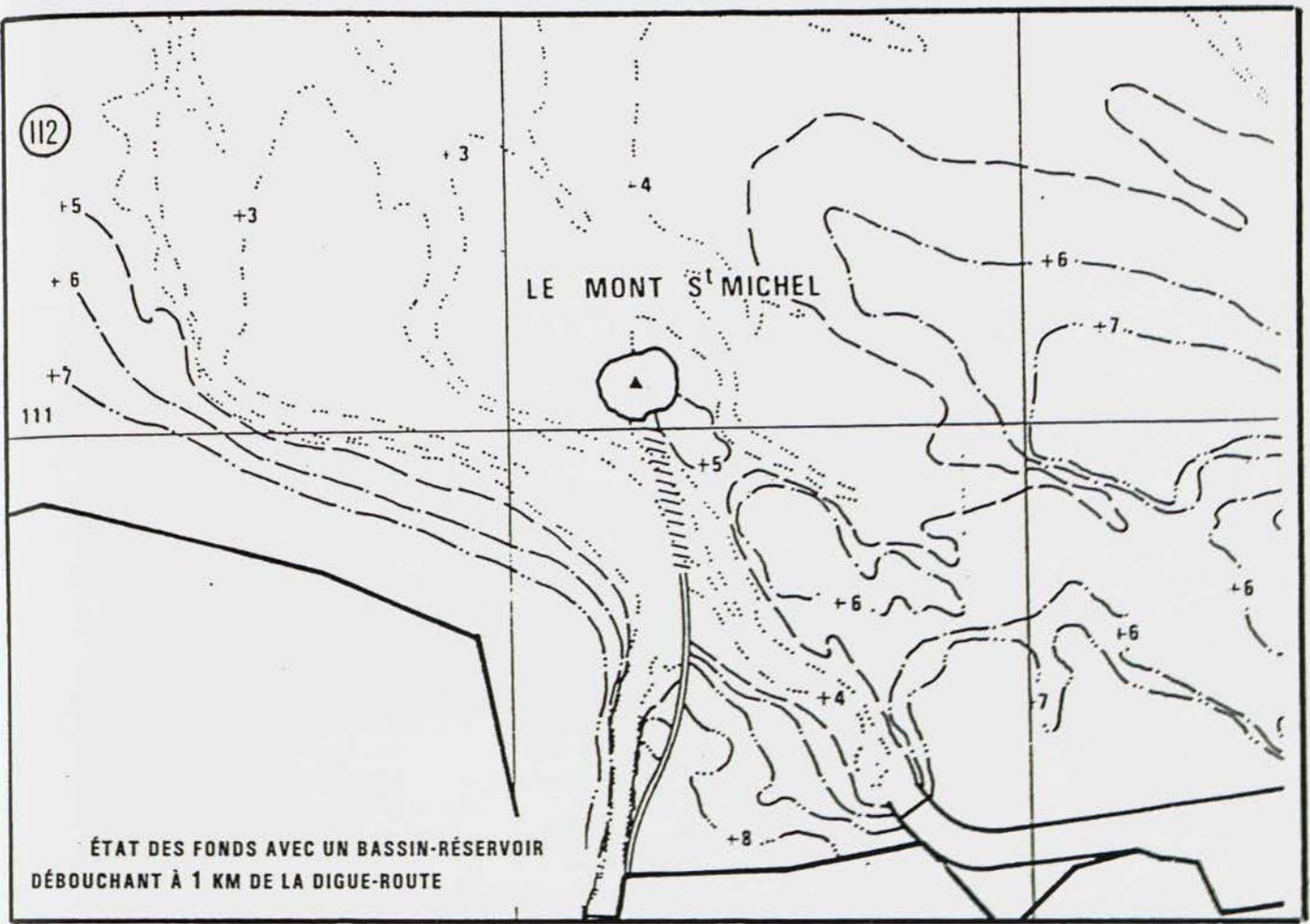
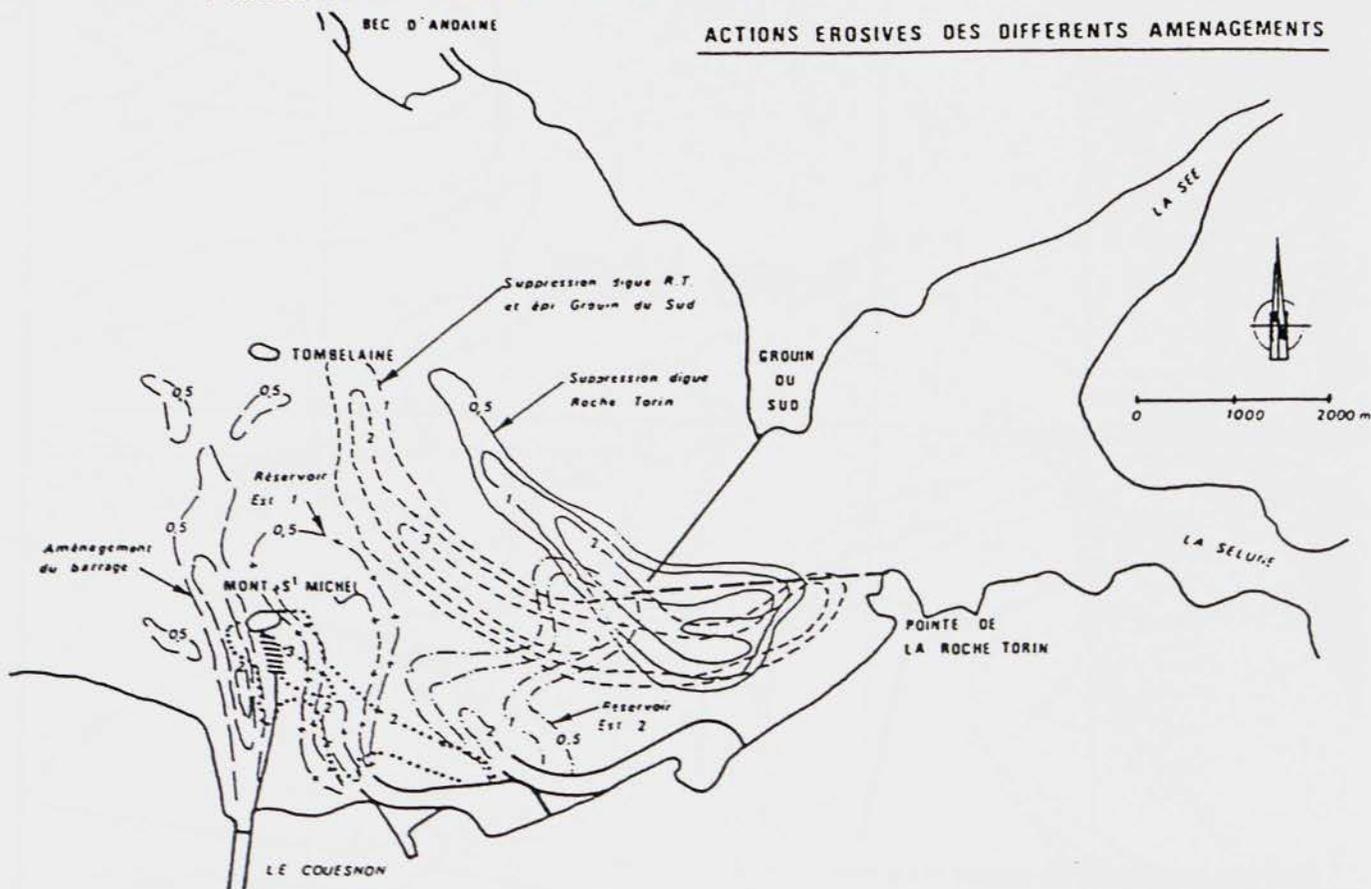


FIGURE N°14 : ÉROSION DES FONDS AUX ABORDS DU MONT SAINT MICHEL
8 ANS APRÈS LES AMÉNAGEMENTS ENVISAGÉS

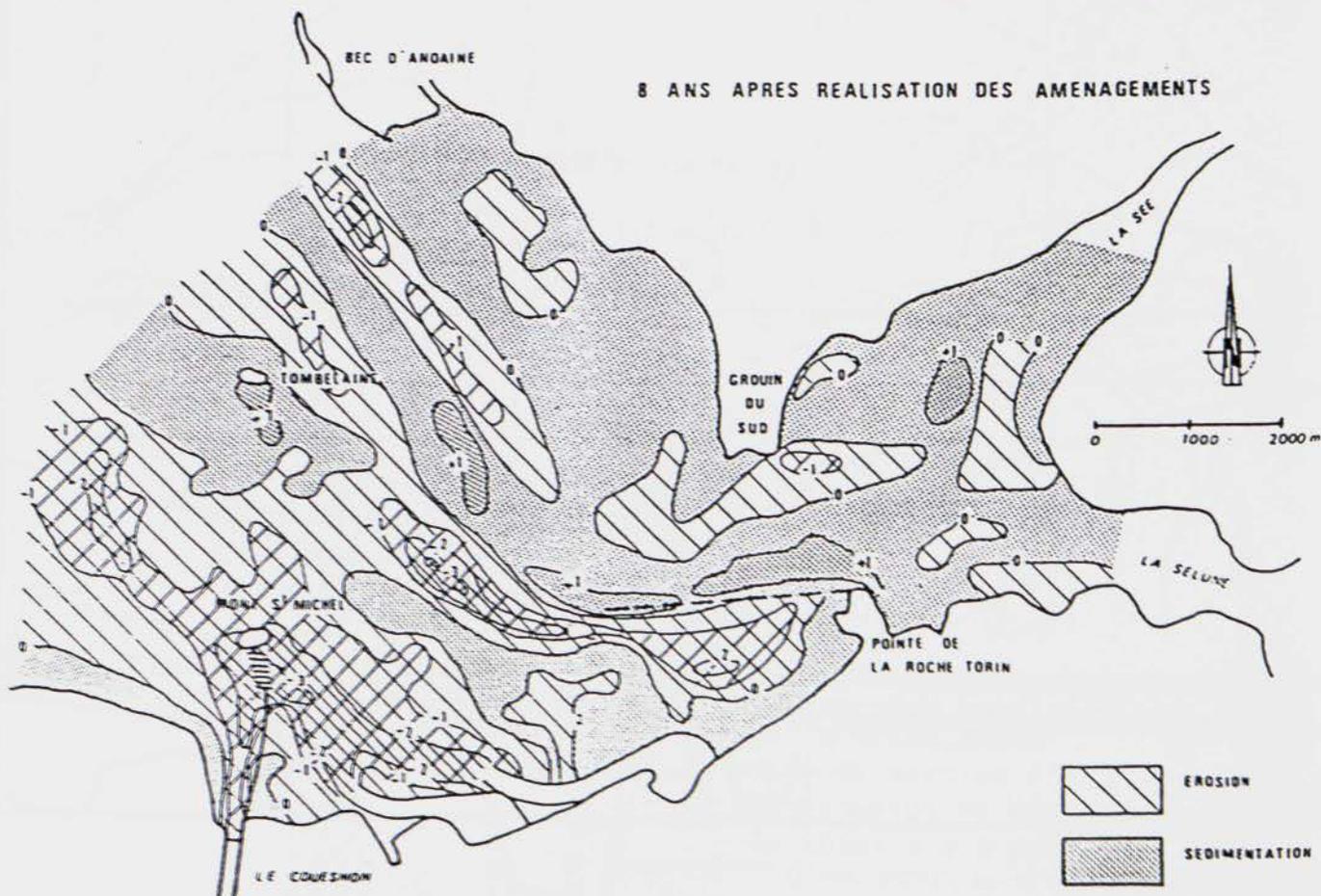
ACTIONS ÉROSIVES DES DIFFÉRENTS AMÉNAGEMENTS



ÉROSION DES FONDS DE LA BAIE

SI TOUS LES TRAVAUX ÉTAIENT RÉALISÉS

8 ANS APRÈS RÉALISATION DES AMÉNAGEMENTS



Il faut préciser qu'en faisant déboucher le réservoir de l'Est à 1 km seulement de l'enracinement de la digue route, on favorise la création d'une criche plus proche de la digue route ainsi que le passage d'une partie des eaux vers l'Ouest à travers la coupure de la digue sur 600 m [Figure 112].

L'environnement maritime des abords du Mont Saint Michel est nettement amélioré bien qu'il reste un haut fond à +5 m accolé au Sud-Est du Mont.

La coupure de la digue route sur 450 m à partir du Mont, associée au barrage de la Caserne aménagé et à 2 réservoirs sur le littoral Est, donne des résultats qui restent très satisfaisants bien que la zone des terrains recouverts par les grandes marées se trouve réduite vers la terre où les fonds à +6 m apparaissent à l'endroit de la coupure [Figure 113].

La coupure sur 300 m, 150 m de digue pleine étant maintenus près du Mont, permet encore des échanges d'eau dans la brèche, sous le pont, mais des dépôts apparaissent au Sud-Est du Mont et sont préjudiciables pour l'environnement maritime de cette zone.

Dans tous les cas, la coupure de la digue route sur une longueur de 600 m environ ou légèrement plus, reste un élément favorable pour le rétablissement du caractère maritime aux abords du Mont Saint Michel à condition que l'on puisse l'associer à des débits hydrauliques tant à l'Ouest (Couesnon) qu'à l'Est (réservoirs à marée) susceptibles d'assurer l'auto-dragage des fonds.

V.2.6. Suppression de la digue de la Roche Torin

Pour permettre aux rivières Sée et Sélune de divaguer vers l'Ouest et le Sud et d'attaquer le grand banc central, la suppression de la digue de la Roche Torin a été envisagée et réalisée en utilisant une partie des enrochements pour protéger le haut des grèves soumises à la poldérisation.

Les essais en modèle réduit ont montré que la suppression totale de la digue de Roche Torin permettait aux rivières Sée et Sélune de divaguer suivant un éventail plus important que dans l'état actuel et de venir épisodiquement attaquer par sapement les herbues au Sud de la digue actuelle et dans leur prolongement vers l'Ouest.

Ces érosions aléatoires, très éloignées du Mont Saint Michel, n'ont pas d'effet sur le maintien d'un environnement maritime aux abords du Mont.

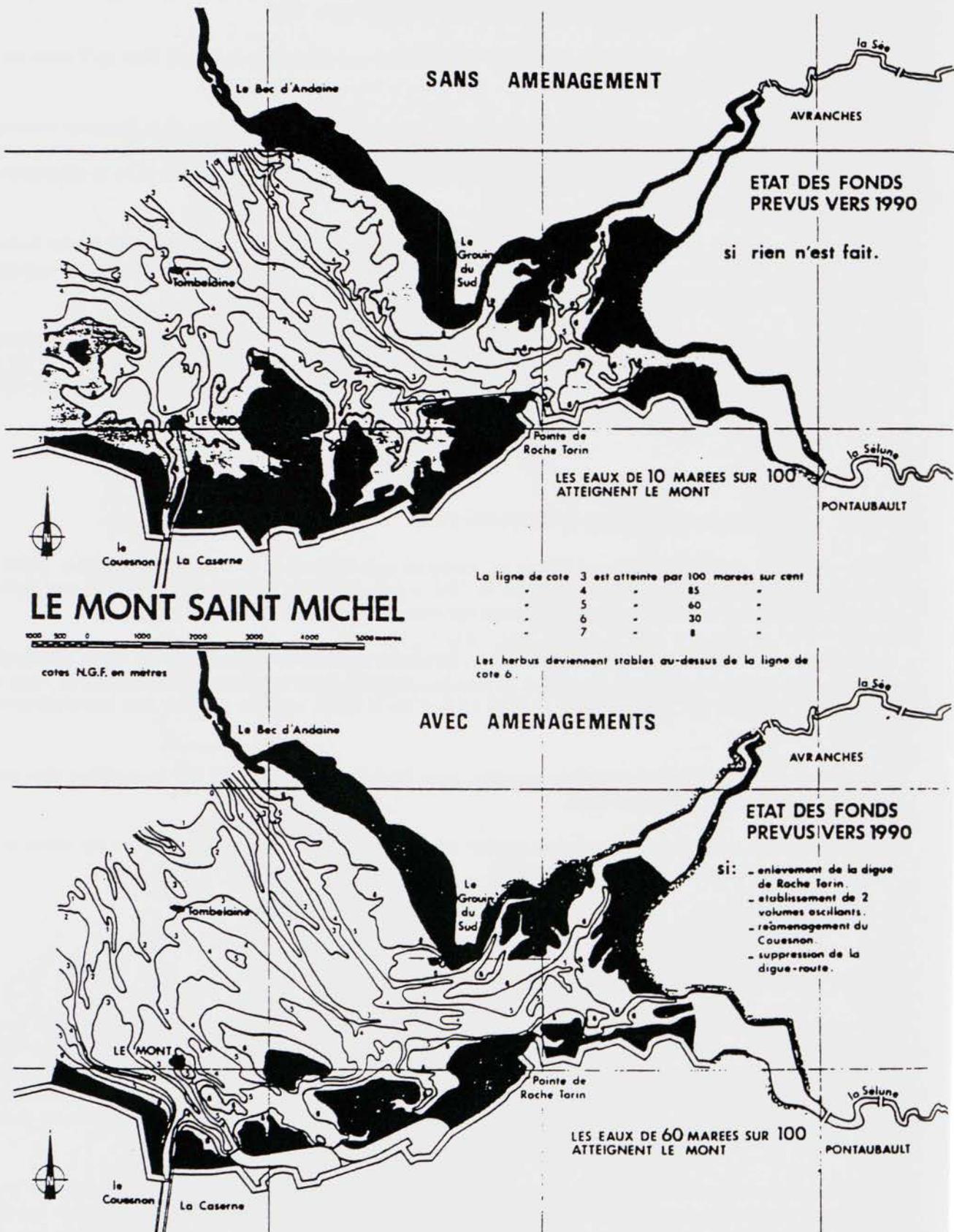
Pour les rendre déterministes, il faudrait réaliser un épi de 2 km au Grouin du Sud dont les effets seraient préjudiciables à la partie Nord de la petite baie.

V.2.7. Réalisation de l'ensemble des aménagements

Le modèle réduit de 1975-1977 a montré que l'influence des différents aménagements ne prend son plein effet que si l'ensemble des ouvrages retenus est réalisé, c'est-à-dire l'aménagement du barrage de la Caserne, la coupure partielle de la digue route, l'aménagement de réservoirs à marée à l'Est du Mont en remplacement des actions érosives des anciens ruisseaux de la Guintre, d'Ardevon... qui se jetaient dans cette zone, l'arasement de la digue de la Roche Torin bien que l'influence de cette dernière ne se fasse sentir que sur la face Est du grand banc Est à une distance importante du Mont.

Bien qu'il soit assez difficile de dissocier, dans des essais qui ont été réalisés avec simultanément plusieurs ouvrages d'aménagements, la part qui revient à chacun d'eux dans la sauvegarde du caractère maritime du Mont Saint Michel, la figure 114 donne un aperçu de l'action de chacun de ces aménagements dont la somme permet d'améliorer les profondeurs aux abords du Mont et de lui rendre son environnement maritime.

FIGURE N°115 : COMPARAISON DES FONDS DE LA BAIE À LA FIN DU SIÈCLE
 SANS AMÉNAGEMENT ET AVEC LES AMÉNAGEMENTS ENVISAGÉS
 DANS LES ÉTUDES DE 1977



Etat des fonds prévus vers 1990. Lignes de niveau.

La comparaison de l'état des fonds susceptibles d'être obtenus à la fin du siècle sans aménagement et celui que l'on aurait après avoir mis en œuvre les différents travaux envisagés [Figures 115 et 116], est assez parlante pour juger des possibilités offertes aux abords immédiats du Mont, mais également montre que certains phénomènes de sédimentation restent inéluctables.

Les figures 117 et 118 donnent, d'une façon schématique, l'influence des différents aménagements sur les évolutions des fonds aux abords immédiats du Mont (rayon de 1 km).

Cette étude sur le modèle réduit physique sédimentologique réalisé en 1977 apporte, dans tous les cas, une source importante d'informations permettant de mieux orienter les recherches « douces » susceptibles d'être envisagées pour rester dans une enveloppe économique plus réaliste.

V.3. LES PROBLÈMES SOULEVÉS PAR L'AMÉNAGEMENT DU COUESNON - LES ÉTUDES SUR MODÈLE MATHÉMATIQUE ET L'ÉVOLUTION DES CONCEPTIONS D'OUVRAGES

V.3.1. L'évolution des conceptions d'ouvrages

Les études précédentes avaient été envisagées en admettant que les caractéristiques géométriques du Couesnon n'étaient pas modifiées et la largeur du barrage de la Caserne conservée dans son état actuel, avec la réalisation de nouvelles passes et vannes susceptibles de résister à la pression des eaux accumulées et maintenues quelques heures en amont du barrage, et un dispositif de « gestion » approprié pour assurer une meilleure efficacité des chasses et éviter tout débordement du Couesnon lorsque des crues venaient se superposer aux grandes marées.

La variation de la salinité des eaux dans le Couesnon n'était pas prise en compte, car jugée comme n'apportant pas de perturbations majeures dans les zones agraires limitrophes à condition d'améliorer les dispositifs de communications entre les polders et la rivière, tant pour l'évacuation des eaux pluviales que pour éviter une remontée des eaux marines dans les canaux de drainage.

Progressivement, les conceptions des ouvrages sur le Couesnon ont évolué afin de tenir compte de tous les paramètres susceptibles d'intervenir et des exigences formulées par les différents utilisateurs « potentiels » du Couesnon. On est alors passé d'une largeur du barrage de 48 m, avec le lit actuel du Couesnon, à une largeur doublée puis augmentée d'un canal additionnel d'eau douce ; le Couesnon actuel devenant, dans sa partie aval, un « bassin réservoir » indépendant du Couesnon...

Le profil en travers du « réservoir » et du contre canal établi par le Service de la Navigation de la Seine (S.N.S.) avec le Maître d'ouvrage [45.b – 49.b] présentait une largeur entre berges extrêmes de 335 m, dont 215 m pour le doublement du Couesnon, en « réservoir », et de 120 m pour le contre canal d'eau douce... [Figure 119].

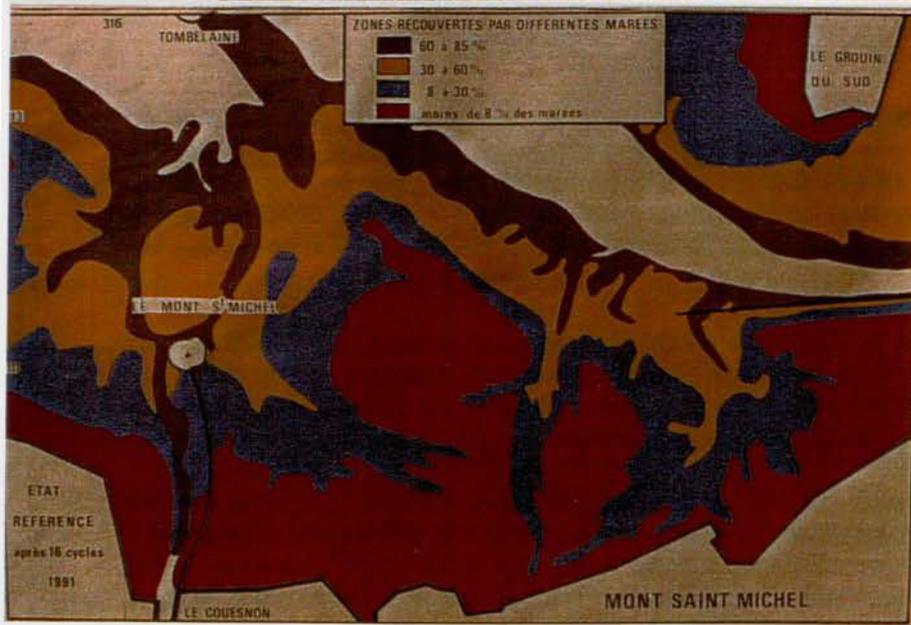
On est très loin de l'aménagement du Couesnon et du barrage de la Caserne étudiés et préconisés à l'issue des études réalisées en 1975-1977 par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (L.C.H.F.) et de la « définition des partis d'aménagements » et des estimations des prix de réalisation données dans le rapport d'Octobre 1978, avec une largeur du barrage de la Caserne portée à 72 m au lieu de 48 m pour faciliter l'accumulation des eaux marines dans le Couesnon en association avec les eaux fluviales [24.f].

Un modèle mathématique hydraulique a permis, en 1986-1987, d'examiner l'influence de ces nouvelles conceptions sur les cotes d'eau en amont du barrage pour différentes marées et différents débits de la rivière. Parallèlement, les débits instantanés de chasses ont été calculés et des présomptions formulées sur leur efficacité pour maintenir ou améliorer les profondeurs dans le chenal entre le barrage et le Mont.

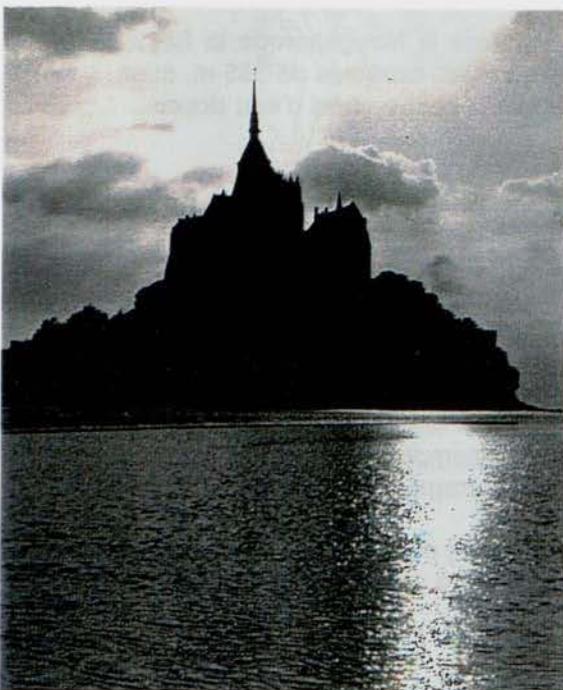
Les résultats de ces études anciennes, même si les hypothèses d'aménagement n'étaient pas toujours réalistes, apportent des éléments d'appréciation pour réfléchir sur les modifications à apporter aux installations actuelles.

COMPARAISON DES FONDS DE LA BAIE À LA FIN DU SIÈCLE SANS AMÉNAGEMENT ET AVEC LES AMÉNAGEMENTS ENVISAGÉS DANS LES ÉTUDES DE 1977

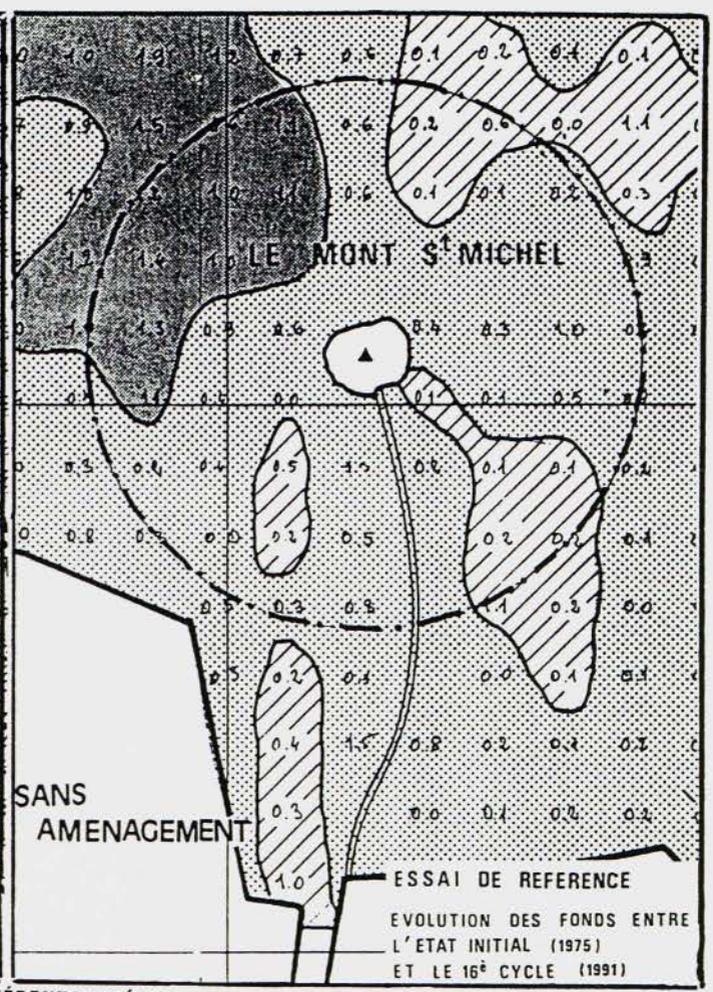
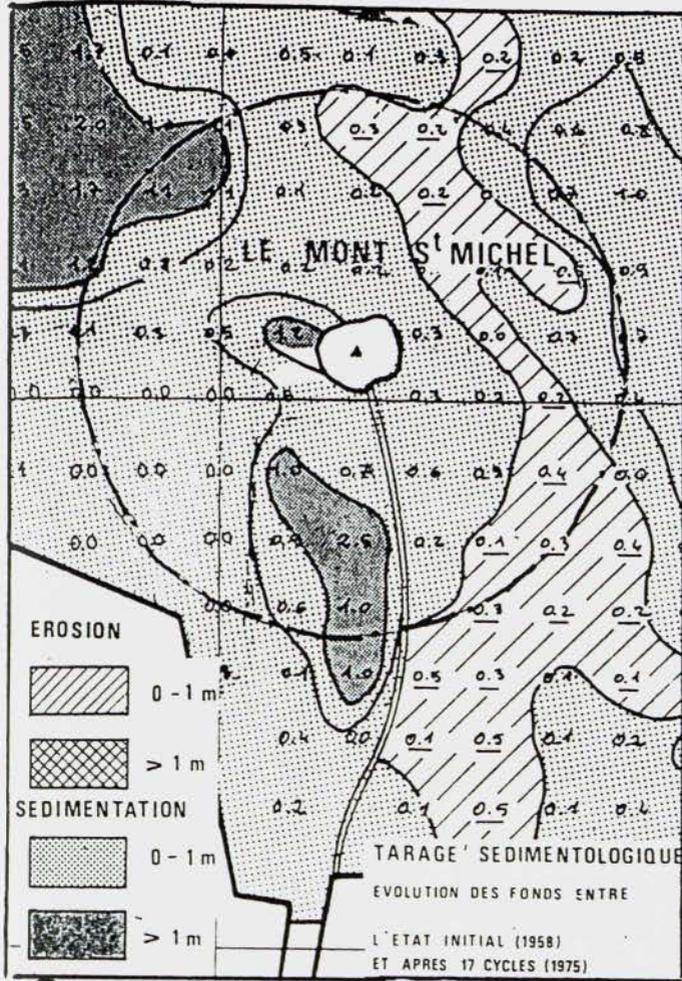
116



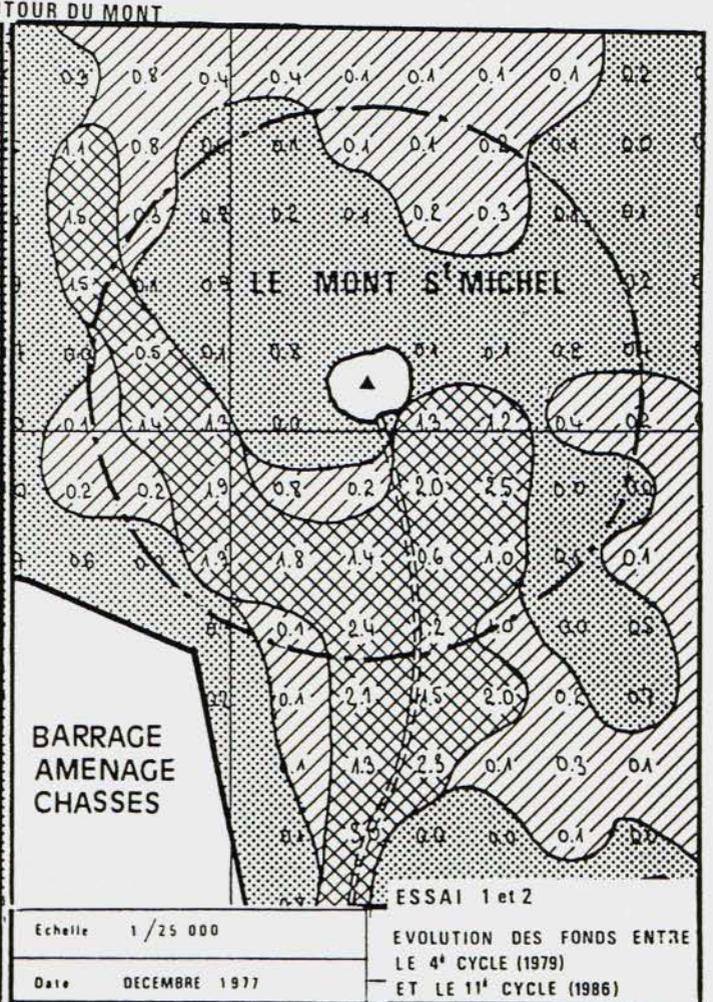
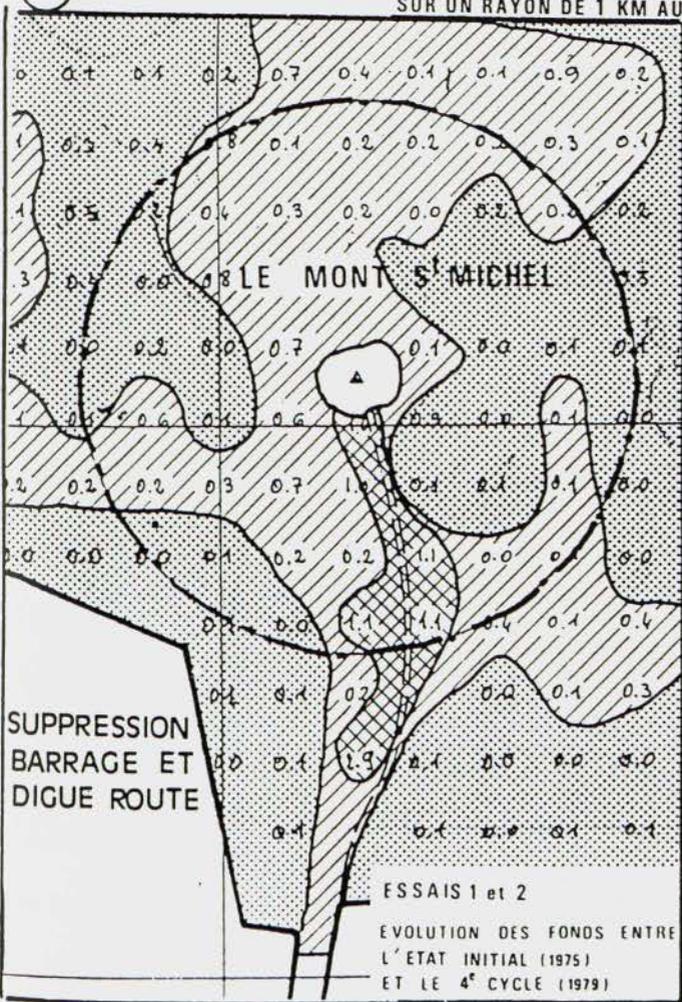
ZONES RECOUVERTES PAR LES MAREES EN L'AN 2000 SANS TRAVAUX



AVEC BARRAGE AMENAGE , DIGUE COUPEE,RESERVOIR EST



**INFLUENCE DES DIFFERENTS AMENAGEMENTS
SUR UN RAYON DE 1 KM AUTOUR DU MONT**



Echelle 1/25 000
Date DECEMBRE 1977

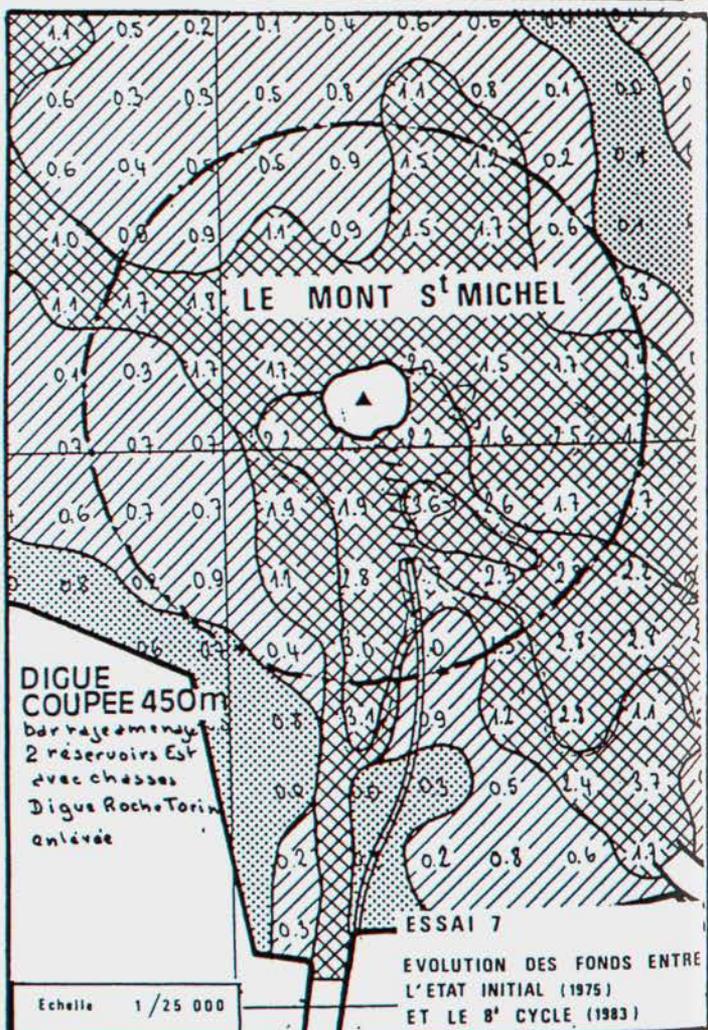
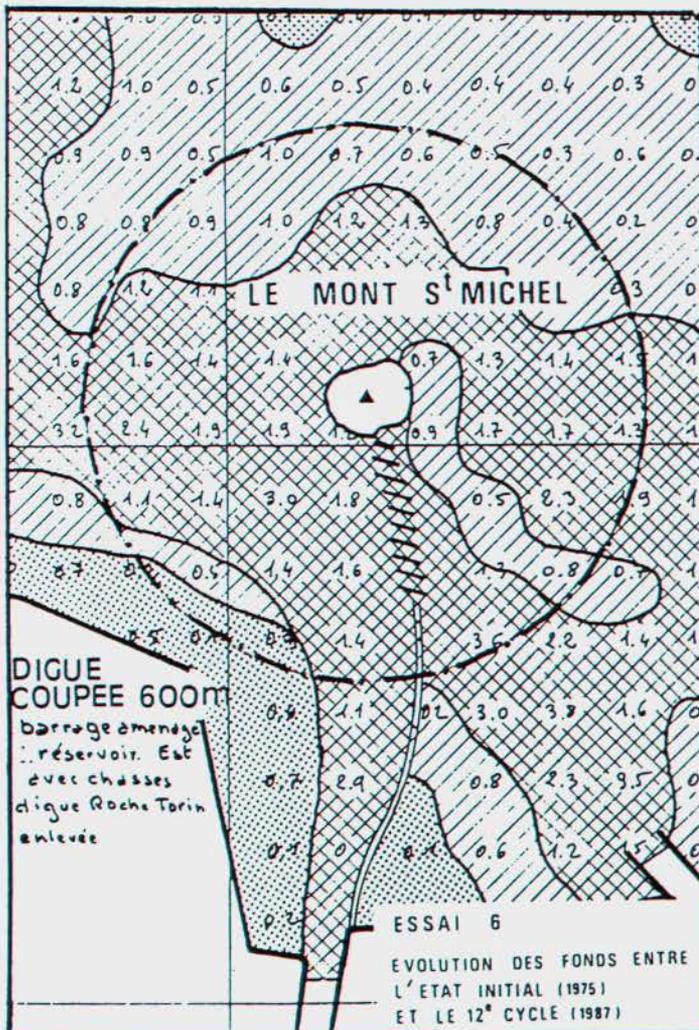
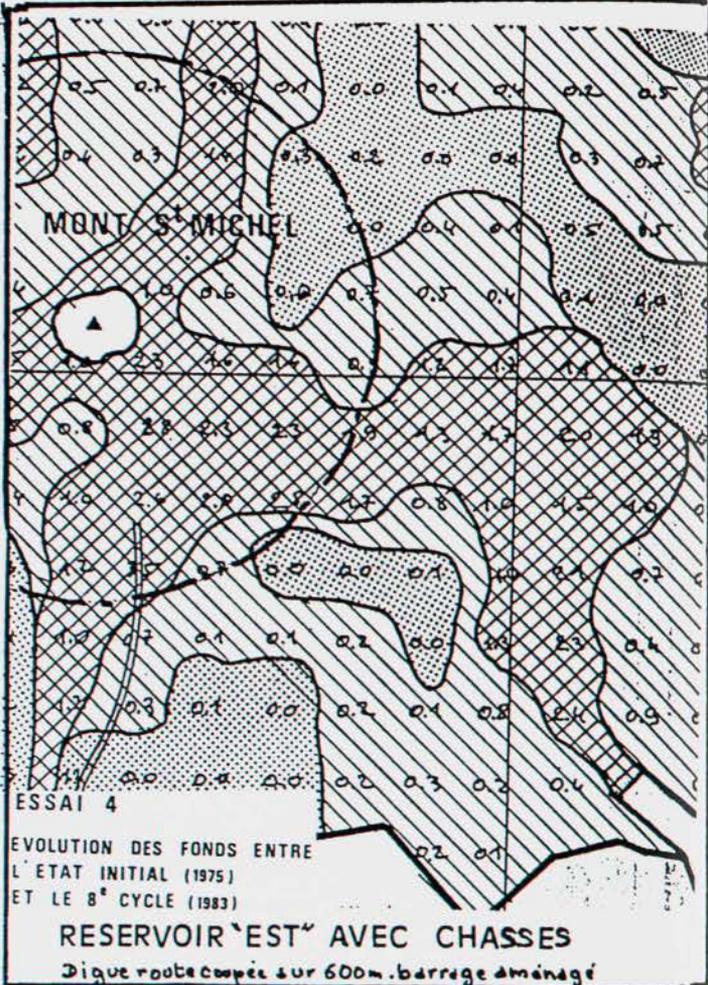
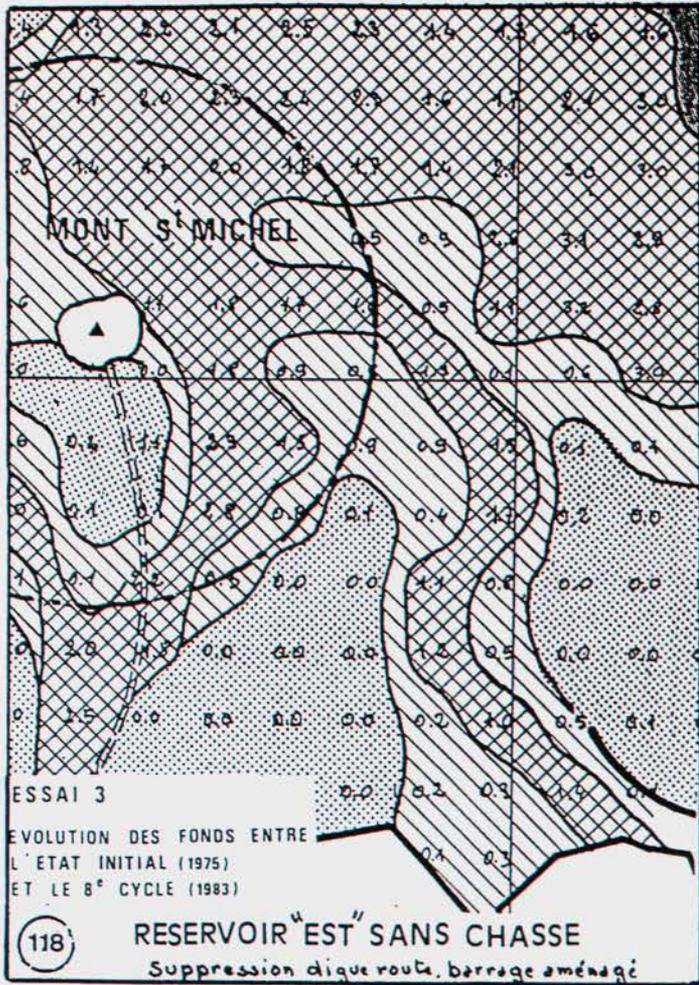
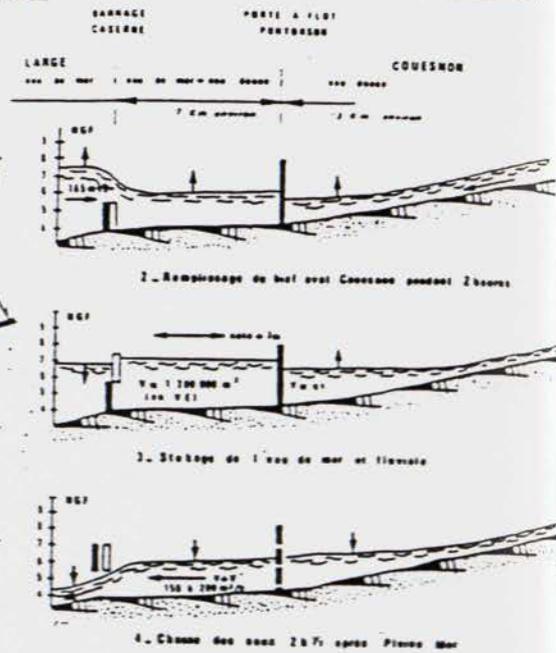
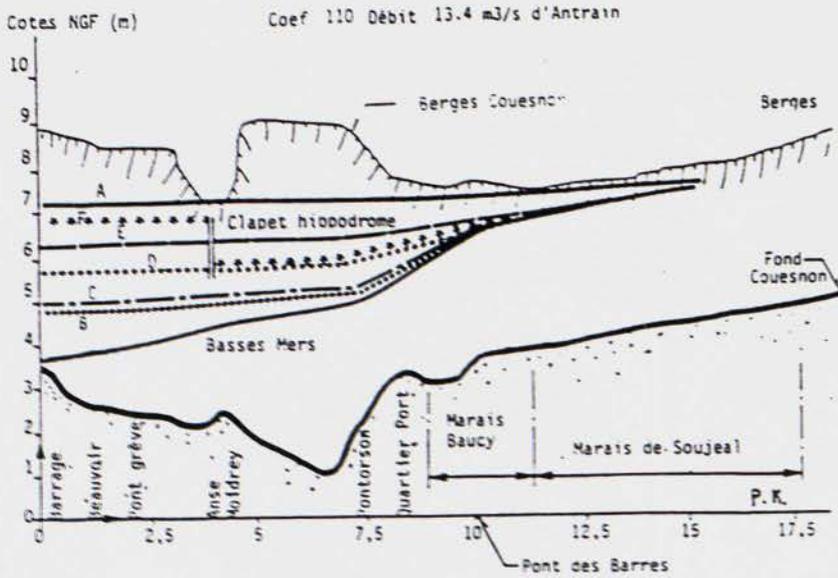


FIGURE N°120 : LIEUX DES PLEINES MERS ET DES BASSES MERS POUR DIFFÉRENTS AMÉNAGEMENTS DU COUESNON ET DÉBITS DE CHASSES AU BARRAGE

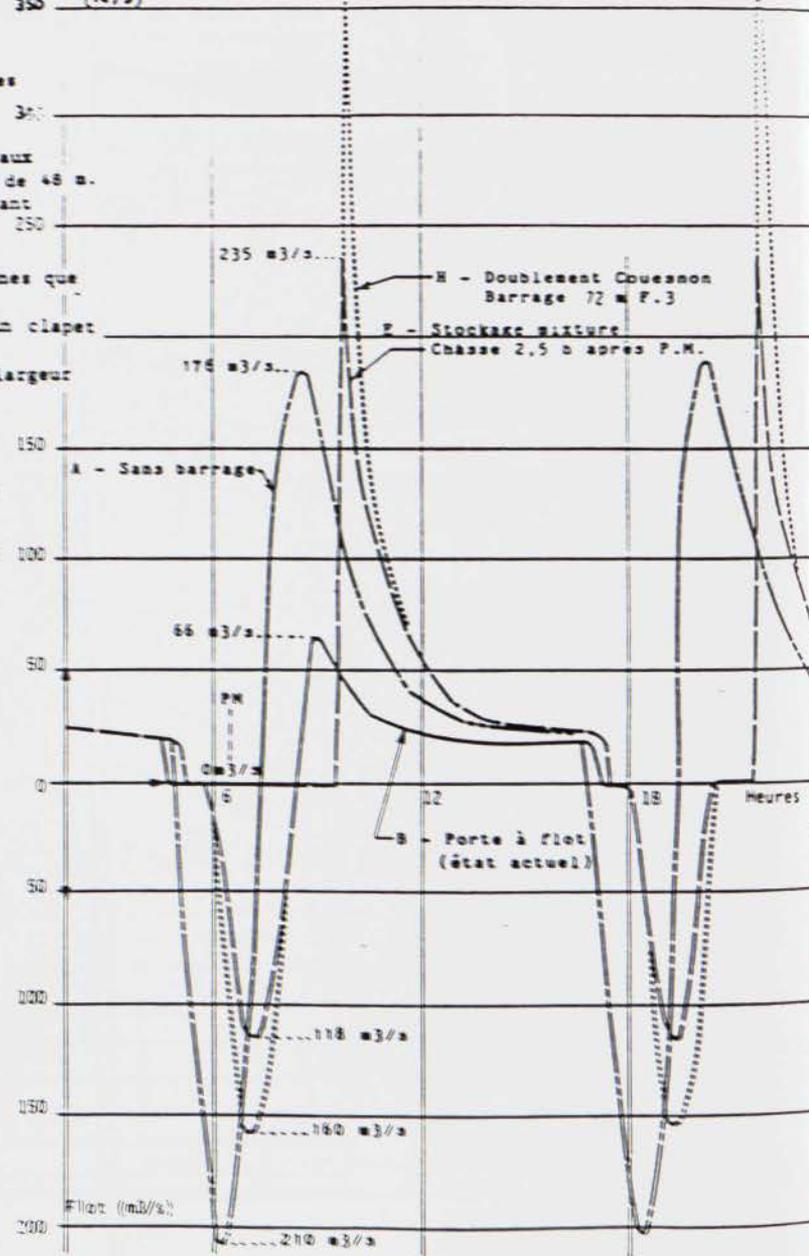
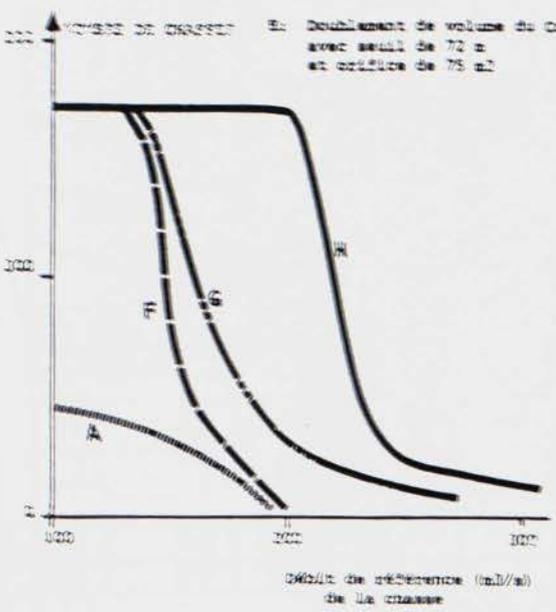
FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DE LA CASERNE



Aménagements étudiés sur modèle mathématique

- A. La situation avant 1969 sans barrage à la Caserne.
- B. La situation actuelle avec un barrage porte à flot à la Caserne de 36 m de largeur.
- C. Le stockage des eaux douces en amont du barrage de la Caserne en laissant les portes à flot fermées jusqu'à 2,5 h après pleine mer (largeur barrage 36 m utile) et en effectuant des chasses après.
- D. La réalisation d'un barrage d'accumulation des eaux de mer et des eaux douces avec une largeur utile de 48 m. Les vannes sont fermées à pleine mer ne permettant l'accumulation que d'une partie d'eau de mer et ouvertes 2,5 h après pleine mer.
- E. La même solution que D mais en ne fermant les vannes que 1 h après pleine mer.
- F. La même solution que E mais avec adjonction d'un clapet à l'hippodrome (Anse de Moidrey).
- G. La même solution que F mais avec doublement de la largeur du Couesnon
 - 1. Vase naturelle
 - 2. Solution de case
 - 3. Doublement de volume de Couesnon avec seuil de 48 m
 - 4. Doublement de volume de Couesnon avec seuil de 72 m et orifice de 75 m

Junat (Chasse) 370 m³/s... Coef. 110 - Débit 13.4 m³/s d'Antrain



V.3.2. Aménagements étudiés sur le modèle mathématique (1986-1987)

Huit aménagements différents ont été étudiés :

- La situation sans barrage (Couesnon avant 1969).
- L'état actuel avec un barrage portes à flot (situation après 1969).
- Le stockage des eaux douces en amont du barrage en laissant les portes à flot fermées jusqu'à 2 ½ heures après la pleine mer et en effectuant des chasses après.
- La réalisation d'un barrage d'accumulation des eaux de mer et des eaux douces avec un seuil d'écrêtement à la cote +6 m pour les marées de vives eaux et à +4,5 m pour les marées moyennes, fermeture des vannes à pleine mer et ouverture 2 ½ heures après (chasse).
- La même solution avec ouverture des vannes 1 heure après la pleine mer.
- La solution précédente mais avec un clapet à l'hippodrome (Anse de Moidrey) pour éviter la remontée des eaux salées au-delà.
- La même solution mais en doublant la largeur du Couesnon avec la largeur du barrage actuel (48 m).
- La même solution en portant cette largeur utile à 72 m pour faciliter l'accumulation des eaux de mer à l'amont...

V.3.3. Résultats obtenus sur le modèle mathématique (1986-1987)

La *figure 120* donne un aperçu des résultats obtenus avec ces différents ouvrages, tant pour les niveaux des pleines mers et basses mers que pour les débits susceptibles d'être obtenus au barrage au cours d'une marée de vive eau et un débit du Couesnon de 13,4 m³/s.

En crue (débit de 67 m³/s à Antrain), on constatait que le Couesnon débordait, avant réalisation du barrage, dans toute la zone de Moidrey et en amont de Pontorson où les cotes de berges étaient nettement inférieures au niveau des eaux. La réalisation du barrage a supprimé ce phénomène au droit de l'Anse de Moidrey, les marais en amont de Pontorson (Sougeal notamment) restant inondables.

Le fait de faire pénétrer la marée en vive eau et en crue en amont du barrage, conduit à nouveau, si l'on ne respecte pas une bonne gestion du barrage, à des risques de débordement de la rivière dès que le débit dépasse 15 m³/s. Pour des débits inférieurs, les risques sont pratiquement inexistantes.

Avec les dispositifs envisagés, des débits instantanés de chasses peuvent atteindre ou dépasser 200 m³/s, permettant d'obtenir un auto-dragage des fonds en aval du barrage et d'approfondir toute la zone située à l'Ouest immédiat de la digue route et du Mont Saint Michel. De tels débits sont supérieurs à ceux qui pouvaient être obtenus par marée de grande vive eau avant la construction du barrage de la Caserne (175 m³/s).

L'attention était attirée sur les possibilités offertes uniquement par le stockage des eaux douces en amont du barrage : on obtenait 260 chasses par an avec des volumes de plus de un million de m³ d'eaux douces stockées dans le Couesnon, soit pendant 24 heures durant les mois de Décembre à fin Mai ou pendant 48 heures en Juin – Juillet et Novembre. Ce volume de un million de m³ correspond à celui qui pouvait être accumulé par introduction des eaux marines pour des marées de vives eaux supérieures au coefficient 90.

Il semble bien d'ailleurs que cette possibilité de stockage des eaux douces avait été envisagée avant de réaliser le barrage en 1969, mais la conception retenue avec des portes à flot n'a pas permis de la mettre en pratique.

Dans tous les cas, le volume stocké dans le Couesnon en amont du barrage, uniquement en eau douce, reste insuffisant pour obtenir un auto-dragage satisfaisant des fonds aux abords du Mont Saint Michel et l'on doit impérativement cumuler les volumes d'eaux apportés par la marée aux volumes fluviaux pour obtenir un résultat satisfaisant pour le maintien d'un environnement maritime comme les études sur le modèle sédimentologique de 1975-1977 l'avaient montré.

V.4. SOLUTIONS « DOUCES » OU « PASSIVES » ENVISAGÉES DANS LE NOUVEAU PROJET

V.4.1. Les études et recherches effectuées de 1989 à 1995 – Un changement des conceptions d'aménagements

Les aménagements précédents, basés sur de nombreuses mesures réalisées en nature et sur des recherches très poussées à l'aide de modèles réduits physiques et mathématiques, utilisaient la puissance hydraulique disponible dans le Couesnon, et dans des réservoirs artificiels réalisés à l'Est du Mont, pour s'opposer à l'ensablement progressif des abords du Mont Saint Michel.

Les solutions proposées n'avaient pas pour but de supprimer le colmatage de la petite baie, jugé comme inéluctable, mais de maintenir et d'améliorer localement l'environnement maritime du Mont qui se dégradait au cours des temps avec un « enclavement » progressif sous la poussée continue des bancs de l'Ouest et de l'Est.

En 1989 une nouvelle cellule maîtrise d'ouvrage dirigée par J.P. MAILLARD opère une véritable conversion philosophique et quitte le domaine franchement déterministe précédent pour préconiser des solutions « douces » basées sur un plus grand respect des phénomènes naturels comme la divagation des méandres du Couesnon ou des anciens petits ruisseaux tels que la Guintre, la rivière d'Ardevon... qui débouchaient jadis à l'Est du Mont Saint Michel [26.c].

En se basant sur des mesures réalisées uniquement à proximité immédiat du Mont, des doutes sont émis sur l'interprétation des mesures effectuées antérieurement sur le terrain et en modèle réduit. Sédimentation plus faible et grande instabilité des formes deviennent donc les caractéristiques essentielles du modèle retenu pour de nouveaux aménagements et des solutions « douces » ou « passives » préconisées.

On retrouve dans ces solutions « douces » le principe de l'exploitation de chasses à partir du bassin du Couesnon sans modifications majeures du barrage actuel. Le rétablissement des anciens ruisseaux Guintre, Ardevon... reste malheureusement plus problématique car leurs débits sont négligeables et il n'est plus possible de faire remonter les eaux marines dans leurs embouchures qui ont pratiquement disparues...

Si ces recherches réalisées de 1989 à 1995 ont apporté des réflexions sur l'environnement possible du Mont, les évolutions des fonds de la petite baie constatées en nature entre 1975 et 1997 viennent confirmer la progression de l'exhaussement des fonds dans l'environnement du Mont Saint Michel et confortent les prévisions faites en 1975-1977 par les anciennes études sur modèle réduit, nécessitant d'être plus réalistes pour les travaux à réaliser en vue du maintien d'un environnement maritime aux abords du Mont Saint Michel.

V.4.2. Le nouveau projet de 1995

À la suite des réflexions et études menées de 1989 à 1994, le projet actuel contient dans le domaine hydraulique plusieurs mesures en vue du rétablissement et du maintien du caractère maritime du Mont. Elles sont du même type que celle du projet précédent des années 1975, mais avec des modalités différentes [Figure 121].

**FIGURE N°122 : ÉTAT ACTUEL DES RUISSEAUX À L'EST DU MONT
ET DE LEURS DÉBOUCHÉS DANS LA SÉLUNE ET LE COUESNON**

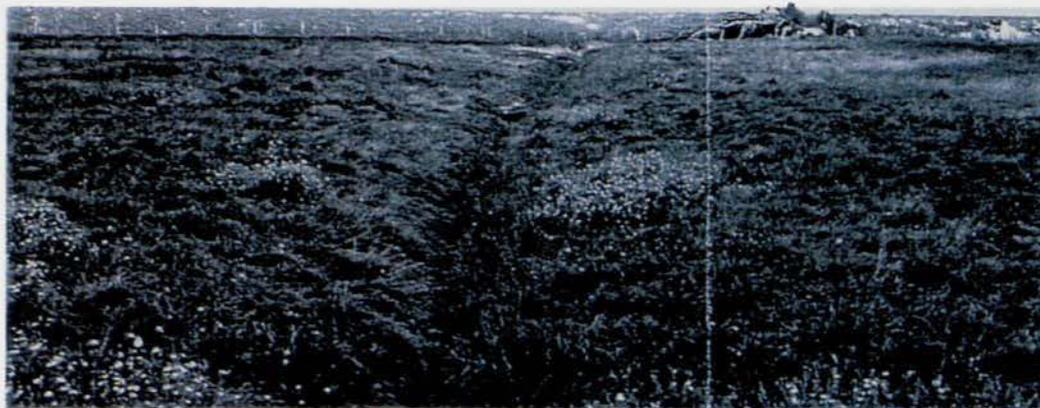
Les ruisseaux Guintre et landais ont été détournés en 1884 et 1881 pour favoriser les grèves entre la côte et la digue de la Roche-Torin.

Les aménagements à étudier consistent en un réaménagement artificiel de deux débouchés dans la baie, intitulés "landais" et "Guintre".

Le Ruisseau landais - Etat actuel



La Guintre



LE RUISSEAU D'ARDEVGN DEVIE VERS LE COUESNON

On retrouve :

- La démolition partielle de la digue route (1.000 m environ) et son remplacement par un pont passerelle d'accès.
- Une modification du barrage de la Caserne mais sous une forme plus « légère » ou « passive » : il s'agit de recréer les échanges d'eau entre la mer et le Couesnon dus aux oscillations de la marée, en provoquant des chasses dans le Couesnon afin d'évacuer les sédiments qui s'accumulent à l'Ouest du Mont.

À titre d'essais, une ou deux passes avaient été ouvertes en 1994 pour examiner les cotes susceptibles d'être atteintes en étiage dans le Couesnon (voir paragraphe IV.2.3.) et vérifier qu'il n'y avait pas de risques de dépasser la cote limite de +6,50 m I.G.N. en amont du barrage quels que soient les coefficients de marée et les débits fluviaux.

- Le rétablissement de la Guintre et du ruisseau d'Ardevon ou ruisseau « landais » en restaurant leurs débouchés dans le grand herbu à l'Est du Mont, pour le maintien de la criche existante à l'Est du Mont. Une augmentation des débits restitués par pompage des eaux dans le Couesnon ou la Sélune pourrait être associée à cette solution, mais la remontée des eaux marines dans les bassins de ces ruisseaux n'était pas envisagée.

L'esprit du « nouveau projet » n'était pas conditionné uniquement par les questions hydro-sédimentaires. Il était plus global, faisant la part du raisonnable et du déterministe. Il prend en compte le constat que les apports sédimentaires, qui avaient été exacerbés au cours des décennies précédentes par les importantes interventions humaines, aient sensiblement diminué (comme les anciennes études sur modèle le laissaient présager) ou, tout au moins, puissent se répartir différemment aux abords du Mont Saint Michel. Des solutions plus « douces » que celles imaginées précédemment devaient donc pouvoir être mises en œuvre avec succès.

V.4.3. Les remarques et suggestions soulevées par le nouveau projet

Les solutions douces envisagées par le nouveau projet présentent de nombreux avantages tant sur le plan économique que de l'environnement.

Elles évitent notamment la réalisation des grands bassins de chasses à l'Est du Mont avec, non seulement leurs difficultés de construction, mais leur entretien.

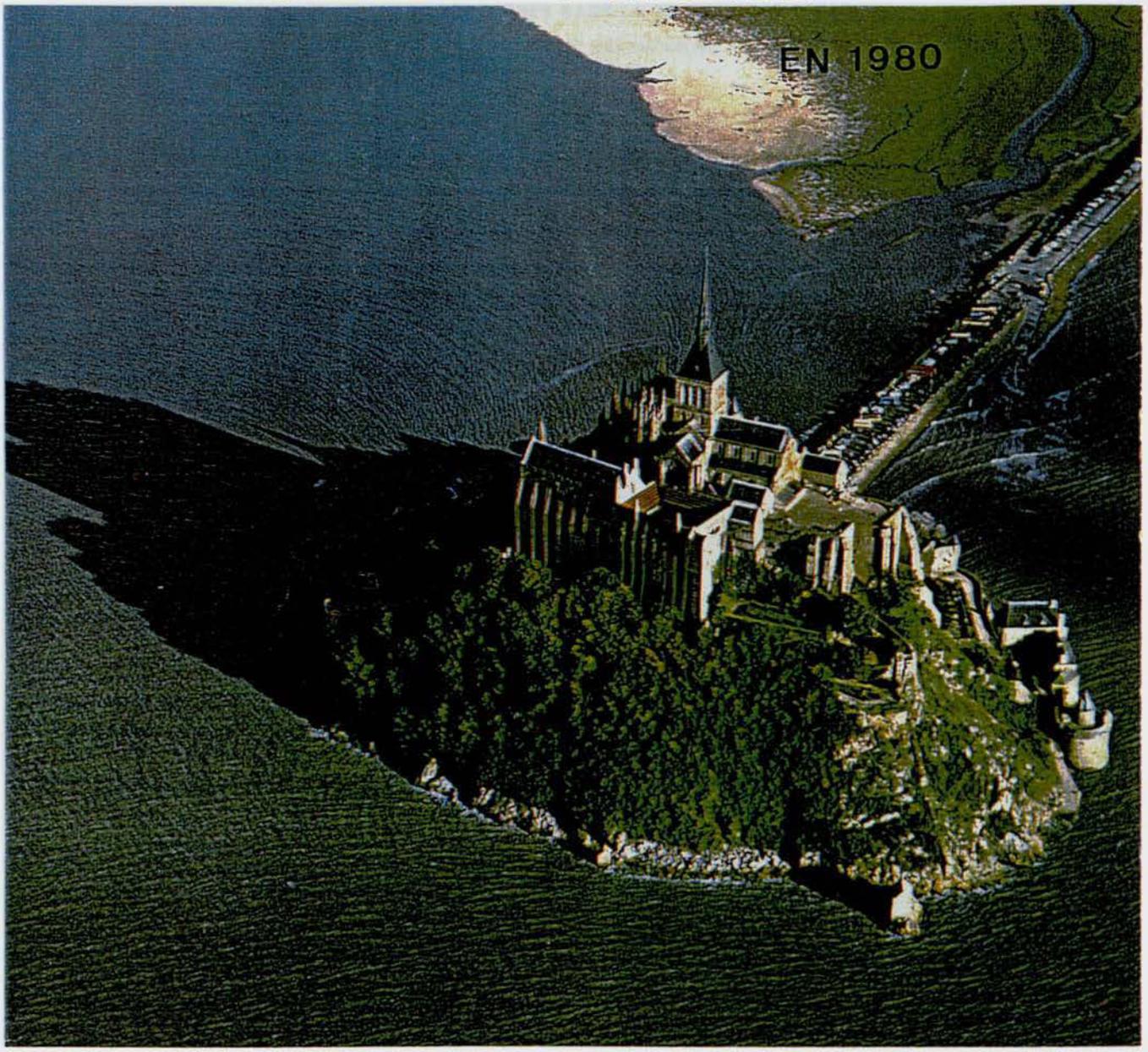
De même, le désir d'obtenir des chasses très importantes dans le Couesnon conduisaient – dans une optimisation mathématique non déduite du modèle physique sédimentologique – à réaliser un deuxième barrage en aval de Pontorson, à augmenter la largeur du lit actuel du Couesnon et par là même du barrage. Le nouveau projet se veut beaucoup plus modeste, en limitant à un strict minimum la capacité d'emmagasinement des eaux marines.

Encore faut-il que les modifications « douces » du Couesnon restent efficaces pour maintenir les profondeurs acceptables à l'Ouest du Mont, et que l'ensablement du bief amont ne soit pas préjudiciable au maintien des profondeurs ou ne conduise à des dragages d'entretien exorbitants. La nécessité d'une gestion appropriée du barrage s'impose, en prenant en compte l'ensemble des paramètres susceptibles d'agir sur l'environnement.

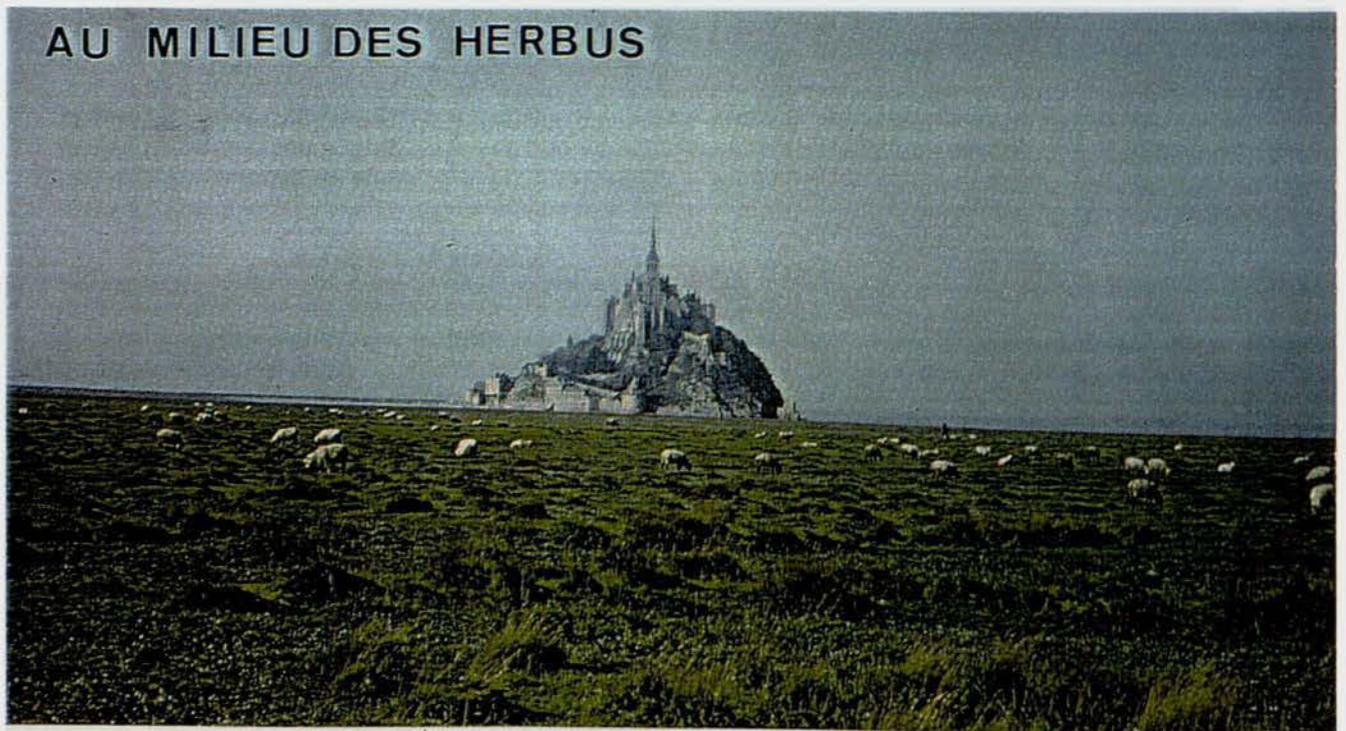
De même, le rétablissement des sorties des ruisseaux Guintre, Landais... à l'Est du Mont peut poser un réel problème pour leur efficacité sur la stabilité des criches et notamment de la criche Est. Leurs faibles débits restent un problème, et l'état actuel de leurs tracés dans les polders de l'Est, que reflètent les photographies de la *figure 122*, conduit à une certaine prudence pour leur efficacité sans le recours d'apports artificiels d'eau par pompage ou déviation des eaux du Couesnon ou de la Sélune.

LE MONT SAINT MICHEL

EN 1980



AU MILIEU DES HERBUS



VUES DU MONT SAINT MICHEL EN MILIEU MARITIME
ET EN MILIEU TERRESTRE

Pour la coupure de la digue route, les études précédentes ont montré son efficacité à condition que les fonds avoisinants puissent être maintenus – ou ramenés par écrêtement mécanique – à des cotes suffisamment basses (+4 m I.G.N. par exemple) pour permettre des échanges d'eau entre l'Ouest et l'Est en flot et entre l'Est et l'Ouest en jusant. Par ailleurs, les modifications des courants que cela entraînera au Nord du Mont doivent être soigneusement étudiées pour éviter que cette zone ne soit soumise à une nouvelle sédimentation.

Les passages d'eau, tant à l'Ouest qu'à l'Est sous la coupure de la digue route, nécessitent également une grande attention pour que certains phénomènes aléatoires ne deviennent définitifs, mettant le Mont soit rattaché au banc de l'Ouest, soit à celui de l'Est.

Toutes ces questions sur l'action des solutions « douces » trouvent déjà certaines réponses qualitatives dans les anciennes études réalisées. On ne peut toutefois les aborder sérieusement sans faire appel à des recherches spécifiques beaucoup plus poussées pour en préciser l'efficacité, et éventuellement mettre au point des solutions « douces » mais « actives » permettant de répondre au mieux au rétablissement et au maintien du caractère maritime du Mont Saint Michel.

V.4.4. Le programme d'études engagé pour mettre au point les solutions

Conscient de la difficulté du problème posé, le Chef de projet désigné pour la mise en œuvre des nouvelles solutions d'aménagement, assisté d'une Commission Scientifique réunissant des Experts mondialement connus, a engagé des études pour permettre de tester le plus rapidement possible les travaux susceptibles d'assurer la pérennité maritime des abords du Mont Saint Michel sur la base des décisions prises.

Des mesures complémentaires en nature ont été faites, des synthèses et diagnostics réalisés, des recherches à l'aide d'un modèle réduit sédimentologique engagées, ainsi que des études de détail sur le barrage.

Un modèle mathématique de l'ensemble de la grande baie doit permettre en même temps, non seulement d'apporter des précisions sur les conditions aux limites du modèle sédimentologique, mais permettre de vérifier que les travaux envisagés pour la protection de l'environnement maritime du Mont Saint Michel n'auront pas d'effets hydrauliques et sédimentologiques appréciables sur les autres parties de la baie.

Les connaissances acquises, les précisions apportées sur l'évolution actuelle de la baie, la mise au point des solutions douces envisagées, doivent permettre à brève échéance d'entreprendre les travaux d'aménagement qu'il est de plus en plus urgent de lancer, si l'on veut que le Mont Saint Michel ne perde définitivement son environnement à caractère maritime au bénéfice d'un environnement de vastes terrains envahis par les herbues [Figure 123].

Des solutions « douces » et « passives » telles que celles envisagées entre 1989 et 1994 ne seront pas suffisantes pour parvenir à des résultats efficaces pour l'amélioration des abords du Mont Saint Michel, dans une petite baie qui continue de se sédimenter, et l'on doit obligatoirement s'orienter dans des solutions « actives » formant un compromis entre les anciennes recherches réalisées en 1975-1977 et les nouvelles conceptions que l'on peut avoir pour la sauvegarde de l'environnement maritime du Mont Saint Michel.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] AUFFRET J.P. et LARSONNEUR C. La Manche orientale : carte des paléovallées – CNEXO – B.R.G.M. – Édition 1982.
- [2] BAJARD J. Figures et structures sédimentaires dans la zone intertidale de la partie orientale de la Baie du Mont Saint Michel – Revue Géographie et Géologie dynamique – Tome 8 – Phase 1 – Pages 39 – 111 – 1996.
- [3] BERTRAND M. Le Mont Saint Michel – Mémoire de maîtrise de géographie – Université de Créteil.
- [4] BONNEFILLE R. Contribution théorique et expérimentale à l'étude du régime des marées – Thèse Doctorat Université de Grenoble – 352 pages – 1968.
- [5] BONNETAIN P. Les techniques de nivellement – Institut Géographique National – Pages 77 à 89 – 1985.
- [6] BONNOT-COURTOIS Ch. Données complémentaires d'analyse des sédiments transportés et déposés à pleine mer à proximité du Mont Saint Michel – E.P.H.E. Dinard – 15 pages – Septembre 1998.
- [7] BOURCART J. et BOILLLOT G. La répartition des sédiments dans la baie du Mont Saint Michel – Revue géographique physique et géologie dynamique – n.s. volume 3, fascicule 4 – Pages 189-199 – 1966.
- [8] BOURGOIN J. Aide mémoire sur les niveaux marins extrêmes au Mont Saint Michel (note interne) – Mars 1998.
- [9] BRIGHELLI J.P. Entre ciel et mer – Le Mont Saint Michel – Découverte Gallimard Éditeur – 1987.
- [10] CALINE B. Le secteur occidental de la baie du Mont Saint Michel : morphologie, sédimentologie et cartographie de l'estran – Thèse 3^{ème} cycle – Orsay Paris-Sud – 308 pages – 1981.
- [11] CONSEIL GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES Maintien du caractère insulaire du Mont Saint Michel – Section 5 – Compte rendu de séance – 22 pages – 29 Mai 1986.
- [12] DARAGON S.A. et ANTEA Étude de faisabilité de l'aménagement du Couesnon et du rétablissement des ruisseaux – 2 livrets – Mai 1998.
- [13] D.D.E. MANCHE – Cellule maîtrise d'ouvrage (1989-1995)
- a) Rétablissement du caractère maritime du Mont Saint Michel – Objectif d'aménagement – 23 pages – 08 Août 1989.
 - b) Direction de l'architecture et de l'urbanisme – Rapport sur le rétablissement du caractère maritime de l'environnement du Mont Saint Michel, modalités de mise en œuvre – 24 pages – Janvier 1989.
 - c) Le Couesnon – Envasement du lit du fleuve – Subdivision Granville – Automne 1992.
 - d) Les « insulaires » de J.P. MAILLARD et D. DELEAZ – n° 1 à n° 23 – Rapports sur les études de l'évolution des abords du Mont Saint Michel et sur les nouvelles solutions proposées – Décembre 1989 à Décembre 1995.
 - e) Projet de rétablissement du caractère insulaire du Mont Saint Michel – 20 pages – 10 figures – J.P. MAILLARD et D. DELEAZ – Décembre 1989.
- [14] DOLET M., GIRESSSE P. et LARSONNEUR C. Sédiments et sédimentation dans la baie du Mont Saint Michel – Bulletin Société Linn Normandie 10, tome 6, pages 51-65 – 1965.
- [15] DOULCIER J. Réflexions sur le travail d'un modèle très réduit – Résultats, espoirs – Thèse Docteur Ingénieur – Université Paris XI Orsay – 420 pages – 1977.

- [16] DOULCIER J., GEFFRE P., MIGNIOT C., VIGUIER J. Le Mont Saint Michel entre terre et mer – Monuments historiques n° 3, pages 33 à 44 – 1978.
- [17] DOULCIER J., MIGNIOT C. Premier bilan des études pour le maintien maritime de l'environnement du Mont Saint Michel – Société Hydraulique de France – XV^{ème} journée Toulouse – 1978.
- [18] DOULCIER P. Le Mont Saint Michel – Le problème du caractère maritime du site – Thèse Docteur Ingénieur – Université Paris XI Orsay – 218 pages – 1977.
- [19] DURAND M.A. Étude des contraintes et des potentialités du milieu en vue de l'aménagement de l'herbu de la baie du Mont Saint Michel – Mémoire de maîtrise – Université de Rennes – 43 pages – 1978.
- [20] E.P.H.E. (Dinard) Évolution géomorphologique des herbus entre la Chapelle Sainte-Anne et la pointe de Roche Torin (C. BONNOT-COUTOIS, J. LE RHUN, J. LEVASSEUR) – 58 pages – Octobre 1997.
- [21] FERREY J.P. Interprétation des données de sondage sur la baie du Mont Saint Michel – Diplôme École des Mines – Sciences de la terre – Paris – 77 pages – 1980.
- [22] G.R.E.S.A.R.C. (Université de Caen)
- a) Étude de la houle en baie du Mont Saint Michel – 52 pages – Octobre 1997.
 - b) Étude de la turbidité en baie du Mont Saint Michel – Influence de l'agitation – 27 pages + annexes – Novembre 1997.
- [23] IFREMER
- a) Golfe normand-breton – Bilan des connaissances – CNEXO – COB – 171 pages – Juin 1981.
 - b) Étude régionale intégrée du golfe normand-breton – Hydrodynamique et sédimentologie – 1986.
- [24] L.C.H.F. (Laboratoire Central d'Hydraulique de France) Rapports sur la baie du Mont Saint Michel.
- a) Historique de l'évolution des fonds de la baie – Synthèse des phénomènes naturels – Ministère de l'Équipement et du Logement – Ministère des Affaires Culturelles – 5 tomes – 198 pages – 125 croquis – Décembre 1971.
 - b) Mesures en nature de la dynamique sédimentaire aux abords du Mont Saint Michel – Secrétariat d'État à la Culture, Ministère de l'Équipement, Ministère de la Qualité de la Vie – 3 tomes – 118 pages – 90 croquis – Avril 1977.
 - c) Modèle pilote d'ensemble – Secrétariat d'État à la mer – 39 pages – 22 croquis – 30 photos – Avril 1977.
 - d) Modèle sédimentologique : rapport général – Ministère de la Culture et de l'Environnement – 113 pages – 48 croquis – 5 annexes – Décembre 1977.
 - e) Note de synthèse sur les études sédimentologiques en modèle réduit – Ministère de la Culture et de l'Environnement – 28 pages – Octobre 1977.
 - f) Conclusions des études sédimentologiques et définition des partis d'aménagement – Insertion des ouvrages dans le site – Évaluation technique et économique – Jean DOULCIER – L.C.H.F. – Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie – 196 pages – 87 croquis – 10 plans – Octobre 1978.
 - g) Étude d'impact de la digue de la Roche Torin – Hydraulique et sédimentologique – Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie – D.D.E. Manche – 17 pages – 29 croquis – Décembre 1980.
 - h) Influence de la nature et efficacité sédimentologique du barrage du Couesnon – Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Sous-Direction de mise en valeur et de la protection des espaces – 3 tomes – 81 pages – 83 croquis – Octobre 1986.
 - i) État zéro du Couesnon et principes de solutions de compensation – Direction Départementale de l'Équipement de la Manche – L.C.H.F. – 45 pages – 5 annexes – Avril 1987.

- [25] L.C.H.F. Études golfe normand-breton.
a) Catalogue sédimentologique des côtes françaises – Service Technique Central P.M.V.N. – Côtes de la Mer du Nord et de la Manche – Baie de Seine au Mont Saint Michel – Édition Eyrolles n° 61 – 406 pages – 1986.
b) Synthèse des connaissances actuelles sur l'hydrologie et les mouvements sédimentaires dans le golfe normand-breton – 77 pages – 1982.
c) Golfe normand-breton – Étude du régime de l'agitation – Approche des agitations du large – CNEXO – COB – 59 pages – 1984.
- [26] LAFOND L.R.
a) Études littorales et estuariennes en zone intertropicale humide – Thèse Doctorat es-sciences – Université de Paris-Orsay – 406 pages – 3 tomes – Juin 1967.
b) Étude régionale intégrée du golfe normand-breton – Étude morphologique de la zone intertidale – CNEXO – E.P.H.E. – 29 pages – 1984.
c) Synthèse des études et recherches réalisées de 1989 à 1995 dans les domaines hydrologiques et sédimentologiques par la Mission Mont Saint Michel (J.P. MAILLARD) – 1997.
d) Études hydro-sédimentaires en nature – Mesures complémentaires – RIVAGES et GRESARC avec F. LEVOY – 11 pages de textes – 255 pages de figures et tableaux – Octobre 1986.
e) Résumé des acquis des mesures complémentaires de terrain – 09 Février 1998.
LAFOND L.R. – MIGNIOT C. – LECUYER P. f) Synthèse des données topographiques et géomorphologiques de 1958 à 1997 – 10 pages – 11 figures – 06 Avril 1998.
- [27] LARSONNEUR C.
a) Tidal deposits, Mont Saint Michel bays – R. Guinsburg Éd. – Springer Verlag – New York – Pages 21-30 – 1973.
b) La baie du Mont Saint Michel : un modèle de sédimentation en zone tempérée – Film 16 mm couleurs – Service Film Recherche Science – Paris 1979.
c) La baie du Mont Saint Michel – 5^{ème} Congrès Européen de sédimentologie Marseille – avec AUFFRET J.P. – 77 pages – 1984.
d) Les sédiments et leur dynamique dans la partie Nord-Est de la baie du Mont Saint Michel – Bulletin Soc. Limn. Norin 12-113 – Pages 109 à 114 – 1988.
e) La baie du Mont Saint Michel, un modèle de sédimentation en zone tempérée – Université de Caen – 85 pages – 1988.
f) La baie du Mont Saint Michel – Bulletin Institut Géologique Bassin Aquitaine Bordeaux – Pages 5 à 73 – 1989.
g) Rétablissement du caractère maritime du Mont Saint Michel – Aménagement du Couesnon – Étude d'impact – Université de Caen – D.D.E. de la Manche – 76 pages – Mai 1989.
h) Les progrès de la sédimentation en baie du Mont Saint Michel et ensablement du Mont – Bulletin Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. – Caen 96 – Pages 74 à 77 – 1989.
i) La baie du Mont Saint Michel : son histoire – Le problème de l'insularité du Mont – Géologues 97 – Pages 9 à 15 – 1992.
- [28] LECOQ A.
a) Étude des mouvements des grèves dans la baie du Mont Saint Michel – Annales PC Volume 1 – Paris 1912.
b) La question de la digue du Mont Saint Michel – Imprimerie Jacqueline Saint Lô – 64 pages – Juillet 1939.
- [29] LECUYER P.
a) Décroissance des dépôts dans la petite baie au cours du temps – Note interne – Comité de pilotage – 09 Mars 1998.
b) Analyse comparée des essais du modèle réduit physique – Chenaux estuariens et bancs sableux Sud – 22 Octobre 1998.
- [30] LEVASSEUR J.E. Des prés salés en général et de ceux de la baie du Mont Saint Michel en particulier – Rennes – Juillet 1998.
- [31] LEVOY F. et LARSONNEUR C.
a) Étude globale concernant la défense contre la mer du littoral de la Manche – Conseil Général de la Manche et Université de Caen – 63 pages – 1993.
b) Évolution et fonctionnement hydro-sédimentaire des plages macrotidales, l'exemple de la Côte Ouest du Cotentin – Thèse Doctorat Université de Caen – 424 pages – Décembre 1994.

- [38] MORZADEC M.T. Variations de la ligne de rivage armoricaine au quaternaire – Analyse pollinique des dépôts organiques littoraux – Mémoire Société Géologique Minière 17 – 208 pages – 1974.
- [39] NIKODIC J. Dynamique sédimentaire dans la partie occidentale de la baie du Mont Saint Michel : influence des installations ostréicoles – Thèse Doctorat 3^{ème} cycle – Université de Nantes – 180 pages – 1981.
- [40] PHILIPPONEAU M. La baie du Mont Saint Michel : étude de morphologie littorale – Mémoire Société Géologique et Minière de Bretagne – Tome 11 – 125 pages – 1956.
- [41] DE PREAUMONT F. Les travaux de démolition de la digue de Roche Torin – Revue Travaux n° 587 – Avril 1984.
- [42] RIVAGES Société Comparaison topographique des fonds de la baie du Mont Saint Michel de 1959 à 1997 – 62 pages – Janvier 1998.
- [43] RIVAGES et G.R.E.S.A.R.C. a) Études hydro-sédimentaires en nature – Mesures complémentaires – 255 pages – Octobre 1996.
b) Exploitation des données courantologiques et sédimentologiques et bilans sédimentaires annuels – 122 pages – Avril 1998.
- [44] ROUX P. Rapport sur les niveaux de la mer aux abords du Mont Saint Michel (Mission D.D.E.) – 34 pages + tableaux – Mars 1998.
- [45] SEGUIN J.F. a) Note sur les herbues – 4 pages – 15 Juin 1995.
b) Mont Saint Michel – La reconquête d'un site – Le Cherche Midi Éditeur – 1998.
- [46] SIMON B. Détermination des hauteurs d'eau extrêmes pour la délimitation du domaine public maritime – Annales hydrographiques – Volume 20 n° 767 – 1996.
- [47] Service Hydrographique de la Marine S.H.O.M. Les courants de marée dans la mer de la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique – n° 550 – 176 pages – 1953.
- [48] S.T.N.M.T.E. (Centre Brest) Estimation des houles annuelle, décennale et centennale – G. GOSGOEN et J. L'HER – 9 pages – Février 1998.
- [49] SOGREAH a) Étude de l'aménagement du Couesnon pour le maintien du caractère maritime aux abords du Mont Saint Michel – Synthèse des études – Évolution des conceptions d'aménagements – Direction Départementale de l'Équipement de la Manche – 58 pages – 59 figures – Octobre 1988.
b) Étude de l'influence de l'aménagement du Couesnon – Dimensionnement hydraulique et gestion de l'aménagement du Couesnon – D.D.E. Manche – Direction de l'Architecture – 21 pages – 21 figures + annexes – Mars 1989.
c) Données topographiques et géomorphologiques – Synthèse – Levés de référence en nature de 1958 – 1975 et 1997 – Mars 1998.
d) Études hydro-sédimentaires – Modèle numérique courantologique de la grande baie – Rapports de Mai à Septembre 1998.
- [50] SORNIN J.M. Processus sédimentaire et biodéposition liés à différents modes de conchylicultures – Baie de Cancale, de l'Aiguillon, de Marennes – Thèse Doctorat 3^{ème} cycle – Université de Nantes – 188 pages – 1981.
- [51] VALLET D. – LARSONNEUR C. AUFFRET J.P. Carte des sédiments superficiels de la Manche au 1/500.000^{ème} – B.R.G.M. Orléans – 1979.
- [52] VERGER F. Marais et wadden du littoral français – Thèse Doctorat Paris – Imprimerie Biscaie Bordeaux – 541 pages – 1968.

LISTE DES FIGURES

Légendes du XV^{ème} siècle montrant le Mont entouré d'eau

- Figure 1..... ✓ La grande baie et la petite baie du Mont Saint Michel
✓ Bathymétrie au large et dans la grande baie
✓ Anciens chenaux du Couesnon et de la Sée – Sélune
- Figure 2..... Variation du niveau marin au cours de l'holocène (~ 10.000 ans B.P.)
- Figure 3..... Épaisseur des dépôts sédimentaires meubles dans la baie
- Figure 4..... Répartition des dépôts flandriens
- Figure 5..... Carte schématique de 1705 de N. de Fer
- Figure 6..... Carte de Cassini de 1745
- Figure 7.A. Divagations des crues de la Sée et Sélune de 1851 à 1970
- Figure 7.B. Divagations du Couesnon de 1805 à 1995
- Figure 8..... Interventions humaines avant et après 1856
- Figure 9..... Poldérisation à l'Ouest du Mont Saint Michel
- Figure 10..... Évolution des polders et des herbus à l'Ouest du Mont
- Figure 11..... Évolution des dépôts à l'Est du Mont Saint Michel
- Figure 12..... Digue d'accès au Mont – Profils en travers des terrains limitrophes
- Figure 13..... Évolution du niveau des grèves au Sud-Est du Mont
- Figure 14..... Schéma du barrage de la Caserne
- Figure 15..... Profils en travers du Couesnon en aval et en amont du barrage
- Figure 16..... Réduction de la capacité d'emmagasinement du Couesnon de 1863 à 1989 – Influence sur les profondeurs du chenal en aval de la Caserne
- Figure 17.A.B. Photographies I.G.N. de 1948 – 1980 – 1986 et 1995
- Figure 18.A.B. La petite baie en 1975 – Profils en travers
- Figure 19..... Fonds de la petite baie en 1958
- Figure 20..... Fonds de la petite baie en 1975
- Figure 21..... Fonds de la petite baie en 1997
- Figure 22..... Évolution des fonds entre 1958 et 1975
- Figure 23..... Évolution des fonds entre 1958 et 1997

- Figure 24..... Variation des surfaces délimitées par les différentes lignes de niveau en 1958 et 1997 et des volumes d'eau oscillants pénétrant et sortant de la petite baie
- Figure 25..... Évolution des fonds aux abords immédiats du Mont
- Figure 26..... Capacités d'emmagasinement des eaux (Veo) aux abords du Mont
- Figure 27..... Évolution des herbus (E.P.H.E.)
- Figure 28..... Géomorphologie de l'estran en 1996
- Figure 29..... Importance du banc de l'Ouest avec son avancée vers l'Est
- Figure 30..... Évolution de la criche Est et de l'Ouest immédiat du Mont
- Figure 31..... Évolution des superficies de la criche Est et du secteur Ouest entre 1947 et 1995
- Figure 32.A.B.C. ... Photographies du Couesnon après réalisation du barrage en 1969
- Figure 33..... Orientations du Couesnon en aval du barrage avant et après construction du barrage
- Figure 34..... Érosion du chenal du Couesnon au cours d'une crue
- Figure 35..... Influence de l'arasement de la digue de Roche Torin
- Figure 36..... Les ruisseaux Guintre et Landais
- Figure 37..... Répartition des vents à l'entrée de la grande baie
- Figure 38..... La marée dans le golfe normand-breton
- Figure 39..... Répartition du bilan énergétique pénétrant dans la Manche et le golfe normand-breton
- Figure 40..... La marée dans la baie du Mont Saint Michel (mesures L.C.H.F. de 1975)
- Figure 41..... Les pleines mers dans la baie en fonction des coefficients de marée (L.C.H.F. 1975)
- Figure 42..... Répartition des mesures des pleines mers en 1996/1997 (Mission Mont Saint Michel) et de 1975 (L.C.H.F.) et nombre d'heures d'immersion des fonds pour différents niveaux de la marée (1975)
- Figure 43..... Hauteurs des pleines mers mesurées au Mont Saint Michel par rapport aux pleines mers de Saint-Malo
- Figure 44..... Nombre d'heures d'immersion par la marée au-dessus d'une cote déterminée (en I.G.N.)
- Figure 45..... Probabilités de durée de retour R des surcotes à Saint-Malo
- Figure 46..... Différences entre les niveaux d'eau observés de part et d'autre de la digue route en 1975
- Figure 47..... Les courants de marée dans le golfe normand-breton
- Figure 48..... Les courants dans la grande baie d'après le modèle numérique (fonds de 1975)
- Figure 49..... Détail des courants dans la petite baie (fonds de 1975)
- Figure 50..... Courants dans l'état des fonds de 1997
- Figure 51..... Détail des courants aux abords du Mont (fonds 1997)
- Figure 52..... Courbes des vitesses dans le Couesnon en vive eau (fonds 1997)

- Figure 53..... Points de mesures des courants dans la baie en 1971-1975 (L.C.H.F.)
- Figure 54..... Roses des courants à l'entrée de la grande et de la petite baie
- Figure 55..... Trajectoires des courants en 1975
- Figure 56..... Répartition des vitesses dans le Couesnon à l'arrivée du flot
- Figure 57..... Vitesses et volumes oscillants dans la Sée et la Sélune
- Figure 58..... Les houles au large et à l'entrée de la grande baie
- Figure 59..... Houles au Minquiers – Répartition et probabilité
- Figure 60..... Houles à l'entrée de la baie et du Mont Saint Michel
- Figure 61..... Relation entre la vitesse du vent à Cancale et la hauteur des houles au Mont Saint Michel
- Figure 62..... Bassins versants des rivières Sée – Sélune et Couesnon
- Figure 63..... Courbe hypsométrique du bassin du Couesnon
- Figure 64..... Répartition des débits mensuels du Couesnon à Romazy
- Figure 65..... Débits spécifiques maximaux journaliers en Bretagne, en fonction de la superficie des bassins versants
- Figure 66..... Propagation de la marée dans le Couesnon et débits à la Caserne avant et après construction du barrage
- Figure 67..... Les sédiments dans le golfe normand-breton
- Figure 68..... Granulométrie des sédiments dans la baie du Mont Saint Michel
- Figure 69..... Diamètres moyens et pourcentage de calcaire dans les sédiments
- Figure 70..... Tangues et herbus dans la baie du Mont Saint Michel
- Figure 71..... Débit solide des sables transportés par les courants
- Figure 72..... Analyse des sédiments transportés et déposés à proximité du Mont
- Figure 73..... Comparaison des rigidités des « tangues » avec les vases marines argileuses
- Figure 74..... Vitesses critiques d'érosion des tangues
- Figure 75..... Mesures des vitesses et turbidités dans la petite baie (1975)
- Figure 76..... Répartition des turbidités moyennes en fonction de la vitesse des courants
- Figure 77..... Capacité des transports des sédiments pour différents coefficients de marées
- Figure 78..... Débits liquides et solides à l'entrée de la petite baie (1975)
- Figure 79..... Répartition des débits pénétrant et sortant de la petite baie (modèle numérique)
- Figure 80..... Bilan de transport en vive eau en différents points de la petite baie
- Figure 81..... Transport par charriage (traceurs radioactifs)

- Figure 82..... Influence des houles sur la turbidité des eaux
- Figure 83..... Nature des sédiments transportés en suspension, influence de la vitesse des courants
- Figure 84..... Profils en long et profils en travers du Couesnon – Loi de variation des sections
- Figure 85..... Variation de la turbidité des eaux dans le Couesnon et dans le chenal de la Sée – Sélune en 1975
- Figure 86.A.B..... Turbidité des eaux dans le Couesnon à 200 m et à 1.850 m en aval du barrage en 1996 (barrage fermé)
- Figure 87..... Mesures des cotes d'eau en aval et en amont du barrage (Beauvoir) avec une porte à flot ouverte
- Figure 88..... Variation des turbidités moyennes des eaux à l'aval du barrage avec une porte à flot ouverte en permanence
- Figure 89..... Variation des turbidités à l'amont du barrage avec une porte à flot ouverte
- Figure 90..... Schéma des phénomènes hydrauliques agissant sur le maintien de l'embouchure de l'estuaire du Couesnon et des criches
- Figure 91..... Dépôts entre Tombelaine et Roche Torin – La zone « estuarienne » de la Sée – Sélune et celle du Couesnon
- Figure 92..... Schéma du modèle réduit du L.C.H.F. en 1975
- Figure 93..... Comparaison des courants mesurés en nature et sur le modèle
- Figure 94..... Comparaison des fonds obtenus sur le modèle en 1975 et en nature
- Figure 95..... Évolution du profil en long du Couesnon et comparaison des mouvements des sables et nacre en charriage
- Figure 96..... États des fonds obtenus sur le modèle après 16 cycles annuels (1958-1975)
- Figure 97..... Évolution des fonds sur l'ancien modèle entre 1958 et 1975 et entre 1975 et 1991
- Figure 98..... Évolution des « herbus » sur le modèle (+5 et +6 m) entre 1958 et 1991
- Figure 99..... Évolution des herbus en nature en 1997
- Figure 100..... Comparaison des divagations des rivières sur le modèle L.C.H.F. et en nature
- Figure 101..... Modifications des chenaux de flot et de jusant sur le modèle – Apparition de « tallards »
- Figure 102..... Influence de l'arasement de la digue de Roche Torin sur le modèle de 1975 et constatation en nature en 1996
- Figure 103..... Les fonds du modèle en 1991 aux abords du Mont
- Figure 104..... Influence de la suppression du barrage de la Caserne et de la digue route
- Figure 105..... Lieux des pleines mers et des basses mers dans le Couesnon (modèle mathématique de 1980)
- Figure 106..... Influence du barrage aménagé et de la suppression de la totalité de la digue route
- Figure 107..... Aménagement du barrage sans coupure de la digue route
- Figure 108..... Aménagement du barrage et de réservoirs à l'Est avec et sans coupure de la digue route

- Figure 109..... Photographies du modèle montrant les fonds aux abords du Mont avec et sans coupure de la digue route
- Figure 110..... Passage du Couesnon à l'Est de la digue route après coupure
- Figure 111..... Influence de la coupure de la digue route sur 600 m
- Figure 112..... Coupure de la digue route sur 600 m
- Figure 113..... Coupure de la digue route sur 450 m
- Figure 114..... Érosion des fonds après 8 cycles (1975-1983) – Influence des différents aménagements
- Figure 115..... Comparaison des fonds à la fin du siècle sans aménagement et avec aménagement
- Figure 116..... Zones recouvertes par les marées à la fin du siècle sans aménagement et avec aménagement
- Figure 117..... Influence des différents aménagements sur l'évolution des fonds aux abords du Mont Saint Michel (tangue et état de référence)
- Figure 118..... Influence des différents aménagements sur l'évolution des fonds aux abords du Mont Saint Michel (essais 1 à 7)
- Figure 119..... Le projet d'aménagement du Couesnon en 1987
- Figure 120..... Aménagements du Couesnon – Lieux des pleines mers et débits à la Caserne avec différents aménagements
- Figure 121..... Le nouveau projet de 1995 – Solutions « douces »
- Figure 122..... L'état actuel des ruisseaux Landais – Guintre et Ardevon
- Figure 123..... Le Mont Saint Michel au milieu des eaux ou au milieu de la terre – Un choix à faire

