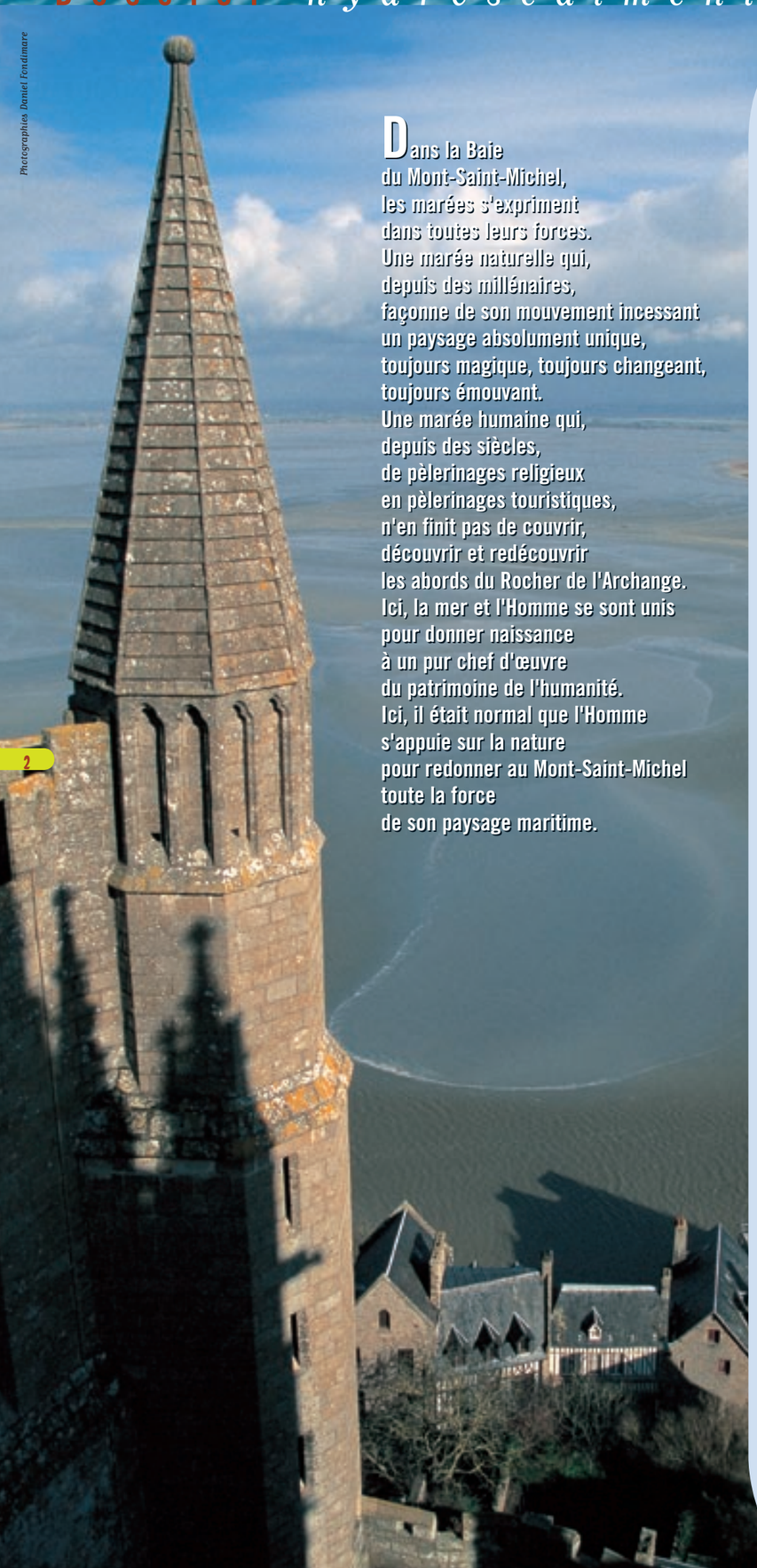
Dossier hydrosédimentaire

Supplément au Journal de l'opération / La Baie / mars 2001

Les études hydrosédimentaires : démarche et solutions

Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel



Photographies Daniel Fondimare

Dans la Baie du Mont-Saint-Michel, les marées s'expriment dans toutes leurs forces. Une marée naturelle qui, depuis des millénaires, façonne de son mouvement incessant un paysage absolument unique, toujours magique, toujours changeant, toujours émouvant. Une marée humaine qui, depuis des siècles, de pèlerinages religieux en pèlerinages touristiques, n'en finit pas de couvrir, découvrir et redécouvrir les abords du Rocher de l'Archange. Ici, la mer et l'Homme se sont unis pour donner naissance à un pur chef d'œuvre du patrimoine de l'humanité. Ici, il était normal que l'Homme s'appuie sur la nature pour redonner au Mont-Saint-Michel toute la force de son paysage maritime.

Agir pour restaurer le Mont-Saint-Michel dans toute sa splendeur 3

Le Mont-Saint-Michel perd son caractère maritime

- Un ensablement dû à la nature… 4-5
- …accéléré par des interventions humaines 6-7

A la recherche d'une solution pour sauver Le Mont-Saint-Michel 8-9

- 4 modèles pour 1 étude 10
- L'essai de référence 11
- Une recherche par étapes : les essais courts 12-13
- Barrage sur le Couesnon : optimisation réussie 14-15
- Un futur respectueux des activités de l'homme dans la Baie 16/17
- Une solution durable… …sans incidence sur la petite Baie 18-19

Le Mont-Saint-Michel retrouve son caractère maritime

- Vue sur les aménagements hydrauliques 20-21
- Un paysage maritime 22
- L'esprit de la traversée 23

Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel

Syndicat mixte pour le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel

Abbaye aux Dames - Place Reine Mathilde
B.P. 523 - 14 035 Caen Cedex

Directeur de la publication
Pascal Faton

Rédaction
Renaud Alberny - Claire Montémont
avec la mission Mont-Saint-Michel

Photographies et maquette : Daniel Fondimare

Cartographie : Anne Chappuis

Impression Imprimerie Moderne de l'Est / Photogravure 4 Images

Dépôt légal à parution - I.S.S.N. 1283-8136

Dossier hydrosédimentaire

Agir pour restaurer le Mont-Saint-Michel dans toute sa splendeur

Comme toutes les baies, la Baie du Mont-Saint-Michel s'ensable. Ce phénomène naturel a été accentué par les aménagements réalisés par l'homme au cours des siècles passés. Décidés à ne plus laisser la situation se dégrader ainsi, l'Etat et les collectivités territoriales ont formé le projet de rétablir le caractère maritime du Mont, de laisser les marées baigner ses grèves, de limiter la progression des herbus qui, peu à peu, l'emprisonnent... tout en améliorant les conditions d'accueil et d'approche des visiteurs.

Ce supplément au journal La Baie, vous présente la démarche scientifique ambitieuse menée entre 1995 et 1999 sur l'hydosédimentaire pour trouver des solutions pérennes, respectueuses de la nature et du paysage.

Se donner les moyens de cette ambition

Un diagnostic précis

À partir des connaissances déjà acquises, des levés complémentaires, des modélisations mathématiques et physiques ont permis de connaître les évolutions des fonds dans le passé et de prévoir leur devenir, en l'absence de tout aménagement.
Une fois cet "état des lieux" effectué, les aménagements nécessaires ont été progressivement mis au point et leurs effets examinés.

Une grande rigueur scientifique

Une "commission scientifique" a été mise en place, afin d'apporter son expertise aux problèmes posés par le projet en matière hydrosédimentaire et d'examiner les solutions envisagées.
Regroupant une équipe d'experts internationaux, elle s'est réunie régulièrement tandis que se déroulaient les études. Les résultats des essais tiennent compte des observations, remarques et demandes qu'elle a formulées.

La compétence d'un laboratoire reconnu

Afin de trouver les solutions permettant de réaliser le projet et d'analyser leurs impacts, il a été décidé de confier à un laboratoire spécialisé le soin de réaliser une étude hydrosédimentaire sur modèles. Après un appel d'offre européen, SOGREAH Consultants, une société spécialisée dans les techniques de l'hydraulique et de l'environnement appliquées aux projets d'aménagements, a été choisie.

Une parfaite collaboration

Les services de l'Etat, les collectivités territoriales regroupées autour du Syndicat mixte, la Direction Départementale de l'Equipement-Mission Mont-Saint-Michel et l'ensemble des intervenants scientifiques et techniques conjuguent leurs efforts dans une indispensable collaboration.

Le Mont-Saint-Michel perd son caractère maritime

Un ensablement dû à la nature

Sous l'effet des marées, une importante quantité de sédiments se dépose naturellement dans la Baie dont le comblement progressif limite les divagations des fleuves débouchant dans l'estuaire. Du coup, ceux-ci ne peuvent plus répartir la sédimentation qui s'accumule toujours au même endroit. Poldérisation, endiguement, canalisation, barrage du Couesnon... toutes ces interventions humaines ont amplifié ce phénomène.

Le rôle des fleuves de l'estuaire

Trois fleuves - la Sée, la Sélune et le Couesnon - débouchent dans la Baie où ils divaguent sur la faible pente de l'estran. Leurs courants creusent des chenaux, provoquant une érosion locale sans commune mesure avec le phénomène global de sédimentation.

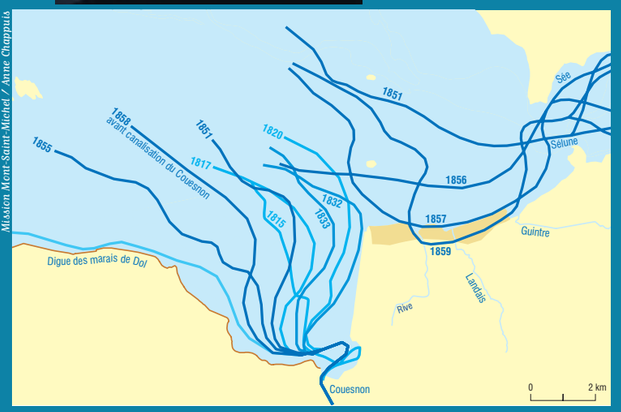
Rémi Rouillier

A l'arrivée de la marée, un mascaret se forme dans les chenaux des fleuves

L'effet marée

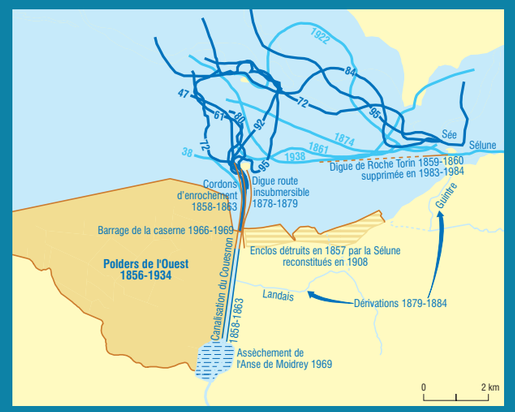
Première cause de l'ensablement d'une Baie : la marée. Avec le flot - le courant de marée montante - arrivent des sédiments que la mer dépose avant de se retirer. Le flot étant plus puissant que le jusant - le courant de marée descendante - quantité de particules charriées sont abandonnées là.
Située au 4ème rang mondial par l'amplitude de ses marées, la Baie du Mont-Saint-Michel est particulièrement sujette à ce phénomène. Lors d'une marée d'amplitude moyenne, quelques 4 milliards de m³ d'eau, s'engouffrent dans la seule petite petite Baie. Chaque année, marée après marée, environ 700.000 m³ de sédiments y sont ainsi déposés.

Mission Mont-Saint-Michel / Anne Chappuis



1805 /1859 : les 3 fleuves divaguent librement

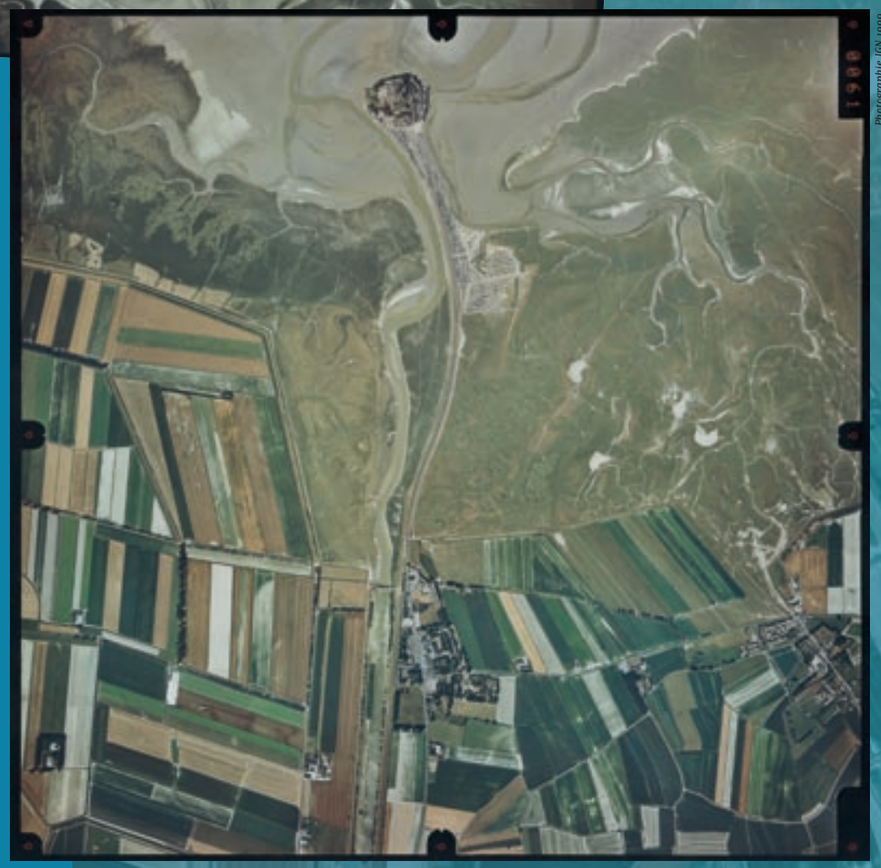
Jusqu'à la seconde moitié du XIXème siècle, le Couesnon divaguait tant qu'il était une cause de soucis constants pour la protection des rivages bretons, tandis que la côte normande se trouvait sous la menace de la Sée et de la Sélune. Pour protéger les terres poldérisées, les hommes ont, à partir des années 1850, entrepris des travaux d'aménagement destinés à limiter les divagations trop importantes de ces fleuves.



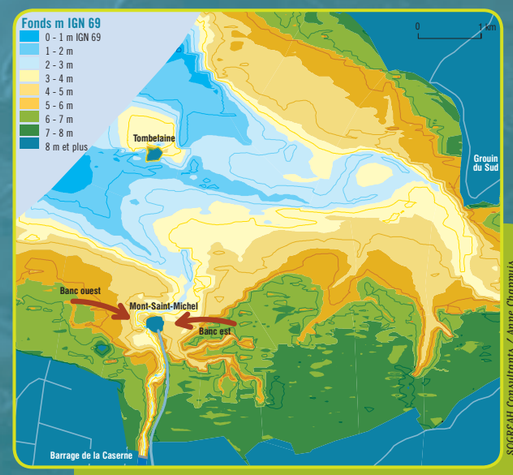
1860/1995 : le Couesnon divague faiblement

Entre 1858 et 1863, pour ne pas entraver la poldérisation à l'Ouest de la Baie, le Couesnon a été canalisé jusqu'au Nord du Mont. Aux alentours de 1960, il a commencé à quitter ses cordons d'enrochements qui disparaissaient peu à peu sous l'effet de la sédimentation. Depuis, ayant perdu une grande partie de sa puissance hydraulique après la construction du barrage de la Caserne (1969), il s'est progressivement orienté vers l'Est.

L'étude sur photographies aériennes depuis 1947 permet d'estimer la progression du front des herbus d'environ 20 ha par an.
Au droit des polders situés à l'Ouest, là où le Couesnon divaguait avant l'intervention humaine la plus significative, les superficies sont encore plus grandes.
A l'Est du Mont-Saint-Michel, les herbus progressent aussi, protégés par la digue-route.



Photographie IGN 1999



SOGREAH Consultants / Anne Chappuis

Plus l'ensablement progresse et plus les fonds montent. Plus ils montent et moins ils sont baignés par les marées. La colonisation par les herbus peut alors commencer.
Le levé topographique effectué par l'IGN en 1997 permet de constater que ceux-ci apparaissent approximativement à une cote de + 6m, d'où le code de couleur utilisé. Occupant désormais tout le pourtour de la Baie, ils viennent enserrer le Mont.
Entre 1958 et 1997, tandis que 27 millions de m³ de sédiments s'accumulaient dans la petite Baie, la surface recouverte par les herbus a augmenté d'environ 1.000 ha.

La tangue

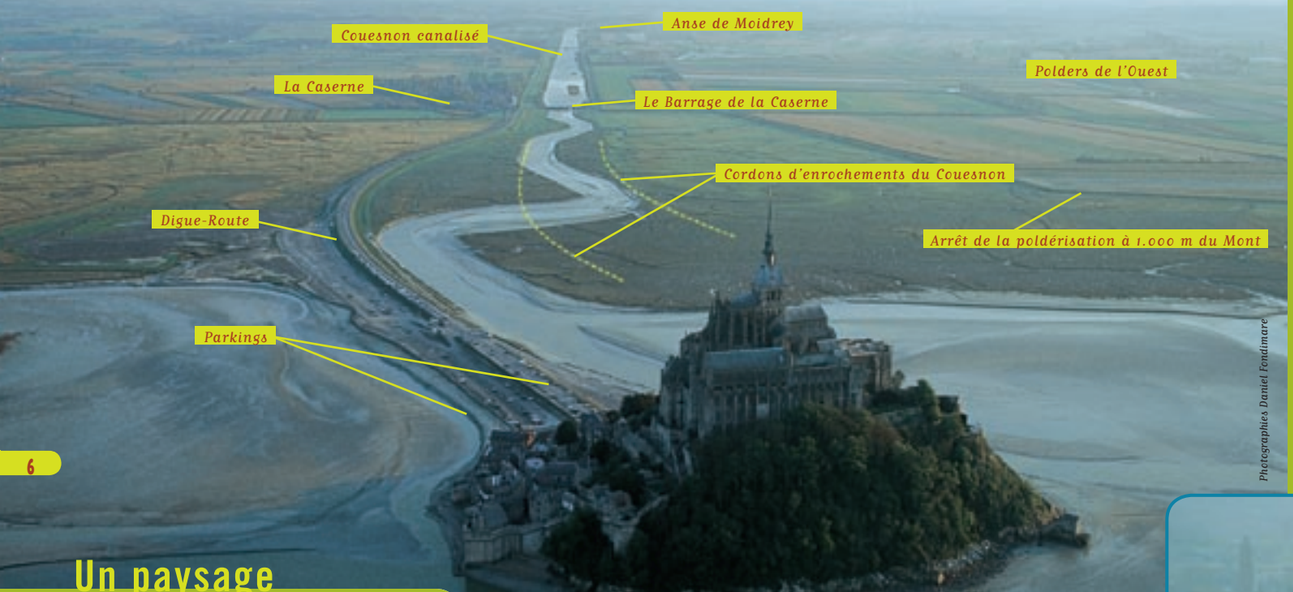
Sorte de sable très fin de couleur gris-argent. Constituée en majorité de débris de coquilles, elle s'accroche aux parties hautes de la petite Baie. Elle possède la faculté de se densifier naturellement jusqu'à devenir rigide mais, dans certaines conditions, elle peut se reliquéfier et perdre toute résistance. Conséquence de cette propriété : les sables mouvants de la Baie.

Les herbus

Végétation particulièrement adaptée au milieu salin. Appelés également prés-salés, ils sont indispensables à l'équilibre de l'écosystème de la Baie. Leurs racines - en augmentant la cohésion des sols - et leurs tiges - en piégeant les fines particules - accélèrent la sédimentation.

Un ensablement accéléré par des interventions humaines

Endiguements, canalisation et barrage sur le Couesnon... tous ces aménagements ont eu pour effet de limiter la divagation des fleuves, d'accumuler les sédiments et de développer les herbus. Autour du Rocher de l'Archange, la situation s'aggrave... Le Mont-Saint-Michel, avec l'inexorable progression des herbus dans la Baie, le prolongement du continent par la digue-route et l'installation des voitures à ses pieds, perd son caractère maritime au profit d'un caractère plus terrestre.



Photographies Daniel Fondimaré

Un paysage qui se fige

Depuis le XIXème siècle, les interventions humaines ont considérablement modifié l'environnement du Mont. Combinées à la sédimentation naturelle due aux marées, elles ont contribué à figer un paysage, autrefois perpétuellement remodelé par les marées et les fleuves.

Le projet d'aménagement de la Baie de Quinette de la Hogue en 1769

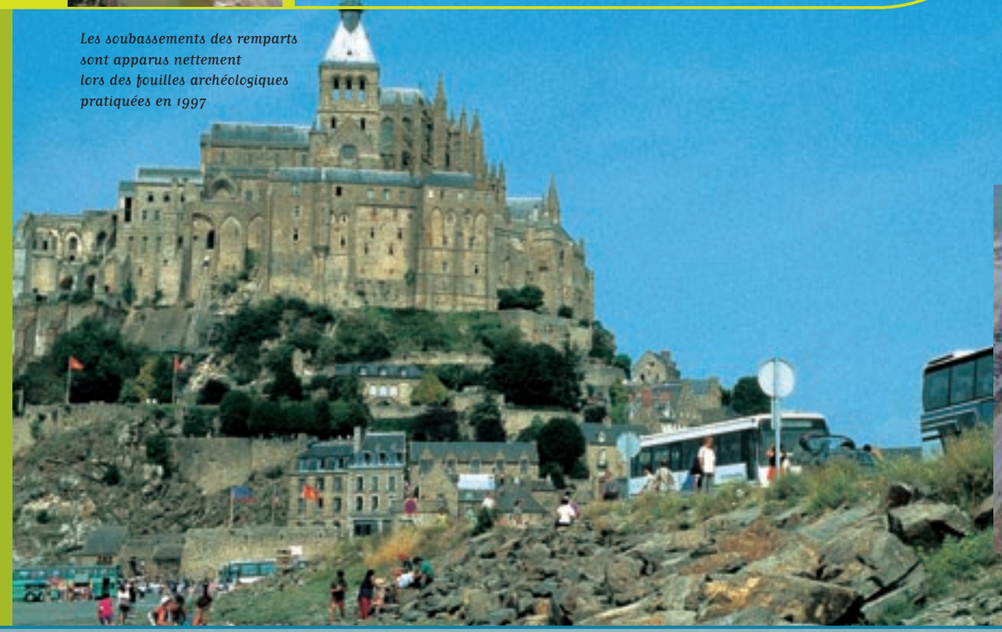
Les polders

Endiguement et assèchement de la zone littorale permettant de conquérir de riches terres agricoles, la poldérisation d'une partie de la Baie n'a été efficacement entamée qu'à partir de la seconde moitié du XIXème, avec pour conséquence de rapprocher la ligne de côte du Mont. Une digue-route insubmersible le raccroche au Continent.
Au début du XXème, l'administration des Beaux-Arts a racheté le droit de poldérisation dans un cercle de 1 Km de rayon autour du Rocher, stoppant ainsi la conquête des grèves par l'homme.

Les remparts ensablés

Sous l'effet conjugué de la digue-route et de l'ensablement, les remparts du Mont-Saint-Michel ont perdu de leur superbe. Aujourd'hui, leurs soubassements sont enfouis sous 2 mètres de sable de plus qu'au XIXème siècle. Au niveau de la digue-route, ils ont perdu la moitié de leur hauteur.

Les soubassements des remparts sont apparus nettement lors des fouilles archéologiques pratiquées en 1997



Accumulation massives de sédiments, installation progressive des herbus : le stationnement des véhicules à proximité même du monument devient possible. L'image du site en est profondément modifiée.

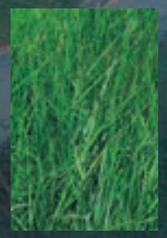
Le Couesnon ne joue plus son rôle de bassin de chasse

Dernier acte de la poldérisation dans la Baie (1969), le barrage sur le Couesnon a été construit pour protéger et valoriser les rives en amont du fleuve. Ses portes à flot se ferment à marée montante.

Avant sa réalisation, un volume de plus d'1 million de m^3 d'eau remontait au flot puis venait balayer les grèves jusqu'au Mont au jusant. Privé de cette puissance hydraulique, le fleuve ne joue plus son rôle de bassin de chasse.

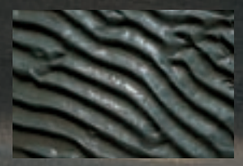
Les dépôts de sédiments à l'aval forment une barrière de plusieurs mètres d'épaisseur. Le canal du Couesnon (100 mètres de largeur) est étranglé par le barrage (36 mètres d'ouverture). A l'aval et jusqu'au Mont, la végétation impose une forte présence visuelle dans le paysage ; le Couesnon serpente faiblement au milieu des herbus.

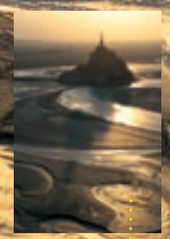
A la recherche d'une solution pour sauver le Mont-Saint-Michel



S'opposer à l'ensablement naturel de la Baie n'est pas envisageable à l'échelle de l'homme. Cependant, il est possible d'effacer les aménagements qui ont provoqué les effets les plus indésirables. De cette façon, les forces naturelles de la marée et du Couesnon, figées par la poldérisation, pourront à nouveau intervenir.

Photographies Daniel Fondimare





Les essais sur modèles en laboratoire ont permis de dégager progressivement des solutions pour recréer aux abords du Mont cet environnement naturel de grèves constamment redessinées par les marées, qui constituent le paysage maritime et mouvant de la Baie.

Nous vous proposons de suivre les étapes principales de cette recherche qui s'articule autour de deux axes majeurs : coupure de l'actuelle digue-route sur près de 1.000 m et restauration de la puissance hydraulique du Couesnon par un réaménagement de son barrage.

Les remises en eau du Ruisseau Landais et de la Guintre, initialement prévues dans le projet de 1995, ont été abandonnées dès les premières modélisations. Les puissances de chasse offertes par ces petits cours d'eau déviés au XIXème siècle, étaient largement insuffisantes pour parvenir à maintenir en eau les chenaux situés dans les herbus à l'Est du Mont.

© Thuillier/REA

Quatre modèles pour une étude

Pour remplir sa mission, la SOGREAH a mis en œuvre 4 modèles différents, chacun fonctionnant en interactivité avec les autres :
- un modèle numérique de la grande Baie ;
- un modèle numérique du Couesnon ;
- un modèle physique du barrage de la Caserne ;
- et un modèle physique de la petite Baie.

C'est à partir de ce dernier qu'a été réalisé un "essai de référence" destiné à évaluer ce que deviendrait la petite Baie dans 45 ans, en l'absence de tout nouvel aménagement.
Résultat : à l'horizon 2042 si, d'ici là, rien n'est entrepris, le paysage qui entoure le Rocher continuera à se figer sous l'assaut des sédiments.

Une maquette de 900 m² pour simuler la sédimentation des fonds de la petite Baie sur 43 Km²

On y simulait les mouvements de la marée, des fleuves et des différents phénomènes hydrauliques agitant la petite Baie, afin d'observer l'effet à long terme des aménagements projetés.
La tangue était figurée par de la sciure de bois, le sable par de la nacre artificielle de couleur rouge. C'était une première dans l'histoire des techniques de modélisation.
Sur cette maquette, les reliefs étaient amplifiés en raison des échelles et des nécessités de la modélisation.

Un double réglage, hydraulique et sédimentologique pour s'assurer que le modèle réplique parfaitement les phénomènes constatés dans la petite Baie.

Calé sur la configuration des fonds relevée par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France en 1975, le modèle a reproduit les phénomènes hydrosédimentaires survenus pendant 22 ans.
Au terme de cet essai, les fonds étaient conformes à ceux relevés sur le site en 1997. La maquette faisait ainsi la preuve de sa fiabilité sur de longues périodes.

© Thuillier/REA

Caractéristiques du modèle physique d'ensemble

	Nature	Modèle
Durée d'une marée	12 h 25 mn	15 mn
Amplitude d'une marée	13,5 m	20,7 cm
Vitesse dans les chenaux s	1 à 3 m/s	12,5 à 37 cm/
Emprise totale du modèle		900 m²
Surface de zone étudiée	41 km²	256 m²
Distance Mont-Bec d'Andaine	5 km	12,5 m
Distance Mont-Barrage Caserne	1,9 km	4,75 m

Echelle : 1/400 en plan ; 1/65 en hauteur

Des modèles en interactivité

6.000 nœuds de calcul pour le modèle numérique de la grande Baie en deux dimensions.

© Thuillier/REA

Ce modèle permettait d'étudier les courants dans la grande Baie afin de mesurer les différents effets du projet sur celle-ci et sur le Couesnon.

Un modèle physique reproduisant le barrage et chacune de ses six passes à l'échelle du 1/30ème.

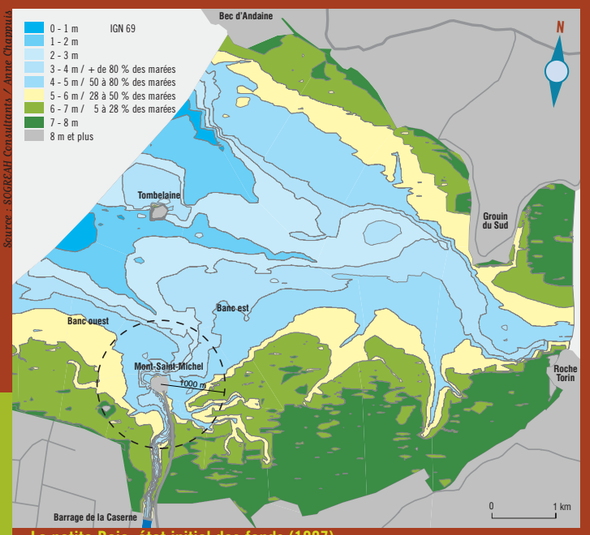
M. Stuard - Equipement

Sur ce modèle, on a cherché à définir la solution permettant de minimiser le passage de sédiments dans le fleuve lors de son remplissage par la marée.

Un modèle mathématique du Couesnon

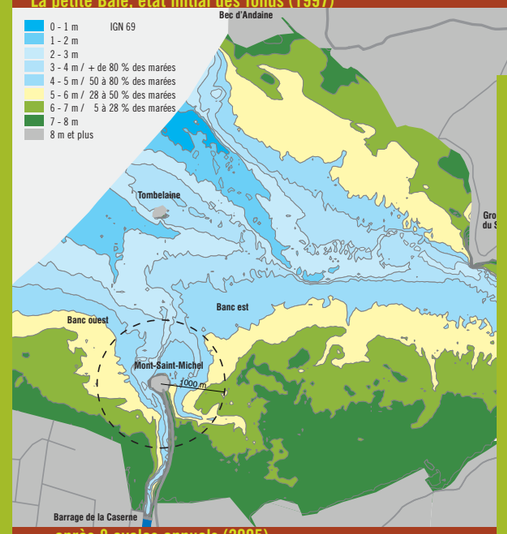
Il a permis de calculer l'écoulement de l'eau dans le Couesnon et de simuler les effets des opérations successives de remplissage et de chasse envisagées pour le futur barrage de la Caserne.

L'essai de référence sans aménagement

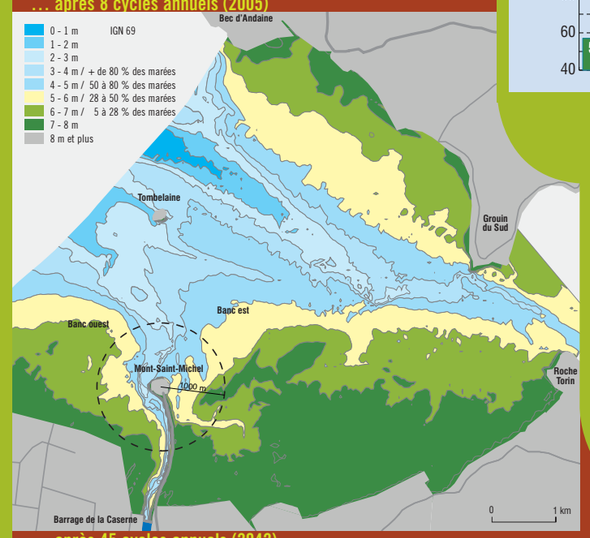


Source : SOGREAH Consultants / Anne Chappuis

La petite Baie, état initial des fonds (1997)



… après 8 cycles annuels (2005)



… après 45 cycles annuels (2042)

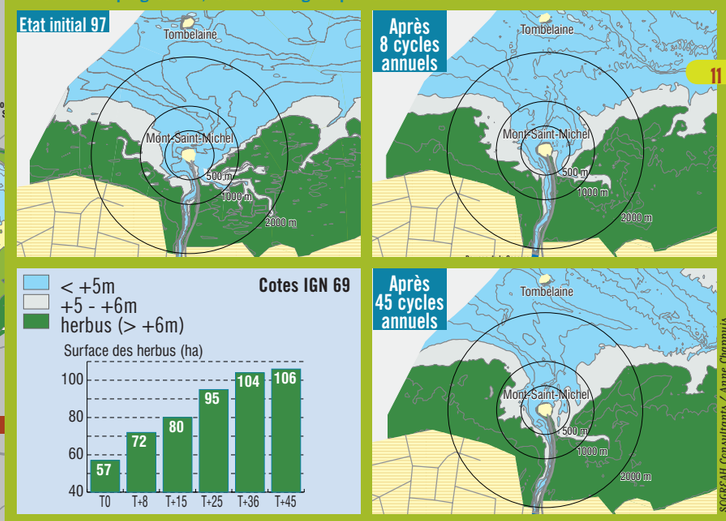
Horizon 2042, la petite Baie se comble

A partir du modèle physique de la petite Baie, un "essai de référence" a été réalisé pour évaluer ce que deviendrait la petite Baie après 45 cycles annuels, c'est-à-dire 45 années moyennes, en l'absence de tout aménagement. Ce résultat va servir de référence pour les essais à suivre.

Résultat : à l'horizon 2042, le petite Baie contient 20 millions de m³ de sédiments supplémentaires. On assiste à une partition en 2 estuaires séparés, d'un côté celui du Couesnon, de l'autre celui de la Sée et de la Sélune. Aux abords du Mont, le Couesnon s'encaisse, son écoulement est de plus en plus difficile et les herbus progressent ; en 2042, ils occupent 49 hectares de plus qu'en 1997.
L'environnement maritime du Mont-Saint-Michel se dégrade ainsi, inexorablement.

Autour du Mont, le paysage change

les herbus progressent, les fonds baignés par la marée diminuent…



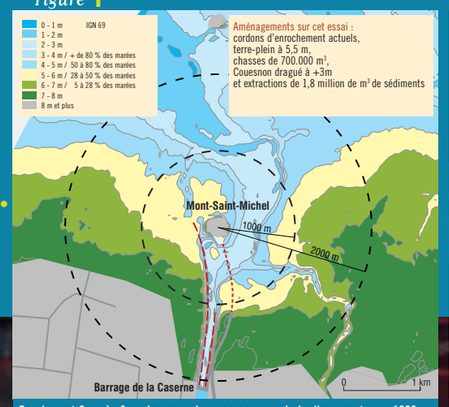
SCGREAH Consultants / Anne Chappuis

Dans un rayon de 1.000 m, les fonds dits à caractère maritime (baignés par 50 % des marées) diminuent de moitié.
Les herbus situés sur des fonds supérieurs à + 6 m (IGN 69) progressent dans un mouvement d'encerclement.

Au voisinage immédiat du Rocher, on assisterait à un changement majeur du paysage si rien n'était entrepris.

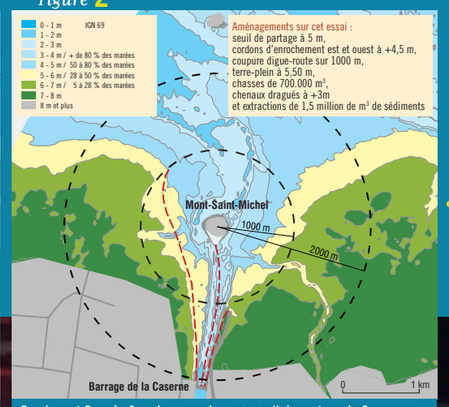
Une recherche par étapes : l'émergence de la solution

Figure 1

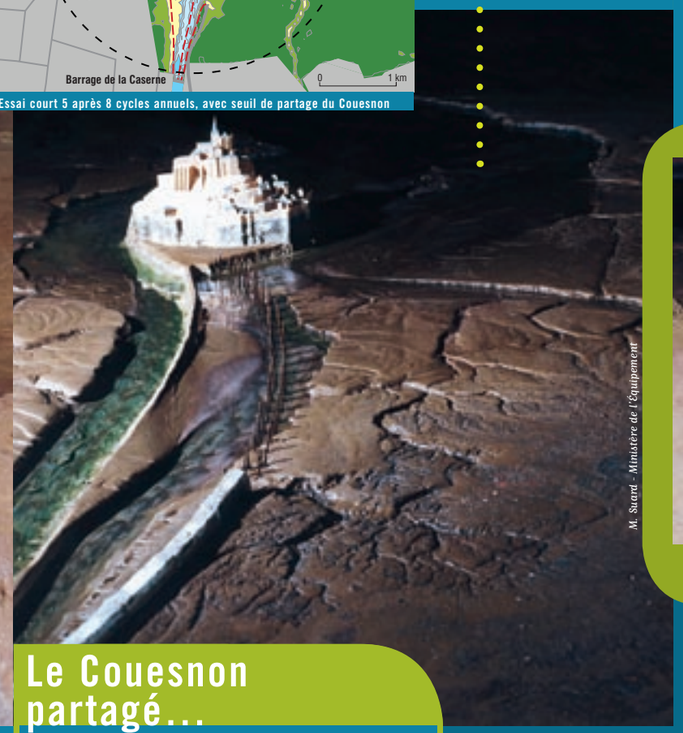


Essai court 2 après 8 cycles annuels, avec coupure de la digue-route sur 1000 m

Figure 2



Essai court 5 après 8 cycles annuels, avec seuil de partage du Couesnon



M. Sicard - Ministère de l'Équipement

Coupure de la digue-route : étape nécessaire mais insuffisante

(figure 1)

Une coupure de la digue-route sur 400 puis 1000 m, accompagnée d'un réaménagement léger du barrage actuel, n'a pas permis de retrouver les courants de marée traversiers (Est-Ouest) escomptés pour balayer les sédiments au Sud du Mont. De plus, cette coupure sans ouvrage de partage a entraîné le passage quasiment irréversible du Couesnon à l'Est ou à l'Ouest du Mont avec, en contrepartie, une très forte sédimentation de l'autre côté.
La démolition partielle de la digue-route restait cependant nécessaire pour laisser le passage à la marée et au Couesnon. Pendant ces essais, le système de chasses à partir du barrage de la Caserne a permis d'éroder 1,5 millions de m³ de sédiments aux abords du Mont ; le rôle déterminant du Couesnon était ainsi confirmé.

Le Couesnon partagé...

(figure 2)

Un seuil de partage a été mis en place depuis le barrage de la Caserne jusqu'au pied du Mont. Ce seuil, séparant deux chenaux Est et Ouest, guidait la répartition des chasses. de part et d'autre du Rocher.

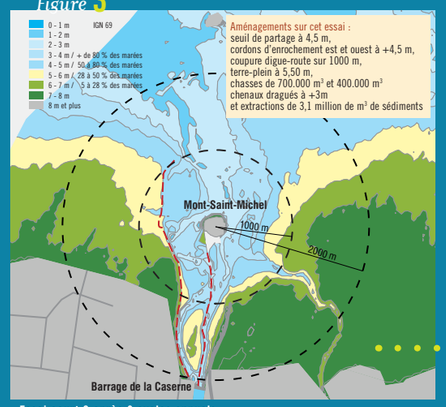
...et une ouverture plus large du barrage

Les études menées simultanément sur le modèle mathématique du Couesnon montraient que l'ouverture hydraulique du barrage actuel ne permettait pas d'utiliser à plein la capacité de stockage potentielle du Couesnon. Une ouverture hydraulique de 76 m et une remise en eau partielle de l'anse de Moidrey, permettaient de remplir un volume utile de 900.000 m³ d'eau de mer (coefficient 95).

L'énergie hydraulique générée à partir de la gestion du barrage de la Caserne et la création de deux chenaux de part et d'autre du Mont engendraient un net abaissement des fonds par un large balayage des sédiments.

Obtenir un paysage maritime

Figure 3



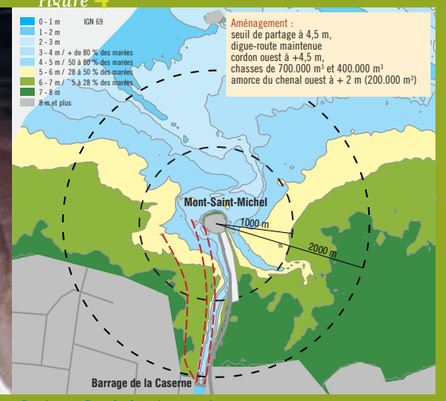
Essai court 6 après 8 cycles annuels

Faire divaguer le Couesnon sur les grèves

(figure 3)

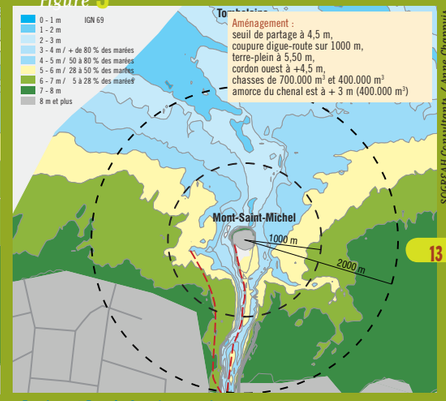
Au moyen d'un seuil de partage courbe s'appuyant sur les cordons existants rive droite à proximité du Mont et rive gauche à proximité du barrage, le tout complété d'épis déflecteurs, les ingénieurs ont obtenu un vaste espace de grèves au milieu duquel le Couesnon divaguait.
Ce résultat correspondait à l'objectif paysager recherché. Ces principes ont été retenus pour l'essai long avec aménagements.

Figure 4



Essai court 7 après 2 cycles annuels

Figure 5



Essai court 7 après 8 cycles annuels

SOGREAH Consultants / Anne Chappuis

Phaser pour minimiser les extractions

(figures 4 et 5)

Un essai de 16 cycles annuels a permis d'étudier une mise en place progressive selon le phasage des futurs travaux.
Amorcés par des extractions limitées au minimum, les chenaux se sont naturellement formés sous l'action des chasses et des marées.
Les fonds aux abords du Mont se sont révélés analogues à ceux des essais précédents. Ce résultat, obtenu au terme de plusieurs cycles annuels, a confirmé l'efficacité d'un phasage des aménagements hydrauliques étalé dans le temps.

Dernières mises au point

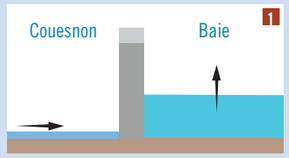
Pour améliorer la divagation des chenaux et empêcher un banc central de se former à l'aval immédiat du barrage, le nombre d'épis déflecteurs a été augmenté. Le cordon Ouest a été remplacé par des épis, afin de mieux limiter le déplacement dans cette direction du chenal concerné.

Le barrage sur le Couesnon

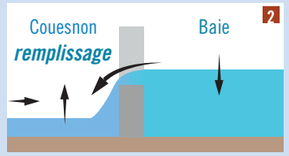
Gestion optimisée

PM : pleine mer au Mont-Saint-Michel

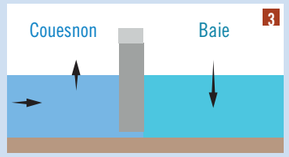
Chaque chasse programmée à partir du futur barrage aura un débit équivalent à une crue moyenne du Couesnon, sans vague ni déferlement. On retiendra en amont du barrage, un volume de marée de 900.000 de m³ (pour une marée de coefficient 95 au moins), complété d'apports fluviaux.



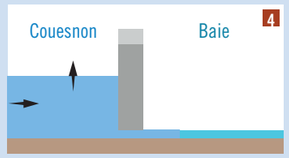
1 Fermeture quand la marée arrive *à PM - 1 h*
Le premier flot de la marée qui arrive environ 1 heure avant la pleine mer est le plus chargé en sédiments grossiers. Ces sédiments se déposent naturellement dès que la marée bute sur le barrage fermé. Ce phénomène naturel de décantation sera favorisé dans le futur avant l'ouverture lente des vannes pour le remplissage.



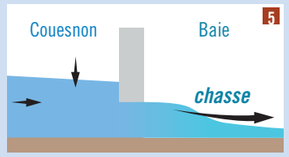
2 Ouverture en surverse *à PM - 10 mn*
Un remplissage par sur-verse (au-dessus des vannes) plutôt que par sous-verse (au-dessous des vannes) permettra de remplir le Couesnon amont avec l'eau la moins chargée en sédiment. L'heure d'ouverture des vannes par rapport à la pleine mer au Mont est également un point clef pour contrôler la charge en sédiments des eaux entrant dans le Couesnon. Les mesures en nature conduisent à retenir une ouverture des vannes après PM - 10 minutes.



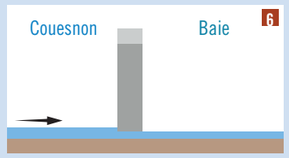
3 Fermeture à l'équilibre des niveaux *à PM + 1 h 30*
La fermeture des vannes se fait au voisinage de PM + 1 heure 30, lorsque les niveaux sont équilibrés de part et d'autre du barrage, ce qui conduit à une durée de remplissage d'environ 1 heure. Cette durée est très courte par rapport au volume qui doit transiter par le barrage (de 470.000 m³ en marée moyenne à 900 000 m³ en marée de vives eaux).



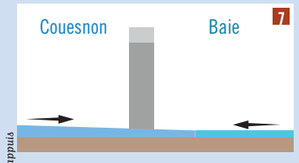
4 Quand la marée se retire, débit réservé *jusqu'à PM + 6 h*
Les eaux entrées à marée haute sont conservées ; viennent s'y ajouter les apports fluviaux du Couesnon. Une passe par chenal reste légèrement ouverte pour maintenir un débit réservé.



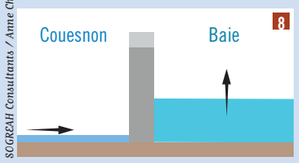
5 Ouverture progressive et contrôlée des vannes à marée basse *à PM + 6 h*
L'ouverture, lente et progressive, des vannes permet une chasse contrôlée sans vague ni déferlement. L'ouverture sera contrôlée pour disposer de chasses soutenues durant environ une heure. Le contrôle des niveaux d'eau permettra d'assurer un débit quasiment constant même sans apport du Couesnon, dans le cas d'une marée de coefficient 95.



6 Fin de chasse, débit réservé
Le plus souvent, une passe par chenal reste ouverte pour le drainage des polders. Dans le cas contraire, un débit réservé est maintenu dans les deux chenaux.



7 Formation d'un bouchon d'eau claire *à PM + 11 h 15*
Les vannes sont progressivement ouvertes pour créer un bouchon d'eau claire à même de stopper aussi loin que possible le premier flot qui est le plus chargé en sédiments.



8 Fermeture quand la marée suivante arrive *à PM + 11 h 25*
Le cycle de gestion du barrage (figures 1 à 7) reprend avec la marée suivante.

SOGREAH Consultants / Anne Chappuis

Le barrage constitue l'un des éléments clés du projet. Permettant de gérer le lit du Couesnon en son amont comme un "réservoir naturel de chasses", il doit pouvoir maximiser le remplissage de ce dernier, tout en évitant sa sédimentation et en étant capable de générer des chasses les plus efficaces possibles.

Par ailleurs, les chasses seront partagées entre les chenaux Est ou Ouest, de manière souple et évolutive. Capable de produire des chasses d'un débit régulier, le dispositif retenu conduira à abaisser les fonds aux abords du Mont.

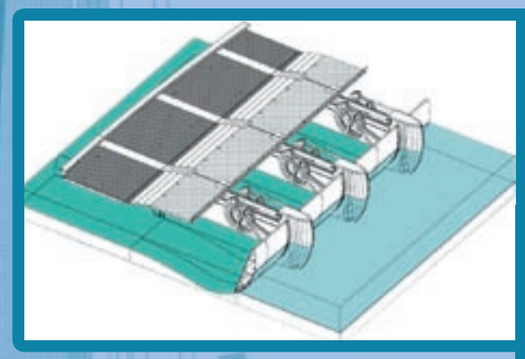
Une capacité hydraulique suffisante

Le fond du lit du Couesnon sera curé et l'anse de Moidrey partiellement remise en eau en rive gauche, afin d'améliorer le remplissage et de faciliter la vidange du fleuve à chaque cycle de marée.

Un régulateur des eaux…

Le barrage existant, équipé de portes qui se ferment au flot montant, est inadapté à ses nouvelles fonctions. Il sera remplacé par un nouvel ouvrage qui viendra s'inscrire sur toute la largeur du Couesnon canalisé. Le fleuve ne sera plus étranglé à son embouchure.

Choisi par un jury au terme d'un concours européen*, le futur barrage sera discret et élégant dans son expression architecturale, rassurant par la solution de vannage proposée. Il s'intégrera dans la continuité des berges et des digues. Le jeu d'ouverture des vannes, la modulation de la hauteur des eaux, en donneront une perception changeante jusqu'à la quasi transparence lorsque les vannes seront totalement ouvertes.



Les techniques non éprouvées ou trop sophistiquées ont été d'emblée écartées. Huit vannes-secteurs permettront les opérations de remplissage et de chasse. Chacune sera actionnée par deux vérins ; un système de contrepoids permettra astucieusement d'économiser de l'énergie. Le dessin des vannes renvoie aux formes circulaires des sextants de marine.

Le barrage, côté spectacle

Le ballet des marées, l'arrivée du mascaret, le mouvement des vannes constitueront de véritables sources d'intérêt.
Le public pourra assister à ce spectacle de jeux d'eaux et de vannes, puis contempler le paysage de la Baie et le Mont-Saint-Michel depuis un grand balcon maritime surplombant les eaux.

* Équipe de maîtrise d'œuvre : BRL ingénierie / Luc Weizmann, Axe architecture / SPRETEC / ANTEA / Bernard Lanctuit, paysagiste - Images M Studio

Un futur respectueux des activités de l'homme dans la Baie

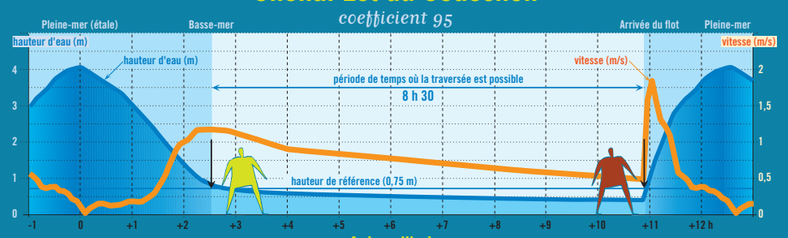
La restitution au Mont de sa beauté maritime n'affecte en rien les activités traditionnelles pratiquées alentour. L'agriculture, la pêche, qu'elle soit à pied ou en bateau, les traversées des grèves guidées ou bien encore la conchyliculture, pourront pleinement continuer à profiter des ressources naturelles de la Baie du Mont-Saint-Michel.

Les traversées de la Baie

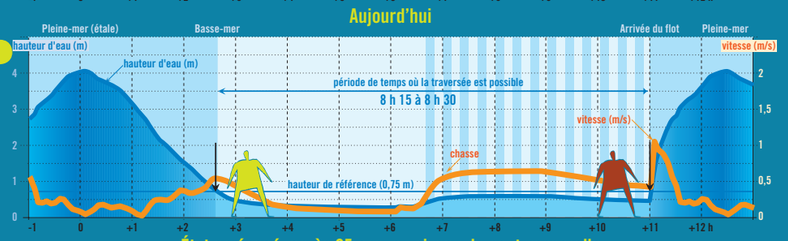
Les traversées pédestres, commentées par des guides agréés dans l'esprit des pèlerinages d'antan, permettent une approche particulière de Tombelaine et du Mont dans le cadre unique du paysage des grèves. Le projet prend en compte cette activité importante qui concerne plus de 60.000 personnes par an. Les deux chenaux traversés par les marcheurs (Sée-Sélune au début du parcours et Couesnon Est à l'arrivée au Mont), auront des vitesses de courants comparables et des lits constitués de sables plus grossiers, traversables dans de bonnes conditions.

La gestion des chasses a été réfléchie pour éviter tout effet de surprise. Elles seront programmées de manière régulière, 6 heures après la pleine mer, et réparties dans les deux lits du Couesnon. Leur calendrier sera communiqué régulièrement aux guides agréés et usagers des grèves, déjà familiers des rythmes de marée, affiché dans les points d'information en Baie. De plus, les chasses seront progressives, comparables à des crues d'automne, avec une montée de l'eau sur environ 20 à 30 minutes. Des points d'accès aménagés sur les futurs ouvrages faciliteront l'arrivée au Mont.

Chenal Est du Couesnon



Aujourd'hui



État aménagé, après 25 ans, au niveau du pont passerelle

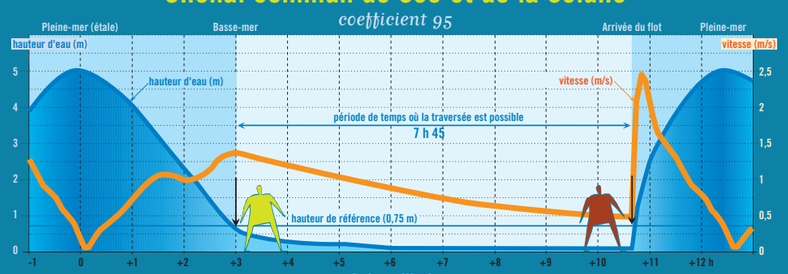
Des vitesses de courants lors des chasses comparables à celles de la Sée-Sélune actuelle

Dans le bras Est du Couesnon, au moment de la chasse, la hauteur d'eau atteindra en 20 minutes le haut des cuisses (75 cm) et la vitesse du courant 1 mètre par seconde. Ces valeurs, calculées pour une marée de coefficient 95, resteront inférieures à celles constatées aujourd'hui lors de la traversée de la Sée - Sélune au début du jusant.

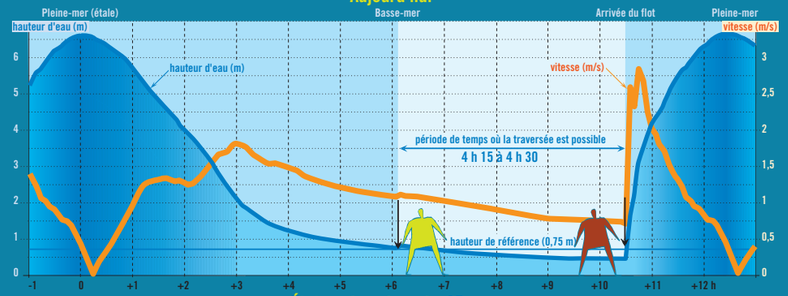
Chenal commun de Sée et de la Sélune

Deux chenaux aux fonds plus stables

Les temps de traversée seront réduits dans le Couesnon Est du fait des chasses ; il en sera de même dans le futur pour le franchissement de la Sée - Sélune suite à l'encaissement naturel de leurs chenaux.
Sée - Sélune et Couesnon Est resteront cependant traversables à pied dans de bonnes conditions. Les fonds du Couesnon, parcourus par les chasses, seront constitués de sables plus grossiers (comme le chenal commun de la Sée-Sélune aujourd'hui), plus porteurs que les sables fins ou très fins qui entraînent un effet "sables mouvants". Les traversées y gagneront ainsi en confort, les fonds étant plus stables.
A l'arrivée, l'épi écarteur Est, constitué d'enrochements de petite taille, sera utilisable pour accéder au Mont.



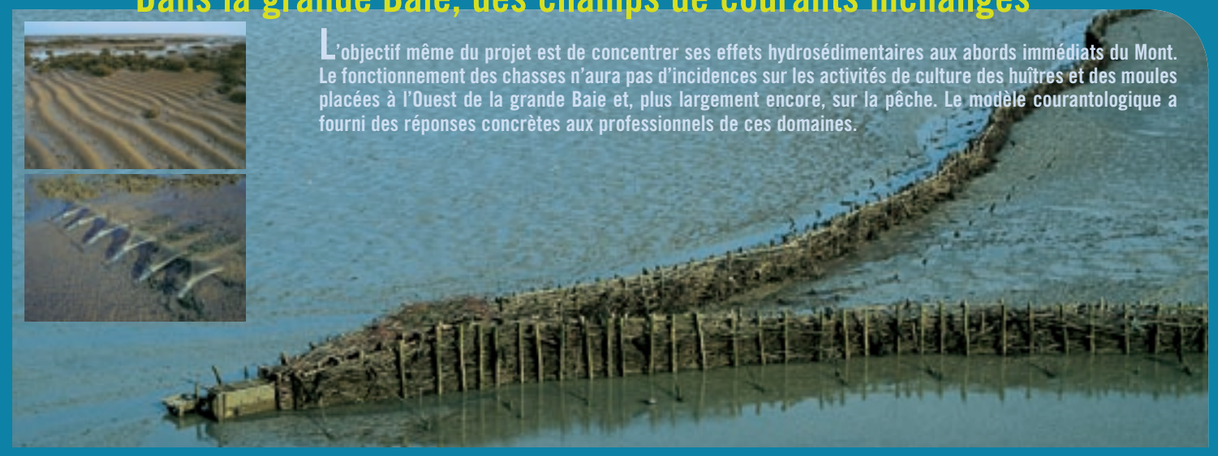
Aujourd'hui



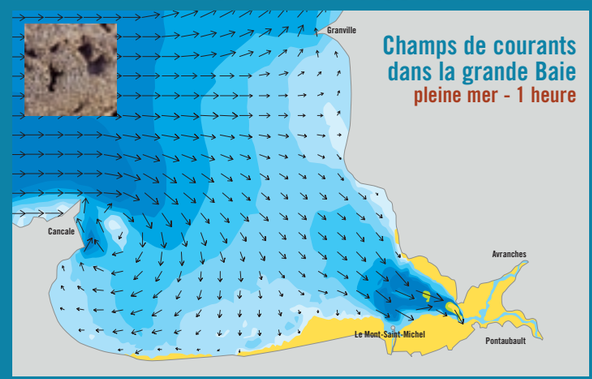
État aménagé, après 25 ans

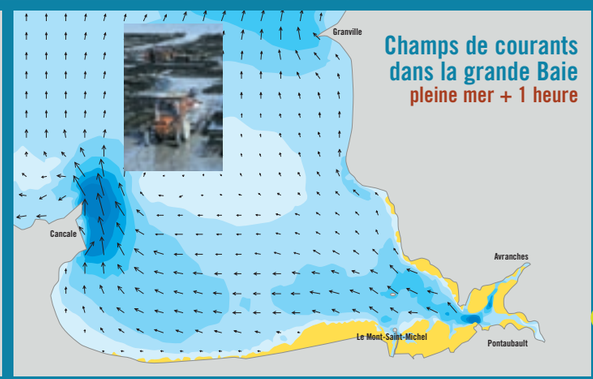
SOGREAH Consultants / Anne Chapuis

Dans la grande Baie, des champs de courants inchangés

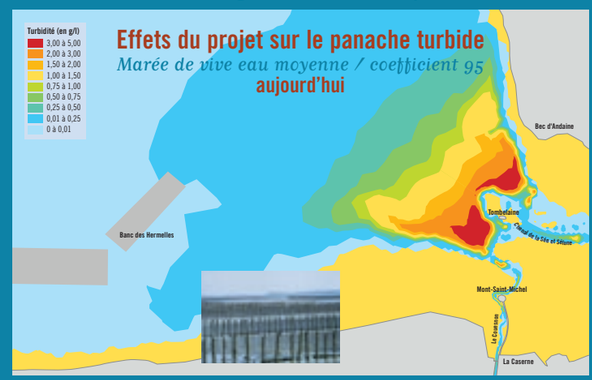


L'objectif même du projet est de concentrer ses effets hydrosédimentaires aux abords immédiats du Mont. Le fonctionnement des chasses n'aura pas d'incidences sur les activités de culture des huîtres et des moules placées à l'Ouest de la grande Baie et, plus largement encore, sur la pêche. Le modèle courantologique a fourni des réponses concrètes aux professionnels de ces domaines.





A l'échelle de la grande Baie, les champs de courants restent identiques, y compris pour le secteur du banc des Hermelles.



SOGREAH Consultants / Anne Chapuis

Les niveaux de turbidité exprimés sur ces dessins sont comparables avec ou sans aménagements.
Ceci est valable tant pendant la période de mise en service phasée des ouvrages hydrauliques (voir page 13) que lorsque les fonds auront trouvé leur état d'équilibre.

Le long des rives du Couesnon

Dans le futur, les écoulements en période de crue seront facilités grâce au curage des dépôts accumulés sur le fond du lit du fleuve depuis la construction du barrage. Les exutoires des terrains agricoles des polders continueront à fonctionner. Les niveaux d'eau en amont seront maîtrisés par la gestion des vannes.
Les rives du Couesnon conserveront leur paysage et leur géométrie d'aujourd'hui. Les promeneurs y seront toujours les bienvenus, qu'ils soient à cheval ou à pied.

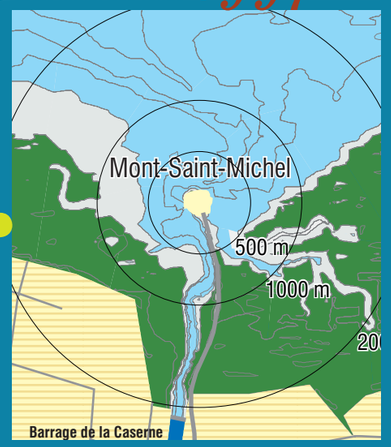
Une solution durable…

L'efficacité à long terme de l'ensemble des équipements retenus a été vérifiée par un dernier essai reproduisant 45 cycles annuels de marée.

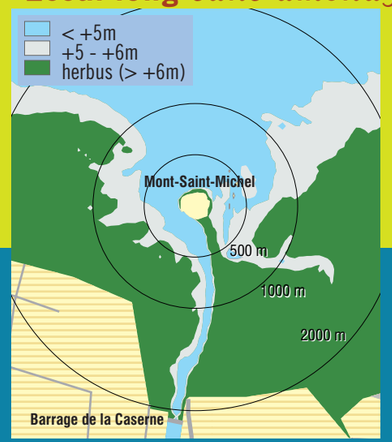
Résultat : à l'horizon 2042 et comparativement à l'essai de référence sans aménagement, aux abords du Rocher, la cote moyenne des fonds s'abaisse de 70 centimètres ; les fonds à caractère maritime (inférieurs à + 5 m IGN 69) gagnent 50 ha ; les espaces susceptibles d'être couverts par les herbus (+ 6 m) régressent de 42 hectares. Le site se trouve en quelque sorte "rajeuni" de plusieurs dizaines d'années !

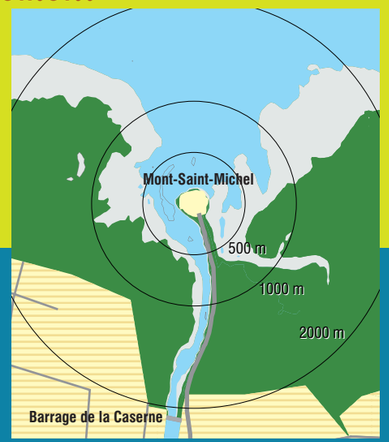
Par delà les chiffres, le Couesnon s'ouvre un large estuaire sur les eaux profondes. Son avenir devient autonome de la Sée et de la Sélune. Divaguant, il balaye un vaste espace de grèves.
Le Mont-Saint-Michel retrouve enfin son paysage maritime tant recherché. Il le conservera durant des générations.

Etat initial des fonds 1997

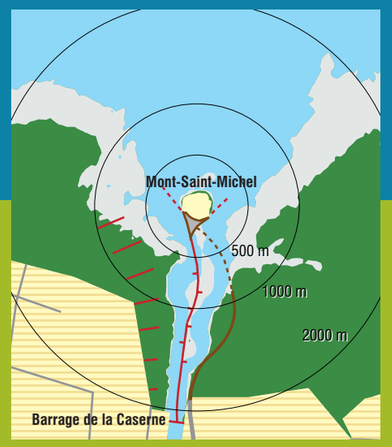


Essai long *sans aménagement*

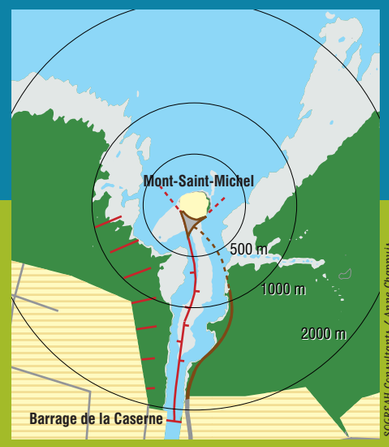




+ 25 cycles / 2022

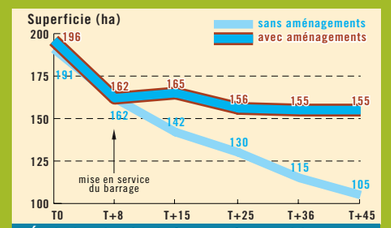


+ 45 cycles / 2042

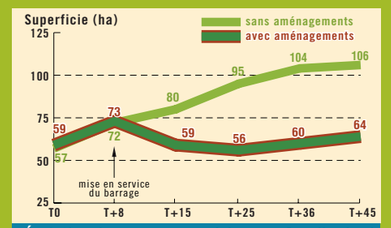


SOGREAH Consultants / Anne Chapuis

Essai long *avec aménagements*



Évolution des fonds à caractère maritime

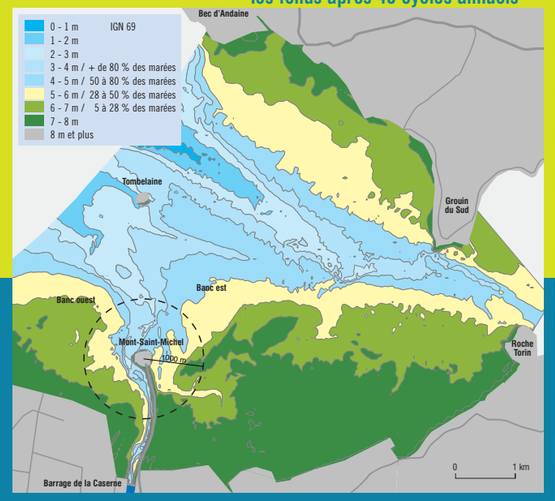


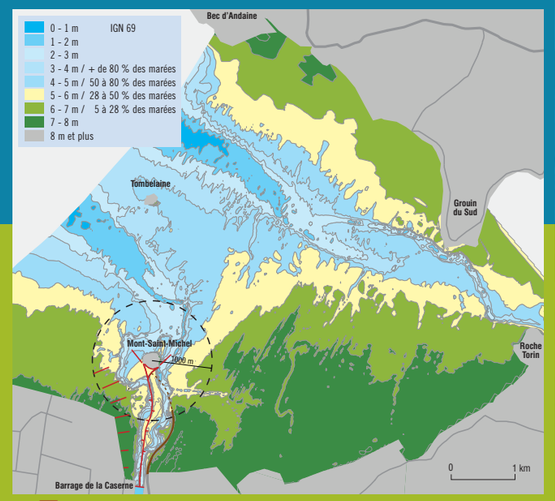
Évolution des espaces supérieurs + 6 m (herbus)

…sans incidence sur l'évolution de la petite Baie

Les aménagements qui seront réalisés n'auront pratiquement pas d'effet sur la petite Baie qui représente une superficie de 50,8 km². Les volumes déposés sont du même ordre de grandeur lors de ces deux essais longs : 20,2 millions de m³ et 20,7 millions de m³ respectivement sans et avec aménagements.
La Commission scientifique a considéré que, dans ses grandes lignes, l'évolution à terme de la petite Baie était indépendante des travaux projetés sur le barrage et aux abords du Mont.

Essai long *sans aménagement :* les fonds après 45 cycles annuels





Essai long *avec aménagements :* les fonds après 45 cycles annuels

Photographies Daniel Fondimare

Le Mont-Saint-Michel retrouve son caractère maritime

La reconquête des grèves

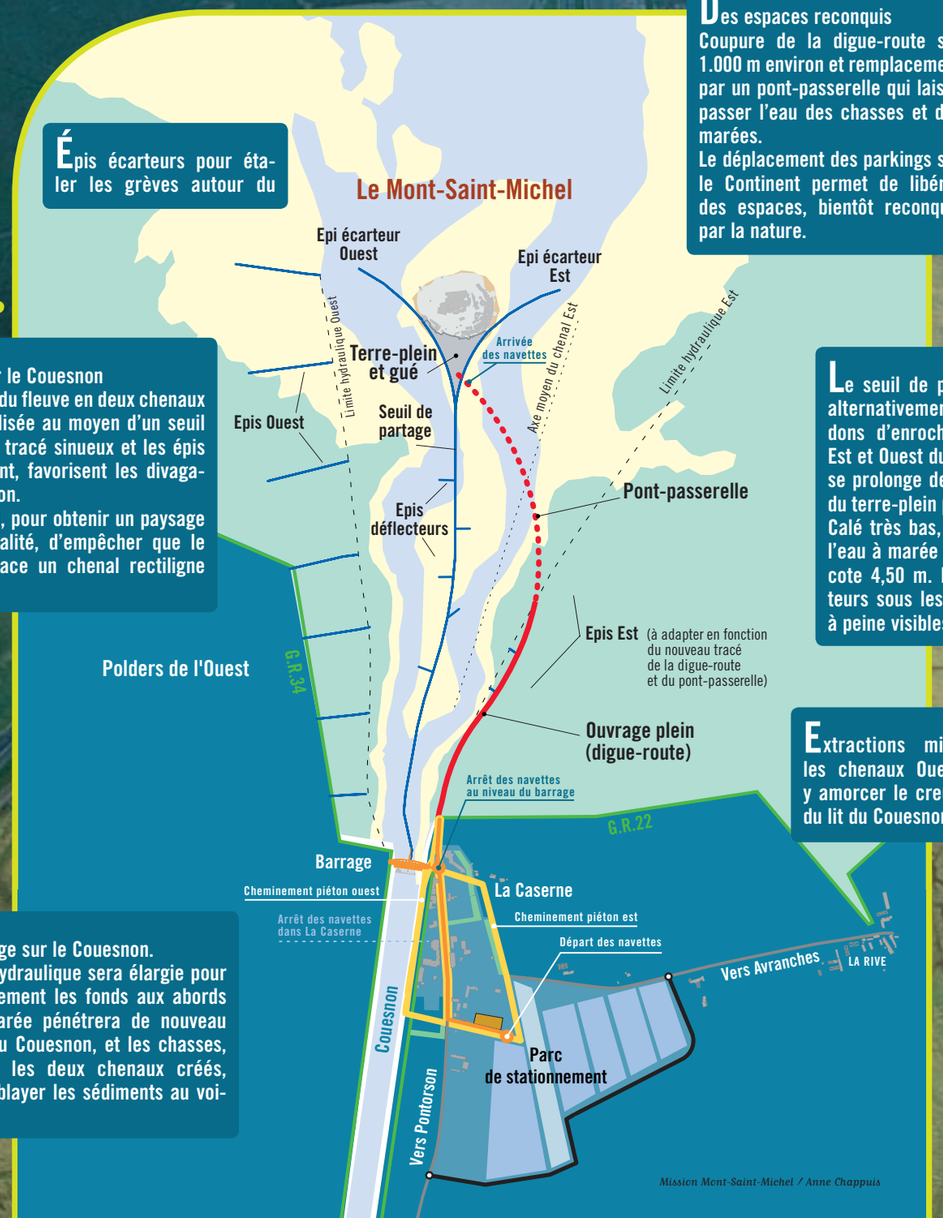
Gestion contrôlée des chasses du Couesnon, divagation harmonieuse du fleuve entre Mont et Continent, coupure de la digue-route et suppression des parkings au pied du Mont...

L'ensemble des aménagements hydrauliques mis en place permettra aux courants de marée et du Couesnon, comme jadis, de venir balayer les abords du Rocher. Grâce à l'effacement de la digue-route et des stationnements sur les grèves, l'eau pourra à nouveau circuler librement dans ces espaces reconquis.

Entre le pôle commercial et hôtelier déjà existant, le futur parc de stationnement et les navettes, la Caserne deviendra un lieu d'accueil et d'échange. Des passages piétonniers l'ouvriront sur le barrage et le Couesnon.

Photographies Daniel Fondimare

Vue panoramique sur les aménagements hydrauliques



Mission Mont-Saint-Michel / Anne Chappuis

Épis écarteurs pour étaler les grèves autour du

Des espaces reconquis
Coupure de la digue-route sur 1.000 m environ et remplacement par un pont-passerelle qui laisse passer l'eau des chasses et des marées.
Le déplacement des parkings sur le Continent permet de libérer des espaces, bientôt reconquis par la nature.

Deux bras pour le Couesnon
La "bipartition" du fleuve en deux chenaux séparés est réalisée au moyen d'un seuil de partage. Son tracé sinueux et les épis qui le complètent, favorisent les divagations du Couesnon.
Il était essentiel, pour obtenir un paysage maritime de qualité, d'empêcher que le Couesnon ne trace un chenal rectiligne et profond.

Le seuil de partage s'appuie alternativement sur les cordons d'enrochements actuels Est et Ouest du Couesnon, puis se prolonge de part et d'autre du terre-plein pour le protéger. Calé très bas, il s'efface sous l'eau à marée montante dès la cote 4,50 m. Les épis déflecteurs sous les sédiments sont à peine visibles.

Extractions minimisées dans les chenaux Ouest et Est pour y amorcer le creusement naturel du lit du Couesnon.

Nouveau barrage sur le Couesnon.
Son ouverture hydraulique sera élargie pour abaisser durablement les fonds aux abords du Mont. La marée pénétrera de nouveau dans le canal du Couesnon, et les chasses, réparties entre les deux chenaux créés, agiront pour déblayer les sédiments au voisinage du Mont.

Un paysage maritime

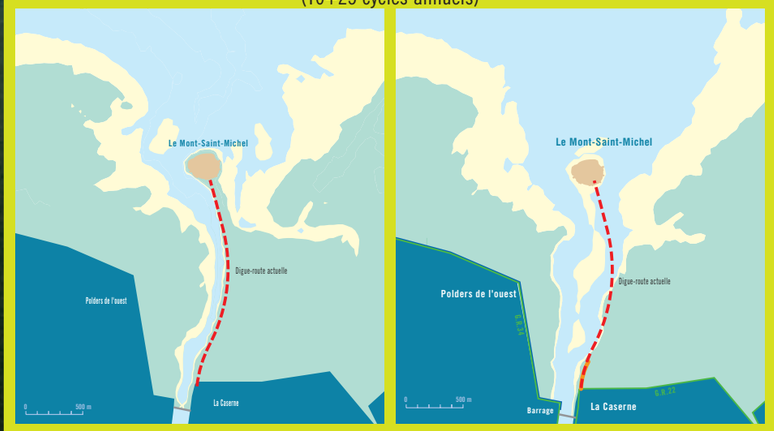
Un large espace de grèves sera à nouveau balayé par les divagations du Couesnon. L'effet en sera déjà perceptible au terme de quelques années de gestion régulière des chasses. Il se maintiendra à long terme sur plusieurs générations et provoquera l'arrêt de la progression des herbus et le maintien des fonds maritimes aux abords du Mont.

Les cordons d'enrochements du Couesnon (XIXème) sont encore très largement présents près du Mont. Plusieurs kilomètres seront enlevés et ré-employés pour la construction d'épis, ce qui facilitera la bonne intégration paysagère des ouvrages.

Photographies Daniel Fondimare

Évolution de la Baie à l'horizon 2022

(T0+25 cycles annuels)



Sans aménagement *Avec aménagements*

SOGREAH Consultants / Anne Chappuis

Le Mont-Saint-Michel retrouve son caractère maritime

BRL ingénierie / Luc Weizmann, Axe architecture / SPREFEC / ANTEA / Bernard Lonstat, paysagiste / Images M Studio

Le futur barrage sur le Couesnon

L'esprit de la traversée

Ouvrages intégrés au site, nouvel accès, nouveau cheminement piétonnier, nouveau pont-passerelle... l'ensemble des aménagements intégrés au paysage permettra aux visiteurs de profiter pleinement des beautés du Mont dans sa Baie.

Pour faire la traversée jusqu'au Mont, les visiteurs emprunteront un itinéraire qui enjambera les herbus puis le chenal du Couesnon, soit à pied, comme les pèlerins d'antan, soit à bord d'une navette, un train sur pneumatiques, propulsé au GPL ou à l'électricité.
Ce parcours d'approche ouvrira la vue sur la petite Baie jusqu'à Tombelaine.
A l'extrémité du pont-passerelle, le Mont ceint de ses remparts se révélera dans son intégralité.

Composition colorée filtrée de la Baie du Mont-Saint-Michel - Réalisation J. Le Rhun - UMR 8586 PRODIG - Source CNES Spot Image, Scène du 28-02-99

Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel

Syndicat mixte pour le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel

Abbaye aux Dames
Place Reine Mathilde - B.P. 523 - 14035 Caen Cedex

Le projet est engagé dans le cadre d'un partenariat entre l'Etat (ministères chargés de l'équipement, de l'environnement, de la culture et de l'aménagement du territoire) et le Syndicat mixte regroupant la région de Basse-Normandie, le département de la Manche et les communes du Mont-Saint-Michel, de Beauvoir et de Pontorson. L'Union Européenne, la région de Bretagne, le département d'Ille et Vilaine et l'Agence de l'eau Seine-Normandie apportent leur concours financier au Syndicat mixte.