

SUJET 0

Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel

- A. Réponses au besoin
 - B. Génération et régulation du flux hydraulique
 - C. Modélisation du comportement dynamique du barrage
 - D. Analyse d'écart entre le souhaité, le simulé et le réalisé
 - E. Conclusion sur la problématique du sujet
- Documents techniques..... pages 20 à 22
- Documents réponses pages 23 à 26

Une opération d'aménagement touristique durable



Figure 1 : vue d'un Mont-Saint-Michel au caractère maritime rétabli

Pourquoi un tel projet ?

« Le rétablissement du caractère maritime du Mont- Saint-Michel est une opération à vocation durable. Initiée en 1995 pour les études et débutée en 2005 pour les travaux, elle s'achèvera en 2015. Elle participe d'une grande ambition : **restaurer profondément le paysage qui sert d'écrin à l'un des hauts lieux de l'humanité et renouveler l'approche du site, dans l'esprit des traversées.**

Le Mont-Saint-Michel est érigé dans une baie aux paysages et aux écosystèmes remarquables. Ce site, d'une rare beauté, est consacré par une double inscription sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco (1979).

Ce chef-d'œuvre est aujourd'hui menacé. Au fil des siècles et des interventions humaines, la sédimentation s'est accentuée autour du Mont : poldérisation, réalisation de la digue-route, construction du barrage équipé de portes-à-flot... Petit à petit, la mer recule, terre et prés salés progressent. Un parking de quinze hectares au pied des remparts dénature le paysage maritime depuis plus de 50 ans.

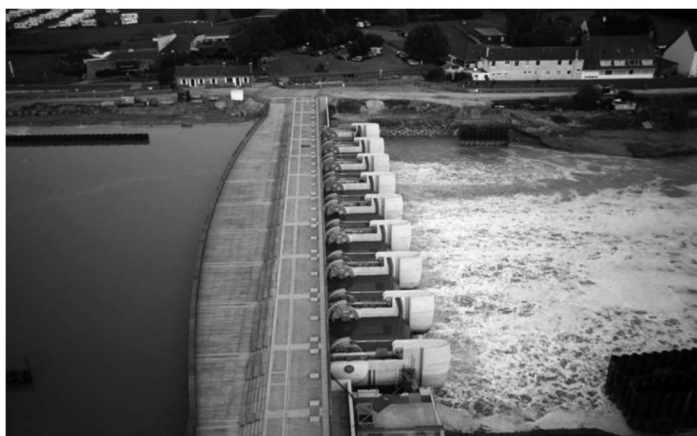


Figure 2 : barrage sur le Couesnon en action

Les experts internationaux sont formels. A l'horizon 2040, si rien n'est entrepris, le Mont-Saint-Michel s'ensablera irrémédiablement et sera entouré de prés salés. Cette transformation bouleversera de façon irréversible l'esprit du lieu voulu par les bâtisseurs de l'abbaye.

Pour éviter cela, un nouveau barrage utilise depuis 2009 la force des eaux mêlées de la marée et du fleuve (le Couesnon). Les résultats sont déjà perceptibles autour du Mont et confirmés par des mesures scientifiques régulières.

Cette reconquête des grèves imposera également en 2014/2015 de restituer à la nature les 15 hectares du parking maritime actuel mais aussi la digue-route qui relie l'îlot rocheux au continent et bloque les courants de marée depuis plus de 130 ans. Grâce aux eaux de la marée et du Couesnon, les sédiments seront chassés au large. Le Mont retrouvera sa dimension maritime pour longtemps.¹

¹ http://www.projetmontsaintmichel.fr/pourquoi_agir/objectifs.html

Barrage sur le Couesnon

Une étude prospective a conduit à la solution analysée dans ce sujet. Elle consiste en la construction d'un barrage sur le Couesnon à l'entrée de la baie du Mont-Saint-Michel (voir figure 3).

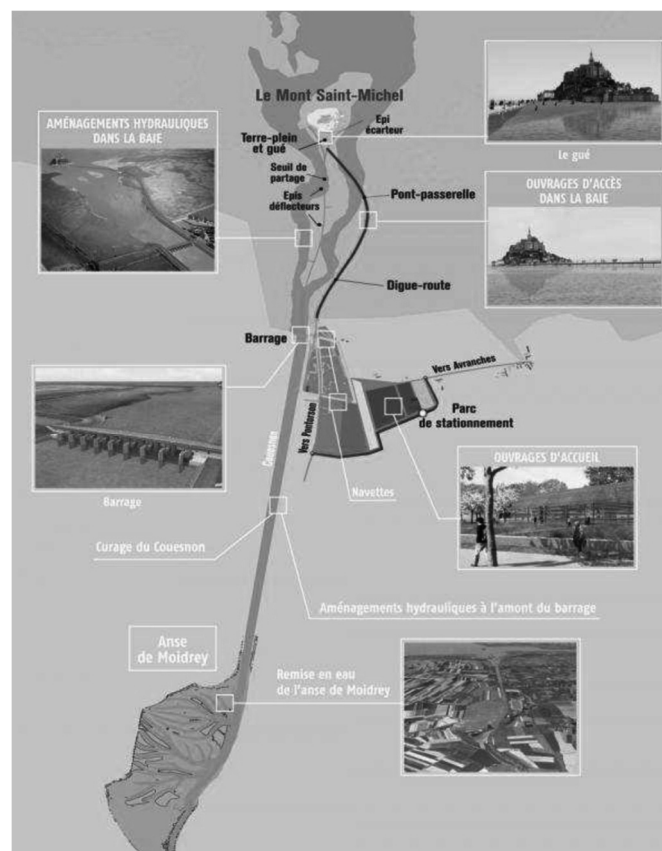


Figure 3 : vue d'ensemble de la zone du Couesnon

Cet ouvrage est constitué :

- d’une série de huit passes principales de 9 m de largeur ; ces huit passes identiques reçoivent le même équipement de vannes-secteurs mobiles actionnées en fonction de la marée pour permettre l’évacuation progressive des sédiments accumulés au fil des années autour du Mont-Saint-Michel ;
- de deux écluses à poissons (*non étudiées dans le sujet*), de 3,10 m de largeur chacune, intercalées entre les dernières passes et les culées² ;
- de deux culées de raccordement aux rives servant au logement de l’ensemble du matériel électrique, hydromécanique et hydraulique nécessaires à la commande des vannes mobiles, ainsi qu’au logement du matériel de contrôle, d’asservissement et de télégestion.

² Appui d’extrémité du barrage sur la berge.

Le fonctionnement global du barrage est décrit dans la partie 2 du sujet.

L’étude proposée ici permet de vérifier que le barrage, opérationnel depuis 2009, répond à l’objectif général de son cahier des charges : ***comment rendre puis pérenniser (opération durable) son caractère maritime au Mont-Saint-Michel, monument inscrit au patrimoine mondial de l’humanité, tout en respectant le paysage, la sécurité du site et les spécificités de la baie ?***

Plus spécifiquement, il s’agit de vérifier, à partir de mesures récentes effectuées, que les performances annoncées de l’ouvrage, répondant à cet objectif général, sont déjà effectives. Par ailleurs, le sujet aborde l’analyse d’écarts entre des performances du cahier des charges, des résultats issus de simulations et certaines valeurs mesurées pour analyser et valider des choix. Enfin, une étude d’éléments de l’ouvrage permettra de s’assurer que la sécurité est effective pour les personnes et l’environnement de la baie. Ces problématiques conduisent aux parties développées ci-dessous.

A. Réponse au besoin

Objectif de cette partie : **analyser** le besoin à l’origine de la conception du barrage et **comparer** la solution retenue avec une autre solution possible.

Avec une amplitude pouvant atteindre 16 mètres lors des plus grandes marées, le marnage³ observé sur la baie du Mont-Saint-Michel est parmi les plus importants du monde. La mer parcourt ainsi jusqu’à 15 kilomètres pour couvrir l’estran⁴ de la baie à la vitesse d’un cheval au galop comme le décrit la légende.

Coefficient de la marée	Hauteur d’eau référencée en IGN69 pour la pleine mer au Mont-Saint-Michel (en mètre)
50	+ 3,95
70	+ 5,10
90	+ 6,25
110	+ 7,40

A l'heure actuelle, l'insularité du Mont n'est observée qu'une cinquantaine de jour par an lorsque les coefficients⁵ des marées dépassent 90. Pour revenir à la situation qui prévalait au début du XIX^e siècle, il s'agit de rendre au site son caractère insulaire au moins 180 fois par an, **soit à partir de marées ayant un coefficient 70**.

Sur la figure 4 est donné un découpage des zones de niveaux référencées en IGN69⁶ sur un secteur circulaire arbitrairement choisi à 1 km de rayon.

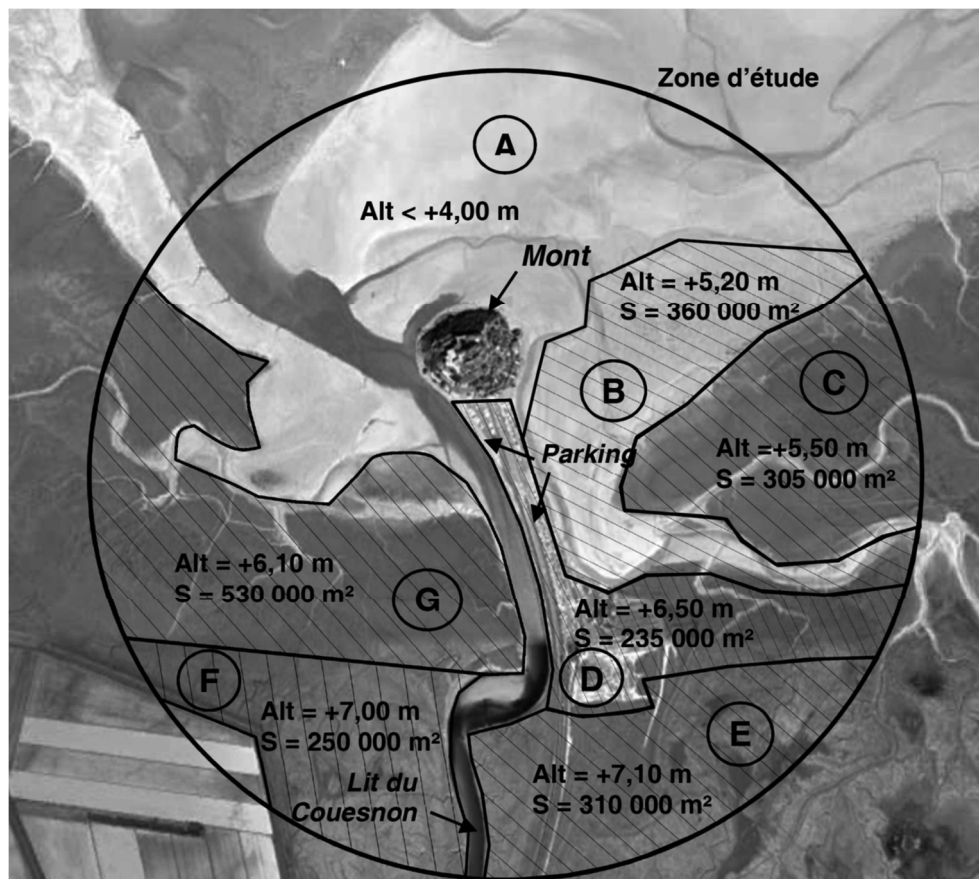


Figure 4 : découpage de zones autour du Mont-Saint-Michel à hauteurs différentes

Q1. Déterminer, en fonction des éléments donnés sur cette page, le niveau maximal de la cote des fonds qui permettra au Mont-Saint-Michel de retrouver son caractère insulaire au moins 180 jours par an. **En déduire** le volume de sédiment à déplacer pour satisfaire cette exigence dans la zone étudiée.

³ Dénivellation constatée entre une pleine mer (marée haute) et une basse mer (marée basse) successive.

⁴ Partie du littoral située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées.

⁵ Amplitude du marnage par rapport à sa valeur moyenne. Exprimé en centièmes, il évolue de 20 à 120.

⁶ Niveau zéro correspondant au niveau moyen de la mer observé par le marégraphe de Marseille sur la période de 1884 à 1897.

Impact environnemental du projet

La lutte contre le réchauffement climatique a débuté en 2005 avec l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto imposant aux industriels des objectifs annuels de réduction des émissions de CO₂. Nous proposons de mener une réflexion sur l'impact environnemental de deux solutions envisageables pour répondre au projet de désensablement. Celui dû à une opération de dragage⁷ d'envergure d'une part puis celui engendré par la construction et par le fonctionnement du barrage d'autre part.



Figure 5 : vue future du Mont-Saint-Michel

Ce n'est pas moins de **40 millions de m³** qu'il s'agit d'évacuer de la baie en vue de restituer au Mont son caractère maritime. Une extraction mécanique de ce volume a été jugée trop coûteuse et ne présentait pas l'avantage d'être une solution pérenne.

Le projet actuel retenu se décompose en quatre actions principales :

- **construire un barrage** capable de réactiver et de renforcer le travail de chasse⁸ des sédiments par le Couesnon ;
- **remplacer la digue-route par un pont-passerelle** pour permettre une circulation des marées et du Couesnon autour du Mont-Saint-Michel ;
- **déplacer** les parkings aménagés aux pieds du Mont-Saint-Michel vers le continent ;
- **aménager** du lit du Couesnon par un dragage de **1,5 million⁹ de m³** afin de redonner au fleuve la capacité d'emporter les sédiments le plus au large.

Bilan carbone® de l'Ademe

Il s'agit d'une méthode globale de quantification des émissions de gaz à effet de serre générées par une structure ou par une activité. Cette quantification s'exprime en équivalent carbone (éqC) ou en CO₂ sur le cycle de vie du produit (conception, construction, exploitation et démolition).

Éléments chiffrés utiles à l'estimation simplifiée du bilan carbone :

- caractéristiques du barrage et des aménagements annexes :
 - 20 000 m³ de béton,
 - 3 000 tonnes d'aciers (armatures et structures),
 - 600 MWh d'énergie électrique consommée annuellement ;
- 1 kWh d'énergie électrique produit en France émet 0,025 kg éqC ;
- un mètre cube de béton mis en œuvre émet 90 kg éqC ;
- une tonne d'acier mis en œuvre émet 500 kg éqC ;
- le dragage et le traitement d'un m³ de sédiment émet 0,8 kg éqC.

⁷ Opération qui consiste à enlever les matériaux situés dans le fond des plans d'eau.

⁸ Rejet au large.

⁹ Ce volume inclut la suppression de la digue-route.

Q2. Estimer, pour un cycle de vie de 50 années, l’empreinte carbone des deux solutions envisagées pour répondre au projet de désensablement du site. **Conclure** cette partie en indiquant d’autres raisons qui ont conduit à retenir la solution du barrage.

B. Génération et régulation du flux hydraulique

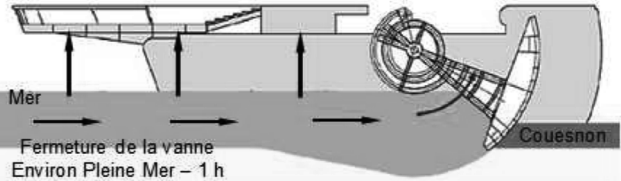
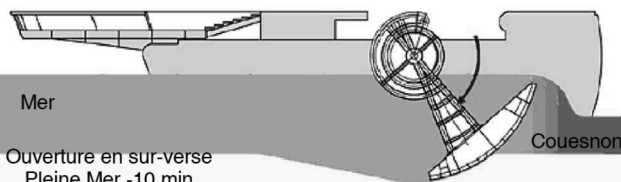
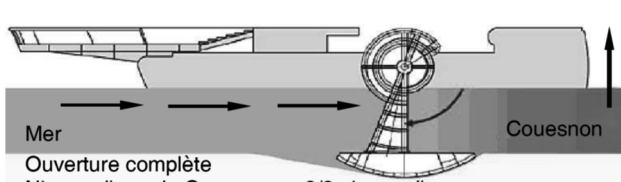
Objectif de cette partie : analyser la solution retenue pour créer et réguler un flux d'eau capable de repousser les sédiments au-delà du Mont-Saint-Michel.

Fonctionnement séquentiel du barrage

Afin de répondre partiellement ou totalement aux différentes fonctions de service du barrage, un système de huit vannes à fonctionnement séquentiel et asservi a été conçu pour provoquer un effet de chasse des sédiments.

Principe de l’effet de chasse (fonctionnement du barrage)

Les figures suivantes présentent le principe de chasse, la description est basée sur une période de marée de 12 h 25 min.

<p>Phase n°1</p>  <p>Mer</p> <p>Fermeture de la vanne Environ Pleine Mer - 1 h</p> <p>Couesnon</p>	<p>Tout d’abord, environ 1 heure avant la pleine mer, les vannes sont fermées. Le premier flot bute sur l’obstacle et les sédiments se déposent en aval du barrage.</p>
<p>Phase n°2</p>  <p>Mer</p> <p>Ouverture en sur-verse Pleine Mer -10 min</p> <p>Couesnon</p>	<p>10 minutes avant la pleine mer, les vannes s’ouvrent et la marée remplit le Couesnon par sur-verse (par le dessus les vannes) avec l’eau la moins chargée en sédiments.</p>
<p>Phase n°3</p>  <p>Mer</p> <p>Ouverture complète Niveau d’eau du Couesnon > 2/3 niveau d’eau mer</p> <p>Couesnon</p>	<p>La marée entre dans le Couesnon jusqu’à une cote limite pour ne pas inonder les terrains en amont. A l’équilibre entre amont et aval, les vannes s’effacent. Les poissons migrateurs peuvent franchir le barrage.</p>

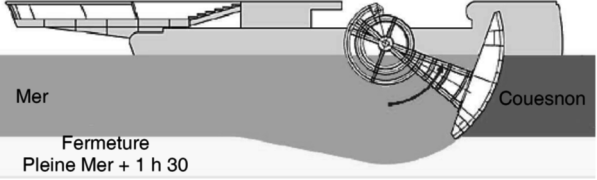
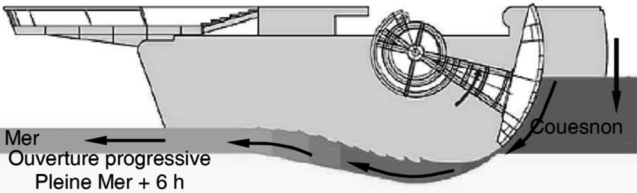
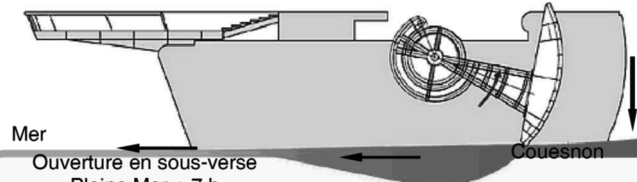
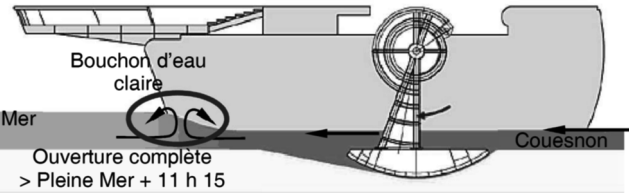
<p>Phase n° 4</p>  <p>Mer Couesnon Fermeture Pleine Mer + 1 h 30</p>	<p>Après 1 h 30 min, les vannes se ferment. Un débit réservé est assuré par les écluses à poissons qui permettent également la circulation des juvéniles d'anguilles.</p>
<p>Phase n° 5</p>  <p>Mer Couesnon Ouverture progressive Pleine Mer + 6 h</p>	<p>6 h après la pleine mer, les vannes retenant l'eau stockée dans le Couesnon sont progressivement ouvertes, provoquant une chasse régulée. Environ 3 h plus tard, la chasse régulée s'achève et les vannes sont fermées.</p>
<p>Phase n° 6</p>  <p>Mer Couesnon Ouverture en sous-verse Pleine Mer + 7 h</p>	<p>Pleine mer plus 7 h. Écoulement normal du Couesnon. Ouverture en sous-verse.</p>
<p>Phase n° 7</p>  <p>Mer Couesnon Bouillon d'eau claire Ouverture complète > Pleine Mer + 11 h 15</p>	<p>Pleine mer plus 10 h 35 et niveau d'eau du Couesnon trop faible. Formation d'un bouillon d'eau claire. Fermeture pendant 30 min puis ouverture complète pendant 10 min. Pour créer ce bouillon, on réduit le débit descendant à la mer durant une demi-heure puis les vannes sont de nouveau ouvertes pendant dix minutes. Puis le cycle recommence en phase n° 1.</p>

Figure 6 : phasage du fonctionnement du barrage