

Le barrage du Couesnon Un ouvrage essentiel pour la

La réalisation du nouveau barrage sur le Couesnon, démarré en 2006, fait partie du programme de rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel.

Le fonctionnement des huit vannes du barrage permettra, à marée haute, de constituer un volume d'eau conséquent à l'amont du barrage, qui sera progressivement relâché à marée basse. Le système de « chasse d'eau » ainsi produit repoussera les sédiments au large du Mont et le libérera de l'emprise des herbues qui l'enserrent.

Le programme de désensablement du Mont-Saint-Michel, orchestré par le nouveau barrage, nécessite des aménagements hydrauliques (en amont et en aval) du Couesnon ainsi que la suppression des parkings actuels et de la digue route remplacée par un pont-passerelle. Ces 15 ha de grèves rendus à la nature permettront d'aménager deux chenaux de part et d'autre du Mont qui faciliteront le retrait des courants descendants et éviteront ainsi la dépose des sédiments.

Des ouvrages d'accueil, avec 4000 places de parking seront réalisés à 2,5 km du Mont en retrait de la baie. Un système de navettes et de véhicules de service les reliera au Mont, circulant sur la partie centrale du pont-passerelle.

Redre au Mont-Saint-Michel son caractère maritime tout en améliorant l'accueil des visiteurs : tel est l'objectif du programme (164 millions d'euros) qui a démarré en 2006. Piloté par le Syndicat mixte Baie du Mont-Saint-Michel, il va libérer le Mont de l'emprise des herbues (végétation tolérant le sel) qui l'enserrent, supprimer la digue route et le parc de stationnement, et lui redonner son insularité. Un bel exemple de développement durable...

Le programme est articulé autour de six grands projets :

- les ouvrages d'accueil, avec 4000 places de stationnement, situés à 2,5 km du Mont en retrait de la baie ;
- le pont passerelle : la digue actuelle va être remodelée et son dernier kilomètre remplacé par un pont passerelle. Dans sa partie centrale circuleront navettes et véhicules de service ;
- le gué submersible : une cale conduira à un terre-plein surmonté d'un gué qui mènera aux pieds du Mont ;
- le curage du lit du Couesnon pour restaurer sa capacité hydraulique ;
- la construction, sur le Couesnon, d'un nouveau barrage ;
- l'aménagement de l'anse de Moidrey : à 4 km en amont du barrage, elle servira de réservoir d'eau.

Le désensablement de la baie du Mont-Saint-Michel a démarré avec la construction du barrage sur le Couesnon, pièce maîtresse de l'ensemble du projet.

Une filiale de Spie batignolles, CM paimbœuf spécialisée dans la charpente métallique, les ouvrages d'art et les ouvrages maritimes et fluviaux, participe à la réalisation de cet ouvrage de haute technologie, dont le fonctionnement sera particulièrement spectaculaire.

■ Redonner au Mont-Saint-Michel sa part de marée

Comme toutes les baies, celle du Mont-Saint-Michel est soumise à un phénomène d'ensablement naturel. Avec le flot, arrivent des sédiments que la mer dépose avant de se retirer. Le courant de marée montant étant plus puissant que le courant descendant, quantité de particules se trouvent abandonnées là.

En marée de vive-eau moyenne, dans la petite baie, près de 100 millions de mètres cubes d'eau vont et viennent, remuant au passage quelque 100000 tonnes de sédiments.

En 1966, afin de bloquer l'entrée de la marée dans le Couesnon, fut entreprise la construction du barrage actuel équipé de portes qui se ferment sous la poussée

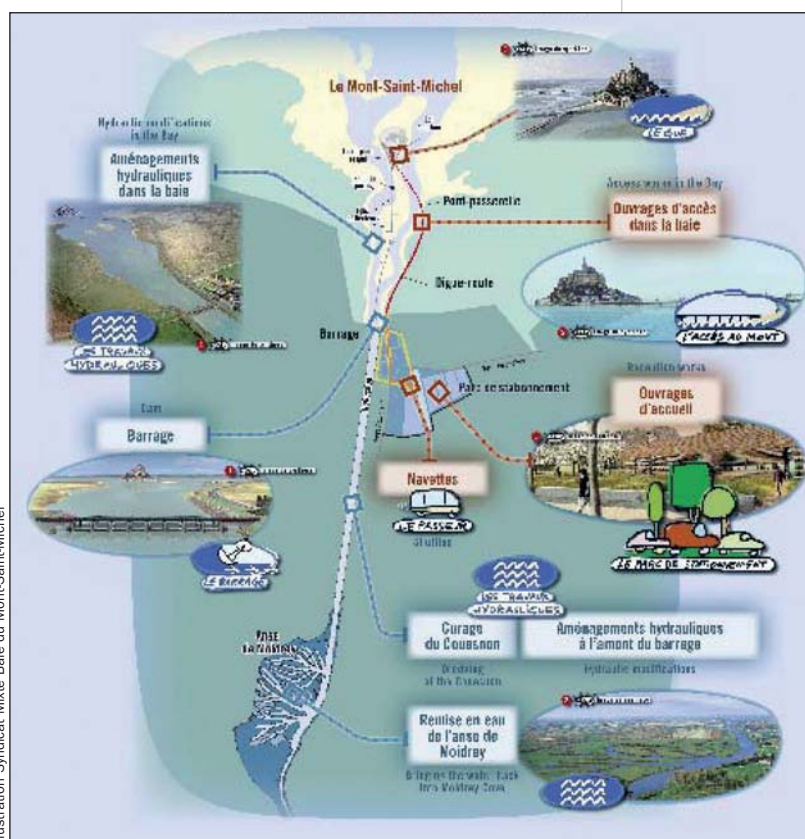


Illustration Syndicat Mixte Baie du Mont-Saint-Michel

Figure 1
Schéma global des aménagements
Overall diagram of the developments



Frédéric Breton
Chef de projet
CM paimbœuf

« renaissance » du Mont-Saint-Michel

du premier flot. Le fleuve perd un peu plus de sa puissance hydraulique; à l'aval il s'encaisse entre les dépôts de sédiments qui s'accumulent.

Aujourd'hui il s'agit de redonner sa dynamique hydraulique au Couesnon. Le futur barrage – pour lequel CM paimbœuf (mandataire du groupement CM paimbœuf - Baudin Chateauneuf - Joseph Paris) est en charge des marchés 2 et 3 : superstructures et équipements –, laissera entrer la marée dans le canal du Couesnon, en retiendra les eaux ainsi que celles du Couesnon.

À marée basse, et grâce aux forces conjuguées de la mer et du Couesnon, le barrage produira des lâchers d'eau progressifs pour repousser les sédiments au large du Mont-Saint-Michel.

Après sa mise en service, il faudra seulement deux ans pour parvenir à déblayer naturellement la moitié des 3 millions de m³ de sédiments et 8 ans pour arriver à 80 % de cet objectif. La démolition des parkings actuels restituera 15 ha de grèves à la nature, le paysage retrouvera toute sa dimension maritime (figures 1 et 2).

■ Huit vannes tournées contre le Couesnon

Les remplissages et les lâchers progressifs d'eau se feront au rythme des marées. Les différentes conditions de marée et de débit du Couesnon, détermineront la gestion précise du barrage. Les vannes du futur barrage seront équipées chacune de deux vérins hydrauliques assurant les mouvements en surverse et en sousverse qui permettront respectivement :

- le remplissage du Couesnon par le dessus des vannes avec l'eau de la marée la moins chargée en sédiments, 10 minutes avant la pleine mer (de 800 000 à 1 400 000 m³ selon les saisons et les coefficients);
- la chasse régulée et progressive, sans vagues ni déferlement, par le dessous des vannes avec l'eau stockée dans le Couesnon, répartie entre les chenaux est et ouest du fleuve en aval du barrage, 6 heures après la pleine mer.

Les vérins hydrauliques, reliés aux bras, entraîneront les tabliers de vanne dans leur mouvement de surverse et sousverse par rotation autour des rotules des bras montés fixes sur les piles béton. La commande hydraulique pour chacune des vannes assurera un mouvement synchrone de ses deux bras; toutes les commandes ainsi que la distribution des fluides, seront ensuite reliées depuis le local de commande installé en rive (figure 3, page suivante).

D'environ 130 m de long, le barrage comprend huit vannes secteurs indépendantes et deux écluses à poisons (une à chaque rive).

Chacune des huit vannes secteurs est constituée d'un tablier de 9 m x 8 m et de deux bras en forme de sextant de marine de 8 m de haut pour un poids total de 44 tonnes environ. L'ensemble est manœuvré par les deux vérins hydrauliques double effet dont l'effort s'applique sur chacun des bras de la vanne.

Le tablier de vanne est constitué d'une structure métallique mécano-soudée dont la tôle de bordé amont est de forme cylindrique d'un rayon de 7 m, et la face aval est de forme plane. Ce qui permet de prolonger le radier à + 2,00 m IGN 69 lorsque la vanne est en position ouverte.



C. Claden Maquettiste / N. Borel Photographe

Équipe de maîtrise d'œuvre du barrage : BRL Ingénierie / Luc Weizmann, architecte / SPRETEC / ANTEA

Figure 2
Vue latérale
de la maquette
du barrage
Side view
of the dam model

Le tablier est conçu pour éviter au maximum toutes les zones de rétention d'eau et de tangué, le raidissage de sa structure formant l'équivalent d'un caisson de grande rigidité percé de trous le long du bordé de façon à éviter les effets de flottaison.

Chaque bras est une structure métallique mécano-soudée en acier de construction, constituée de profilés reconstitués soudés (PRS) ouverts, de différentes sections. La roue du bras – rayon extérieur 2,45 m – centrée sur l'axe de vanne et sur laquelle s'exerce l'effort du vérin équilibrant la masse du tablier et des bras, comporte un moyeu dans lequel est montée l'articulation rotule.

■ En atelier...

La fabrication chez CM paimbœuf de chacun des tabliers représente :

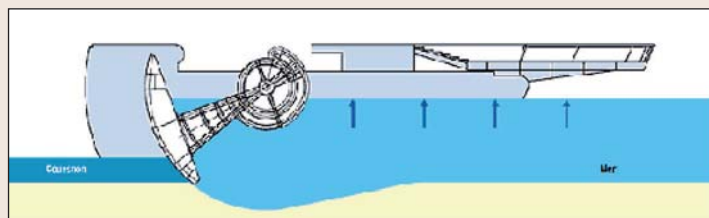
- 20 tonnes d'acier, dont 6 tonnes d'inox Uranus 45 qui constituent la tôle de bordé;
- 830 heures d'atelier de fabrication dont 315 heures d'assemblage, et 380 heures de soudage;
- 550 ml de cordons de soudure, de a = 5 mm à 8 mm.

Le barrage du Couesnon. Un ouvrage essentiel pour la « renaissance » du Mont-Saint-Michel

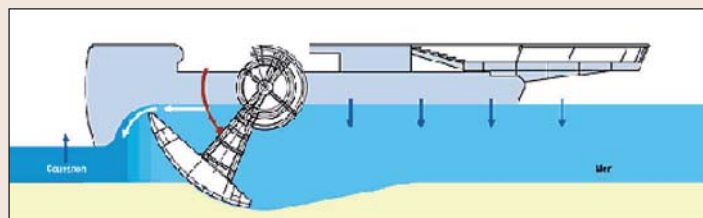
Figure 3

Les différentes phases des mouvements de vannes du futur barrage sur le Couesnon

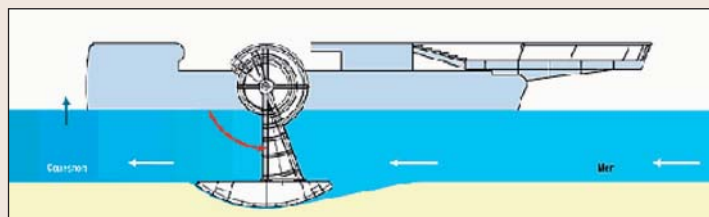
The various phases of movement of valves of the future dam on the Couesnon



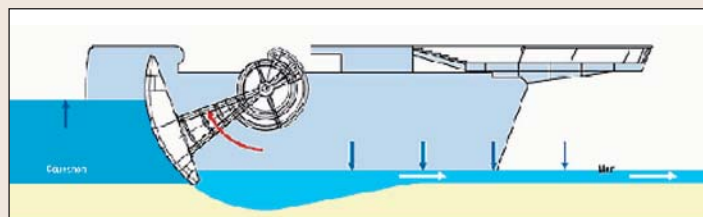
Phase 1 - PM - 1 h. Attente de décantation du flot
Le premier flot de marée qui arrive 1 h avant la pleine mer est le plus chargé en sédiments. Ces sédiments se déposent naturellement dès que la marée bute sur le barrage fermé



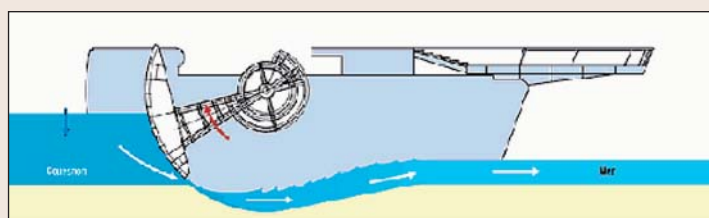
Phase 2 - Ouverture en surverse à PM - 10 minutes
Un remplissage par surverse permettra de remplir le Couesnon amont avec l'eau la moins chargée en sédiments. L'heure d'ouverture des vannes par rapport à la pleine mer au Mont est un point clé pour contrôler la charge en sédiments des eaux entrant dans le Couesnon. Les mesures en nature conduisent à retenir une ouverture des vannes après PM - 10 minutes en marée moyenne ou forte, les petites marées pourraient permettre une attente plus brève voire pas du tout



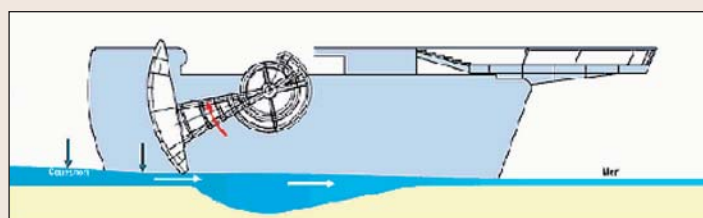
Phase 3 - Remplissage puis fermeture
La fermeture des vannes se fait au voisinage de PM - 1h30, lorsque les niveaux sont équilibrés de part et d'autre du barrage, ce qui conduit à une durée de remplissage d'environ 1h 40min. Cette durée est très courte par rapport au volume qui doit transiter par le barrage (de 470000 m³ en marée moyenne à 900000 m³ en marée de vives eaux). En fin de remplissage, pour bien remplir, le barrage sera entièrement ouvert. Fermeture de l'équilibre des niveaux à PM + 1h30



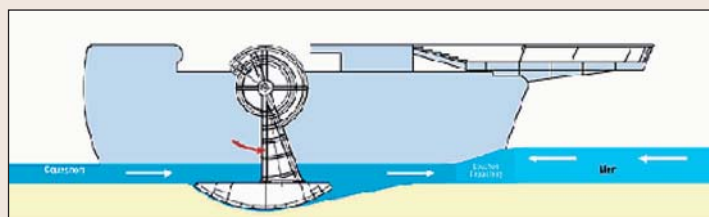
Phase 4 - Attente du moment de la chasse (PM + 6 h)
Les eaux entrées à marée haute sont conservées : viennent s'y ajouter les apports fluviaux du Couesnon. Une ouverture spéciale est prévue dans chaque chenal pour le débit réservé dont le rôle principal est de maintenir en eau et de matérialiser en permanence les cheneaux du Couesnon



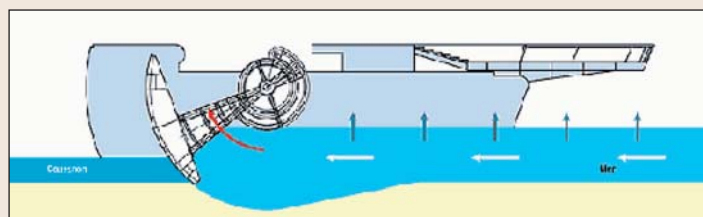
Phase 5 - Ouverture progressive et contrôlée des vannes à marée basse à PM + 6 h
L'ouverture lente et progressive des vannes permet une chasse contrôlée pour disposer de chasses soutenues durant environ 1 heure. Le contrôle des niveaux d'eau permettra d'assurer un débit quasiment constant sur cette durée



Phase 6 - Fin des chasses : ouverture libre
Pour atteindre rapidement le niveau bas utile aux exutoires latéraux du Couesnon et le prolonger le plus longtemps possible. Une heure après la chasse cet objectif est pratiquement atteint et on dispose d'un écoulement du fleuve comparable à celui d'une petite crue, sans discontinuité entre l'amont et l'aval



Phase 7 - Formation d'un bouchon d'eau claire à PM + 11h15
Si le débit descendant en écoulement libre s'annonce trop faible, il faut créer un bouchon d'eau claire à même de stopper aussi loin que possible le premier flot qui est le plus chargé en sédiments. À cet effet et dans ces cas seulement on réduit le débit descendant à la mer (en général 1/2 heure) puis les vannes sont à nouveau progressivement ouvertes pour 10 minutes



Phase 8 - Fermeture quand la marée suivante arrive à PM + 11h25
Le cycle de gestion du barrage (phases 1 à 7) reprend avec la marée suivante. Si la marée est faible (et peu turbide) on saute directement en phase 2



La fabrication est effectuée dans sa quasi-intégralité sur des gabarits concaves revêtus de bois protégeant la face inox du bordé afin de garantir le rayon et la cylindricité du tablier; conditions essentielles au bon fonctionnement de la vanne et son étanchéité, aussi bien

Photos 1, 2 et 3

Fabrication des tabliers dans les ateliers de CM paimbœuf
Manufacture of gate leaves in the workshops of CM Paimbœuf



en sousverse qu'en surverse, en charge amont que sous charge aval (photos 1, 2 et 3).

Principale particularité de la fabrication des tabliers de vanne en dehors de leur géométrie : le mariage de l'acier et de l'Uranus 45, nécessitant des cordons de soudeuse acier-acier pour la structure, inox-inox pour la tôle de bordé, et mixte pour la jonction entre structure et tôle de bordé.

Chaque tablier, une fois fabriqué et contrôlé dans les ateliers CM paimbœuf, forme un colis de 9 m x 8 m x 1,5 m acheminé par convoi exceptionnel dans un premier temps chez l'applicateur de peinture pour recevoir, sur les zones en acier noir uniquement, le système de protection anticorrosion IM2 adéquat en zones immergées.

Le convoi exceptionnel, d'une largeur de 7,80 m, variable, parcourra ensuite les 140 km pour rallier le site du chantier. Le tablier de vanne est installé sur la remorque via un jeu de trépiers réglables par vérins hydrauliques afin d'ajuster, selon les obstacles rencontrés, le rapport hauteur-largeur du convoi (photo 4).

La fabrication des bras de manœuvre, réalisée chez Joseph Paris, représente chacun 12 t d'acier noir, pour 750 heures de fabrication. La protection anticorrosion ainsi que le montage des éléments mécaniques tels que les rotules, sont réalisés dans leurs ateliers.



Photo 4

Convoi exceptionnel en sortie d'usine
Wide load leaving the plant

Le barrage du Couesnon. Un ouvrage essentiel pour la « renaissance » du Mont-Saint-Michel



Figure 4
Ensemble vanne en perspective
Valve assembly in perspective

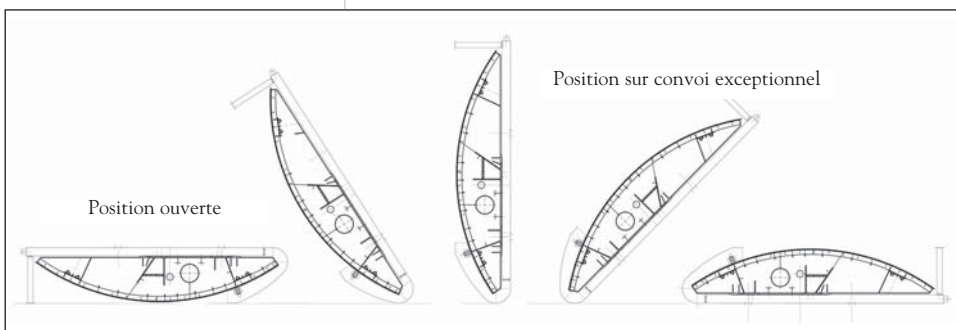
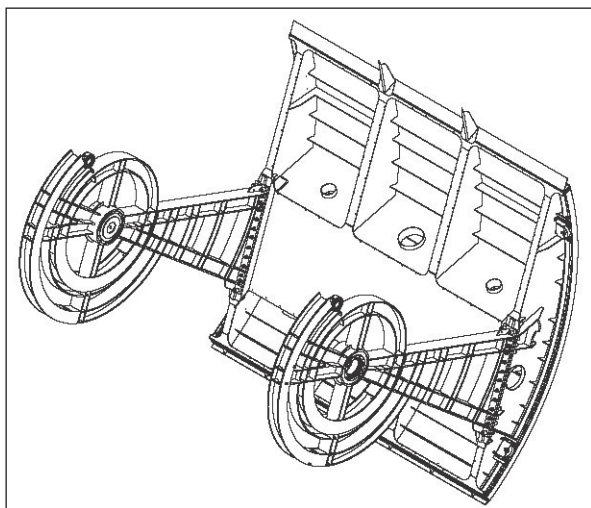


Figure 5
Outillage de retournement
des tabliers de vanne
Tooling for overturning valve
gate leaves

La livraison sur le site du chantier est organisée concomitamment avec celle des tabliers de vanne pour permettre aux équipes de CM paimbœuf d'entamer le montage de l'ensemble bras-tablier en fond de zone batardée (figure 4).

■ Sur le site
du Mont-Saint-Michel...

Le montage sur le chantier débute par le retournement du tablier de vanne dans la zone batardée, au pied du radier aval.

Dans la logistique de transport, le tablier de vanne depuis le convoi exceptionnel doit être retourné d'environ 150° afin de se présenter dans sa passe en « position ouverte ». Cette opération est effectuée au moyen d'une grue. Le tablier est pris en charge à l'extrémité des deux appareils installés sur sa face plane, leur autre extrémité équipée de « ski » permettant d'assister le retournement et de protéger la tôle de bordé en inox des moindres chocs à la manœuvre (figure 5).

Le tablier est ensuite « glissé » dans sa passe entre les deux bajoyers de piles. Un jeu de 3 cm seulement avec le béton suffit à la manœuvre sur 7 m de haut, jusque dans la cuvette du radier.

Photos 5 et 6
Montage du tablier
Gate leaf erection



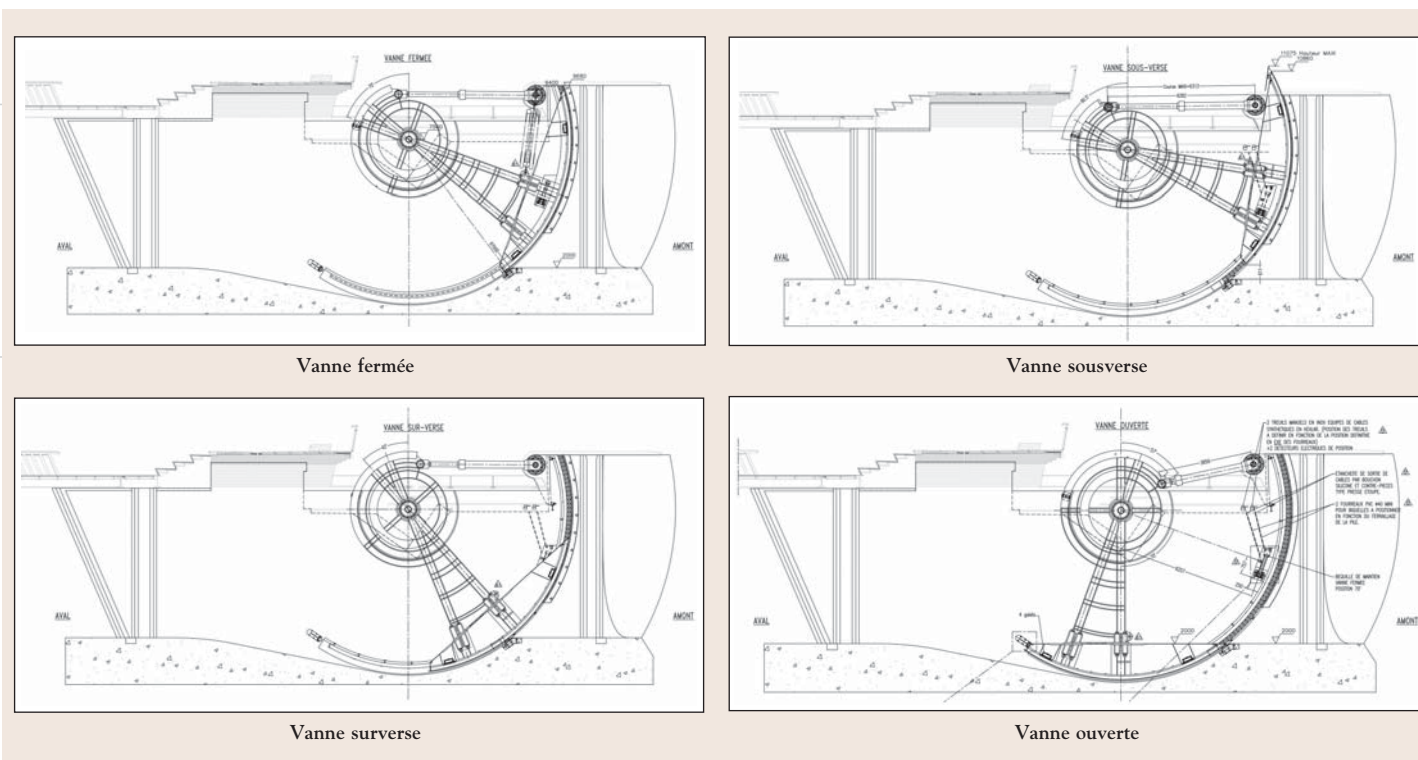


Figure 6
Les différentes positions des vannes
The various valve positions

Les deux appareils augmentés de rallonges permettent de le poser au fond du radier et offrent des surfaces planes pour assurer le réglage jusqu'à sa position finale (photos 5 et 6).

Les paliers de bras étant préalablement montés sur les piles béton, et ancrés par six tirants précontraints M75, les centres des deux paliers modélisent l'axe de rotation de l'ensemble et permettent ainsi, par une implantation réalisée par un géomètre, de définir la position finale du tablier.

L'opération suivante consiste à positionner les deux bras de manœuvre, équipés de leurs rotules, sur les axes des paliers de vanne respectifs (figure 6).

Une fois les éléments mis en place, débute le réglage de la position du tablier par rapport aux bras ; l'interface entre les platines de chacun des éléments sera

réalisée par le coulage sur site d'une résine de calage type Chockfast PR 610 FR. L'épaisseur variable (faiblement) de la résine permet d'absorber en partie les tolérances de fabrication et d'implantation sur site des différents éléments, afin d'assurer la géométrie globale de l'ensemble : essentiellement le rayon et la cylindricité du bordé de la vanne.

Après séchage de la résine, les boulons de liaison bras/tablier, 2 x 16 boulons HV10.9 M36 – couple de serrage 198 m.daN – seront mis en place (figure 7).

Le tablier de vanne est ensuite libéré de ses appareils de montage, les organes d'étanchéité sont installés sur sa périphérie et sur les pièces fixes déjà installées sur le béton.

S'ensuit la pose des quatre galets sur le tablier, en contact sur des chemins de roulement ancrés dans un

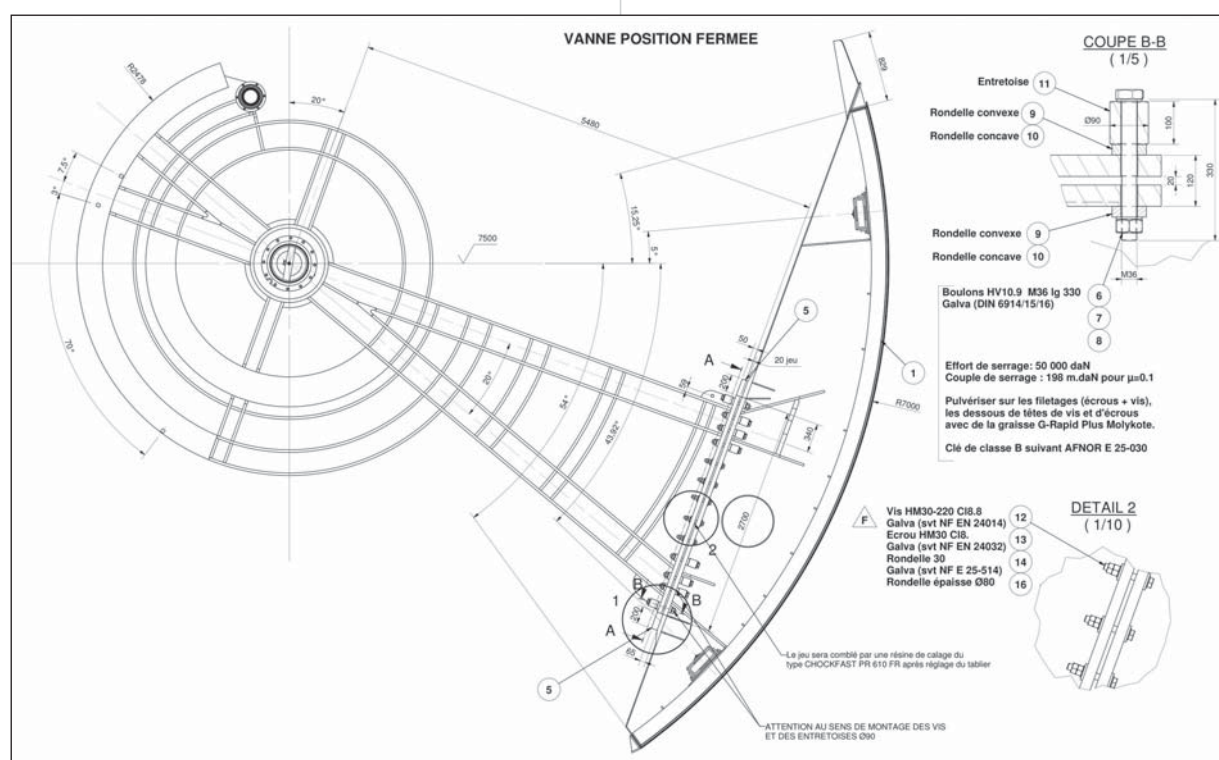


Figure 7
Détail liaison bras-tablier.
Montage boulons HV 10.9 et résine
*Detail of arm/gate leaf link.
HV 10.9 bolt and resin assembly*

Le barrage du Couesnon. Un ouvrage essentiel pour la « renaissance » du Mont-Saint-Michel

Figure 8
Montage
du joint de seuil
Weir seal
assembly

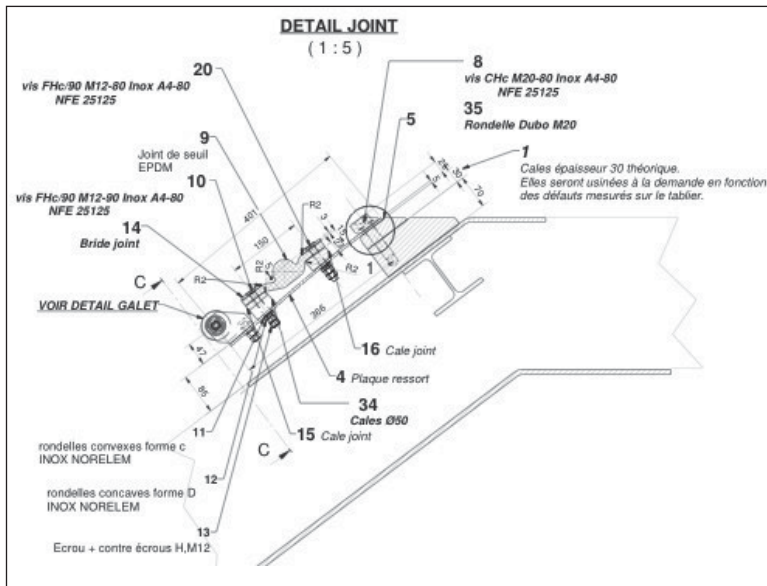
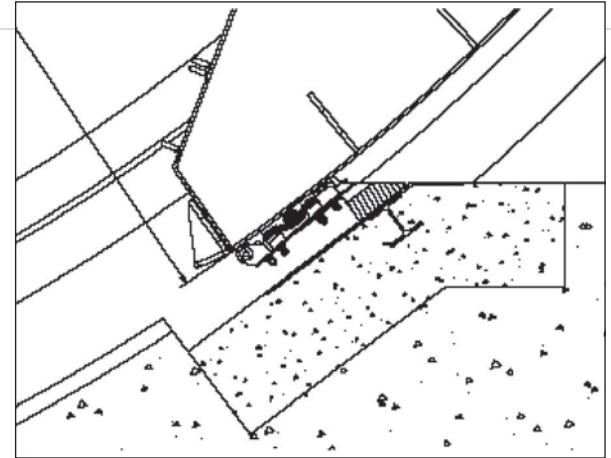


Figure 9

Configuration du joint de seuil. Vanne en position fermée
Weir seal configuration. Valve in closed position



béton de seconde phase. Ils permettent en fonctionnement de reprendre les efforts transversaux éventuels entre 8 et 10 tonnes.

L'ensemble désormais équipé doit être testé à sec afin d'ajuster les réglages des étanchéités et d'assurer la bonne rotation de la vanne dans la géométrie de la passe la recevant.

Ensuite, le montage des vérins, les raccordements électriques et hydrauliques de chacune des passes peuvent être effectués. L'appareillage (codeurs, capteurs...) nécessaire à la transmission de l'information du bon fonctionnement de chacune des vannes est monté et raccordé dans les locaux techniques de rives. Peuvent ensuite débiter les essais de fonctionnement des vannes.

■ Principe des étanchéités de vannes

L'étanchéité de la vanne est requise :

- au seuil et sur les bajoyers, lorsque la vanne est fermée ou fonctionne en surverse;
- sur les bajoyers uniquement lorsque la vanne fonctionne en sousverse.

Étanchéité latérale

Les faibles charges hydrauliques appliquées sur les joints pour assurer l'étanchéité et les vitesses d'écoulement importantes en chasse conduisent à la mise en œuvre d'un joint de type note de musique à double queue de grande dimension.

Étanchéité de seuil

La vanne est soumise à l'action de l'eau, soit à l'amont, soit à l'aval, qui induit une flèche du tablier vers l'aval ou vers l'amont.

Le jeu à compenser entre le tablier et le joint, s'établit ainsi :

- différentiel de flèche sous charge aval et sous charge amont = 10 mm;
- jeu fonctionnel minimal = 5 mm;
- intervalle de tolérance de fabrication et de montage de la vanne et du seuil = 15 mm;
- soit un jeu maximal à étancher = 30 mm.

L'étanchéité de seuil doit être assurée quelle que soit la position de la vanne en surverse, aussi bien en charge amont (le Couesnon) que sous charge aval (la marée), le contact du joint doit être permanent sur le bord de vanne en acier inoxydable.

Le joint de type note de musique – profil Oméga – est monté sur une tôle d'épaisseur 5 mm, en inox type X2CrNiMoN22.5.3 à haute limite élastique, ayant une très bonne tenue à la corrosion en eau de mer. Ce

LES DATES CLÉS DU PROJET

- 2006 : la construction du nouveau barrage sur le Couesnon commence
- Septembre – octobre 2007 : le groupement d'entreprises représenté par CM paimbœuf met en place les vannes du demi-barrage rive gauche dans leur passe
- Septembre 2007 à novembre 2007 : raccordements électriques et hydrauliques des quatre premières vannes RG
- Septembre à novembre 2007 : montage des structures métalliques pour le balcon maritime sur les quatre premières vannes RG
- Fin novembre 2007 : mise en fonctionnement minimale du premier demi-barrage RG
- Décembre 2007 : basculement des travaux au demi-barrage rive droite
- Septembre 2008 : début de mise en service industrielle de l'ensemble du barrage
- 2012 : tous les aménagements hydrauliques amont et aval sont réalisés
- 2020 : après plusieurs années, un large estuaire s'est reformé entre le rocher et le barrage. Le Mont n'est plus sous la menace de l'encercllement par les herbus.

montage permet d'absorber les déplacements relatifs du bordé dus à la pression hydrostatique, à la déformation de la vanne et aux tolérances de fabrication sur le rayon et la cylindricité du bordé. D'autre part, les efforts appliqués sur le joint sont repris, en partie, par sept galets roulant sur le bordé, au droit des aiguilles verticales. On limite ainsi les efforts de frottement dus aux étanchéités.

Dans tous les cas de chargements, une précontrainte minimale du joint doit être assurée pour garantir l'étanchéité de celui-ci (figures 8 et 9).

La mise en service du premier demi-barrage rive gauche – soit quatre vannes en service – est prévue fin 2007 (cf. encadré « Les dates clés »).

■ Un barrage avec vue

Afin de contempler le Mont entouré de ses grèves maritimes retrouvées, le barrage sera équipé sur sa longueur d'un balcon maritime s'ouvrant en amphithéâtre sur le paysage de la baie. D'une surface de 900 m², porté par des consoles métalliques ancrées sur les piles béton du barrage, ce balcon maritime sera un espace de détente et de découverte de la baie.

Traité comme un ponton de bateau en plâtrage bois, le balcon maritime sera entouré d'un garde-corps formant une sorte de longue table cintrée tel un bastingage, en figure de proue au-dessus des eaux, face au Mont-Saint-Michel. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Syndicat Mixte Baie du Mont-Saint-Michel constitué des régions Basse Normandie et Bretagne et du département de la Manche. Le département d'Ille-et-Vilaine apporte un financement

Conducteur d'opération

Mission Mont-Saint-Michel - Direction départementale de l'Équipement de la Manche

Maîtrise d'œuvre

BRL Ingénierie, Luc Weizman architecte, Spretec, Antea avec Bertrand Lançuit, paysagiste

Entreprises titulaires du marché 1 (génie civil)

Quille (mandataire) et Mastellotto

Entreprises titulaires des marchés 2 (équipements)

et 3 (superstructures)

CM paimbœuf (mandataire), Baudin Chateauneuf et Joseph Paris

Information et contact presse sur le projet :

Syndicat Mixte Baie du Mont-Saint-Michel

Site web : www.projetmontsaintmichel.fr

ABSTRACT

The Couesnon dam. An essential structure for the « renaissance » of Mont-Saint-Michel

Fr. Breton

Construction of the new dam on the Couesnon, which started in 2006, forms part of the programme for restoring the maritime character of Mont-Saint-Michel.

The operation of eight dam gates will make it possible, at high tide, to form a very large volume of water upstream of the dam, which will be gradually released at low tide. The « water flushing » system thus produced will push the sediments back out to sea away from the Mount and will free it from the hold of the salt marshes surrounding it.

The programme to stop the sanding up of Mont-Saint-Michel, focusing around the new dam, requires hydraulic engineering (upstream and downstream) on the Couesnon and the removal of the present parking lots and the road levee replaced by a link bridge. These 15 ha of shores restored to nature will make it possible to develop two channels on either side of the Mount, which will facilitate the retreat of the descending currents and thus prevent the deposition of sediments.

Reception structures with 4,000 parking spaces will be built 2.5 km from the Mount set back from the bay. They will be linked to the Mount by a system of shuttles and service vehicles, travelling over the central part of the link bridge.

RESUMEN ESPAÑOL

El estanque del Couesnon. Una obra primordial para el « renacimiento » del Mont-Saint-Michel

Fr. Breton

La ejecución del nuevo estanque sobre el río Couesnon, que dio comienzo en 2006, forma parte del programa de restablecimiento del carácter marítimo del Mont-Saint-Michel.

El funcionamiento de las ocho válvulas de la presa habrá de permitir, durante la pleamar, constituir un volumen de agua consecuente río arriba del estanque, que será progresivamente vertida durante la marea baja. El sistema de barrido producido de este modo permitirá rechazar los sedimentos en alta mar y liberará el Mont de las tierras magras que lo rodean.

El programa de desarenado del Mont-Saint-Michel, dirigido por el nuevo estanque, precisa diversos acondicionamientos hidráulicos (aguas arriba y aguas abajo) del río Couesnon así como la supresión de los aparcamientos actuales y del dique carretera sustituido por un puente-pasarela. Estos 15 hectáreas de playas arenosas devueltos a la naturaleza permitirán la creación de dos canales por ambas partes del Mont que facilitarán la retirada de las corrientes descendientes y evitarán así el depósito de los sedimentos.

Se realizarán diversas obras de acogida, con 4000 plazas de aparcamiento, a 2,5 km del Mont hacia la parte costera de la bahía. Un sistema de lanzaderas y de vehículos de servicio pondrá en comunicación estos aparcamientos con el Mont, y circularán en la parte central del puente pasarela.