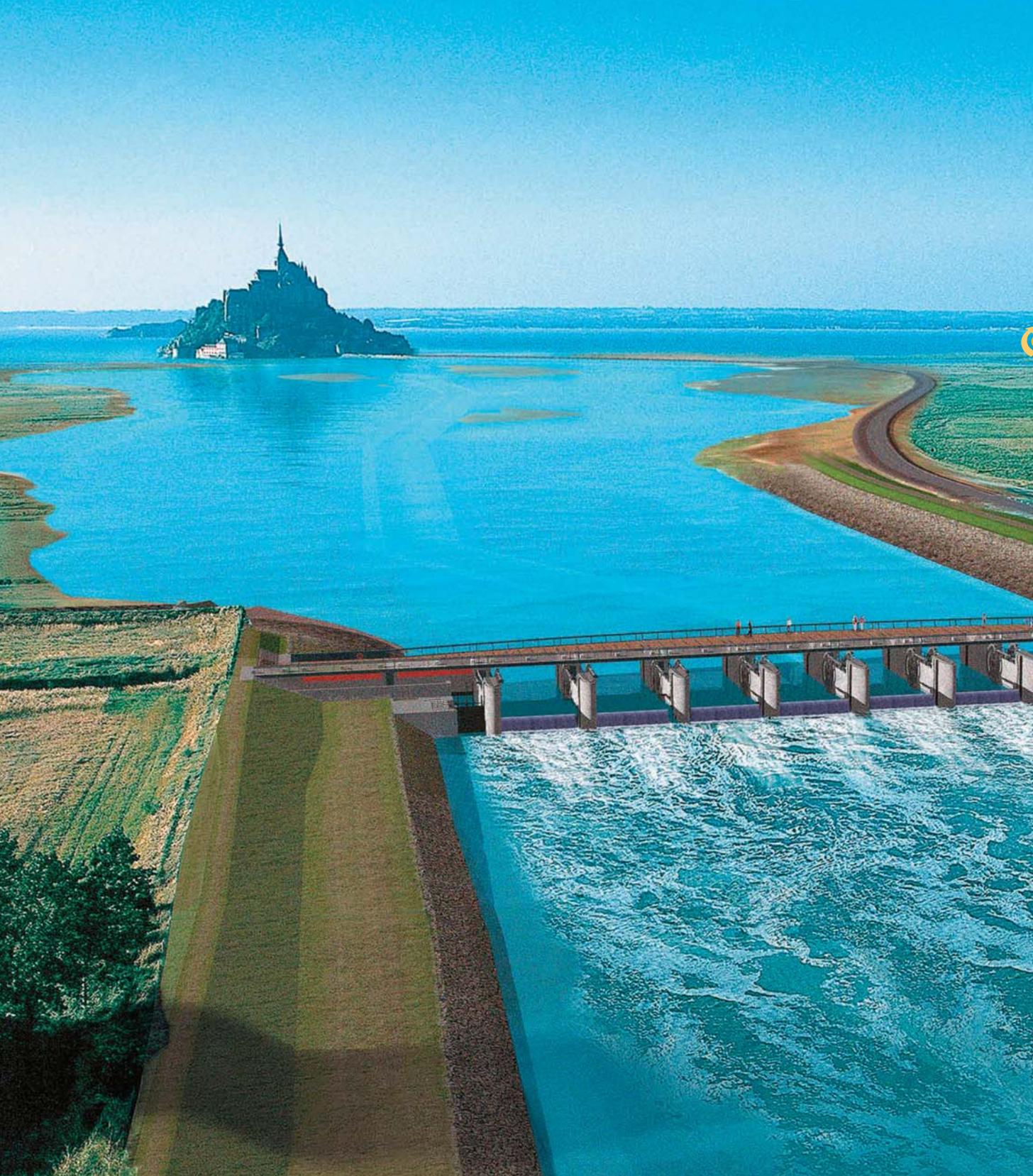


La revue technique des entreprises de Travaux Publics

Travaux

n°845
Octobre 2007



ENVIRONNEMENT ET ÉNERGIE

- Le barrage du Couesnon pour la « renaissance » du Mont-Saint-Michel
- Construction de la centrale hydroélectrique d'Artemare
- Autofonçage® Autoripage® à Boissy-Saint-Léger
- Le Végécol
- Roissy CDG 2. Déconstruction du terminal 2E
- Le liant végétal Biophalt®
- Station d'épuration des Grésillons
- Extension de l'hôpital de Monaco
- PASSiFy : stabilisation/solidification de déchets et de sols pollués
- Protection de la rivière Ondaine contre une pollution par hydrocarbures

Environnement et Énergie



Pour un développement mieux maîtrisé

Jean-Yves Martin
Président de la Commission
Développement durable
de la FNTP



En préparation du Grenelle de l'Environnement, la FNTP a présenté plusieurs propositions dont certaines, jugées pertinentes et d'intérêt national, ont été reprises dans les synthèses des groupes de travail transmises à Jean-Louis Borloo, ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables. Le pacte national des infrastructures de transport, l'anticipation des effets du changement climatique, la prise en compte spécifique des déchets des TP... sont parmi les principales propositions retenues.

En parallèle, la Commission Développement durable de la FNTP exhorte l'ensemble de la profession à la réduction des impacts de ses activités sur l'environnement. Plusieurs engagements ont été pris.

Valoriser les déchets de chantiers

Aujourd'hui, les entreprises de travaux publics produisent 280 millions de tonnes de déchets par an dont deux tiers sont déjà valorisés. Nous voulons aller plus loin et l'objectif est d'atteindre 80 % de taux de valorisation, voire au-delà... Encore faudra-t-il que les prescripteurs publics soient partie prenante dans cette démarche et intègrent systématiquement cette valorisation en amont des chantiers, dès la phase d'appel d'offres.

De nombreuses entreprises de tailles différentes maîtrisent d'ores et déjà ces techniques de valorisation et possèdent un vrai savoir-faire pour proposer des solutions innovantes. C'est aujourd'hui leur expertise, elles doivent démontrer qu'elles sont des aménageurs de l'environnement et que le passage d'une entreprise de TP sur un site n'apporte que de la valeur ajoutée. C'est le devoir de la FNTP que de les aider à avancer dans cette voie.

Diminuer les émissions de gaz à effet de serre (GES)

La Commission Développement durable vient de lancer une étude de faisabilité pour la diminution des GES sur les chantiers de travaux publics. À terme, cette étude doit permettre de proposer des solutions efficaces pour l'ensemble de la profession. Par exemple, si cela s'avère utile, on pourra réaliser une campagne de formation à l'éco-conduite pour les opérateurs ou proposer aux entreprises d'établir un bilan CO₂ appliqué à leur parc d'engins et véhicules.

Encourager les entreprises dans leur démarche RSE

Au-delà du volet environnemental, la FNTP accompagne les entreprises qui le souhaitent dans un diagnostic RSE (responsabilité sociétale des entreprises).

Les entreprises de TP sont parmi les premières concernées par cette problématique puisque leurs métiers d'aménageurs du territoire consistent à construire, façonner, organiser et entretenir les infrastructures. L'engagement dans une démarche RSE permet, à titre d'exemple, de mettre en cohérence des actions relatives à la gestion des déchets ou de l'énergie, la mise en place de plans de prévention des risques, de plans de recrutement et de formation, ou de dispositifs de gestion des compétences.

C'est incontestablement une démarche de progrès pour l'entreprise et un avantage compétitif en termes de marché.

Cette démarche tend également à prendre en compte les aspirations actuelles des peuples à ne pas condamner les générations futures à subir les conséquences d'un développement mal maîtrisé.

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

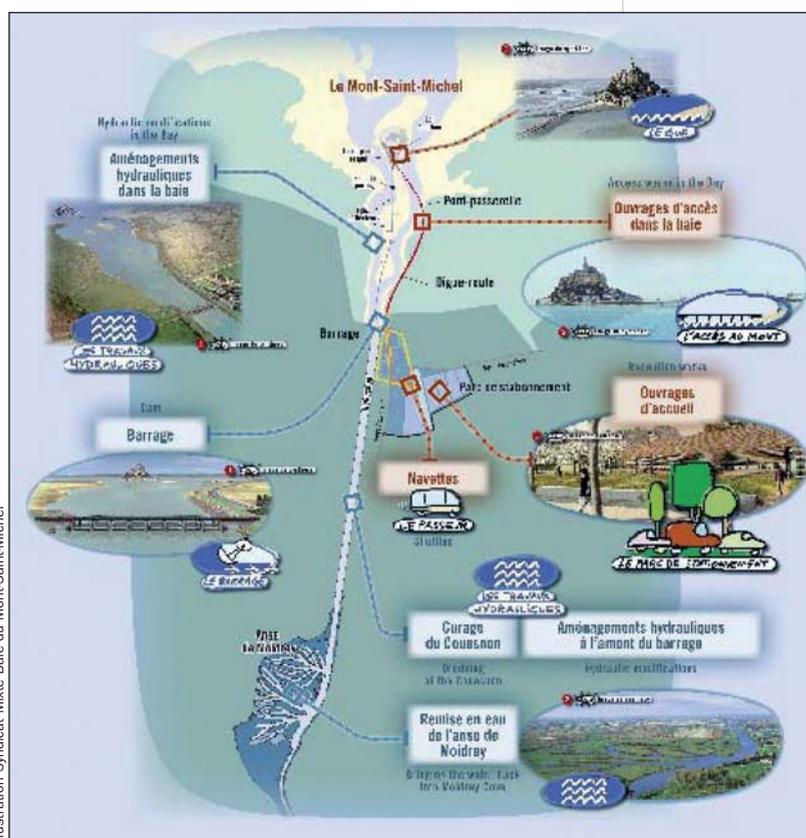


Illustration Syndicat Mixte Baie du Mont-Saint-Michel

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 Chateaufort - 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.



Équipe de maîtrise d'œuvre du barrage : BRL Ingénierie / Luc Weizmann, architecte / SPRETEC / ANTEA
C. Claden Maquettiste / N. Borel Photographe

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 :

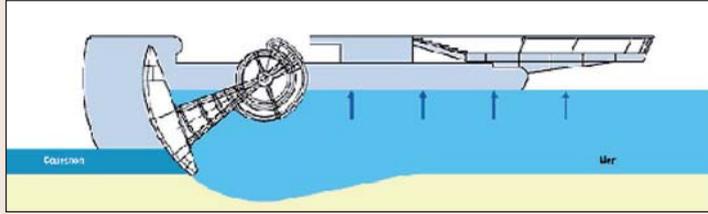
- 20 tonnes d'acier, dont 6 tonnes d'inox Uranus 45 qui constituent la tôle de bordé;
- 830 heures d'atelier de fabrication dont 315 heures d'assemblage, et 380 heures de soudage;
- 550 ml de cordons de soudure, de a = 5 mm à 8 mm.

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

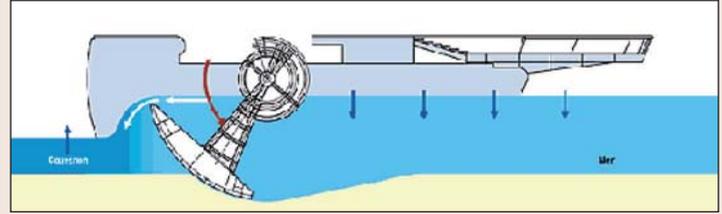
Figure 3

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

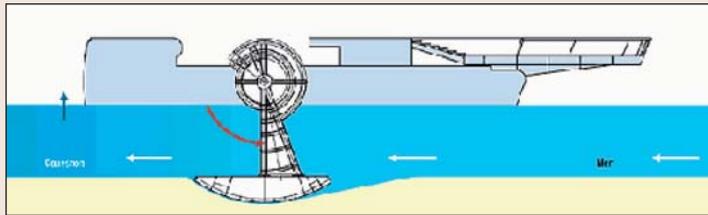
The various phases of movement of valves of the future dam on the Couesnon



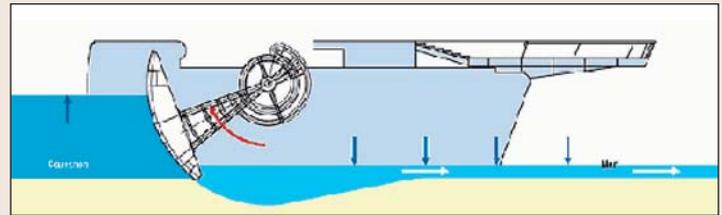
Phase 1 - PM - 1 h. Attente de décantation du flot
Le premier flot de marée qui arrive 1 h avant la pleine mer est le plus chargé en sédiments. Ces sédiments se déposent naturellement dès que la marée bute sur le barrage fermé



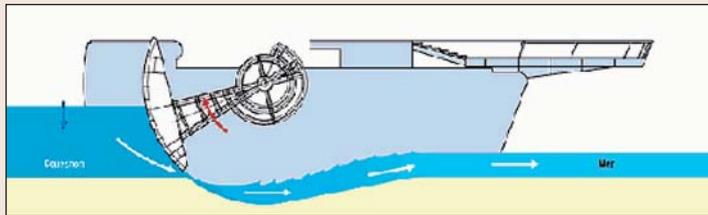
Phase 2 - Ouverture en surverse à PM - 10 minutes
Un remplissage par surverse permettra de remplir le Couesnon amont avec l'eau la moins chargée en sédiments. L'heure d'ouverture des vannes par rapport à la pleine mer au Mont est un point clé pour contrôler la charge en sédiments des eaux entrant dans 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



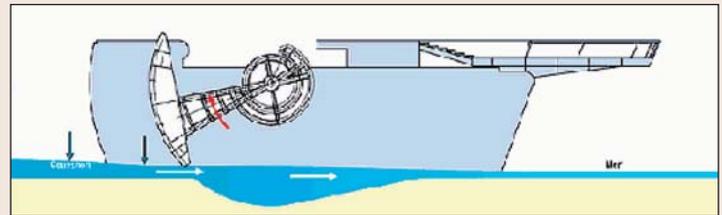
Phase 3 - Remplissage puis fermeture
La fermeture des vannes se fait au voisinage de PM - 1h30, lorsque les niveaux sont équilibrés de part et d'autre du barrage, ce qui conduit à une durée de remplissage d'environ 1h 40min. Cette durée est très courte par rapport au volume qui doit transiter par le 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



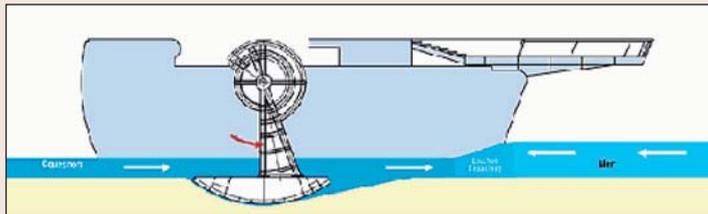
Phase 4 - Attente du moment de la chasse (PM + 6 h)
Les eaux entrées à marée haute sont conservées : viennent s'y ajouter les apports fluviaux du Couesnon. Une ouverture spéciale est prévue dans chaque chenal pour le débit réservé dont le rôle principal est de maintenir en eau et de matérialiser en permanence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



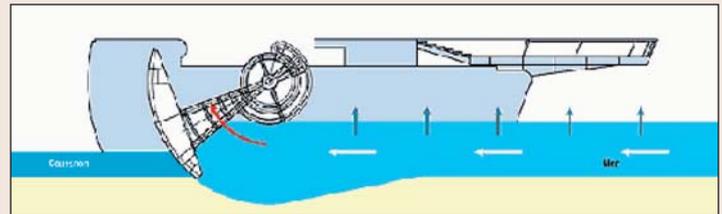
Phase 5 - Ouverture progressive et contrôlée des vannes à marée basse à PM + 6 h
L'ouverture lente et progressive des vannes permet une chasse contrôlée pour disposer de chasses soutenues durant environ 1 heure. Le contrôle des niveaux d'eau permettra d'assurer un débit quasiment constant sur cette durée



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

Illustration Syndicat Mixte Baie du Mont-Saint-Michel



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 soudeure 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

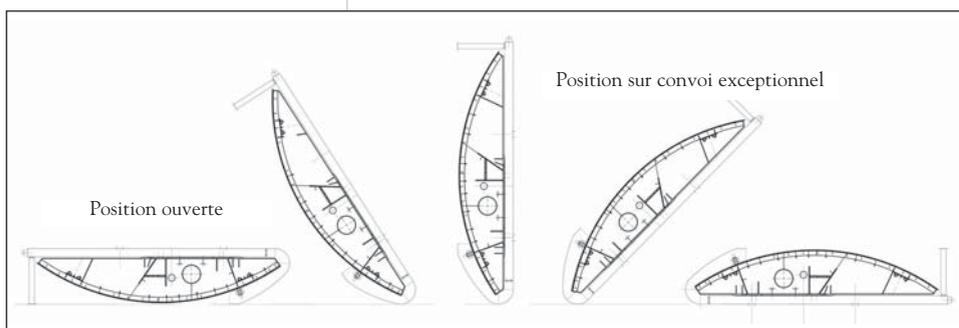
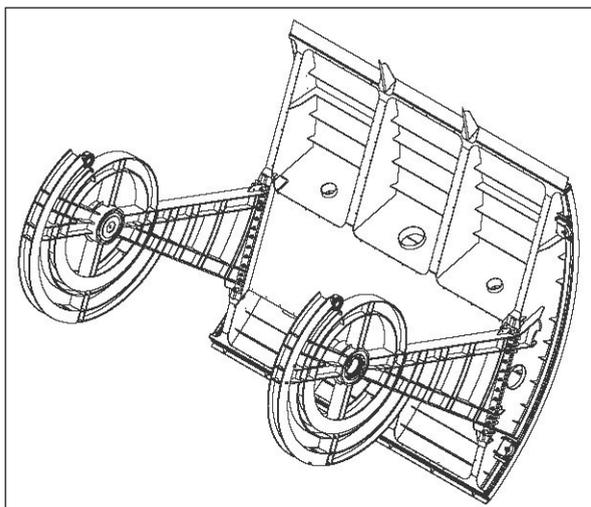
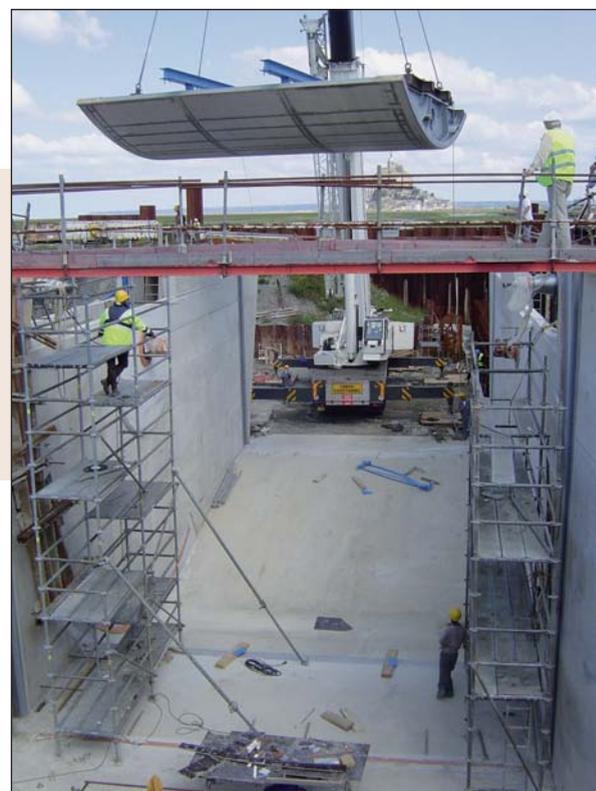


Figure 5
Outillage de retournement
des tabliers de vanne
Tooling for overturning valve
gate leaves



Photos 5 et 6
Montage du tablier
Gate leaf erection



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.

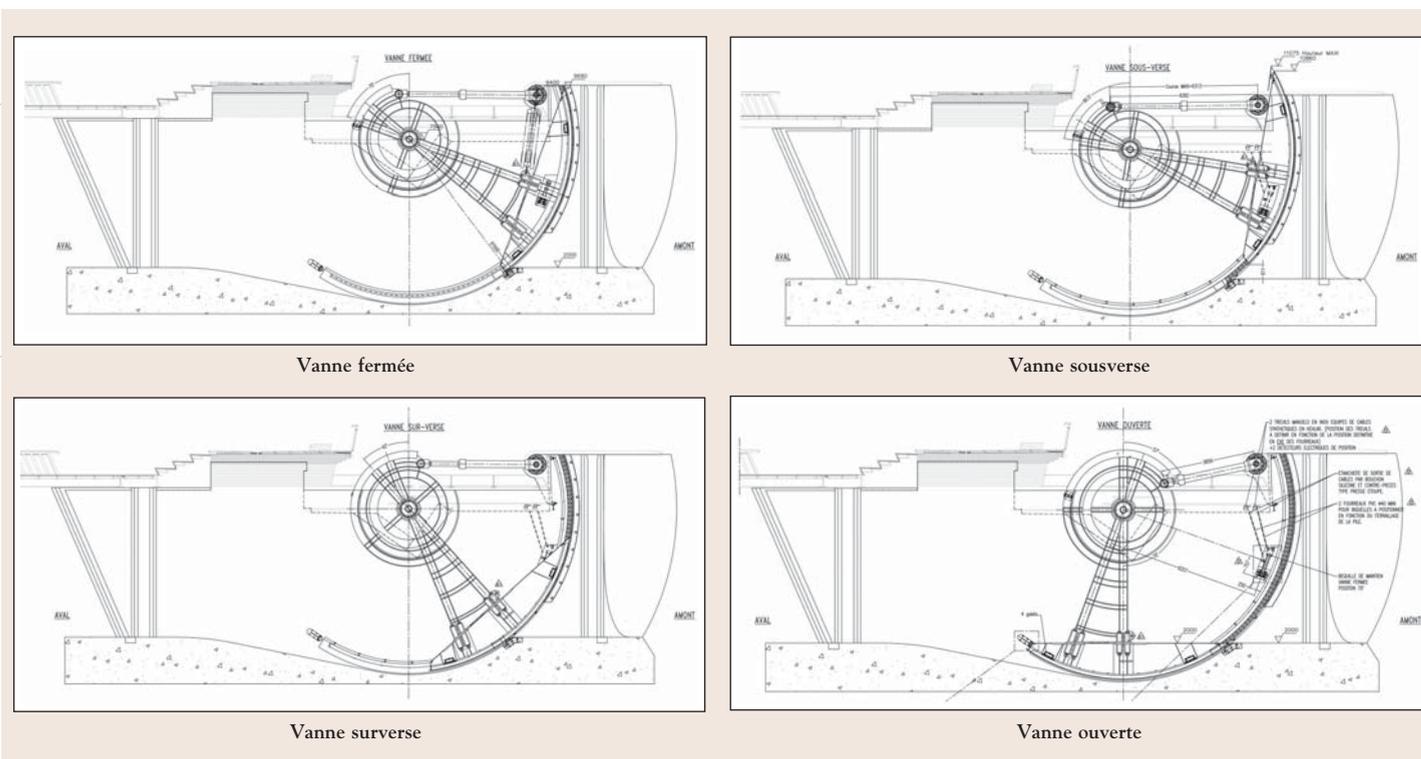


Figure 6
Les différentes positions des vannes
The various valve positions

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

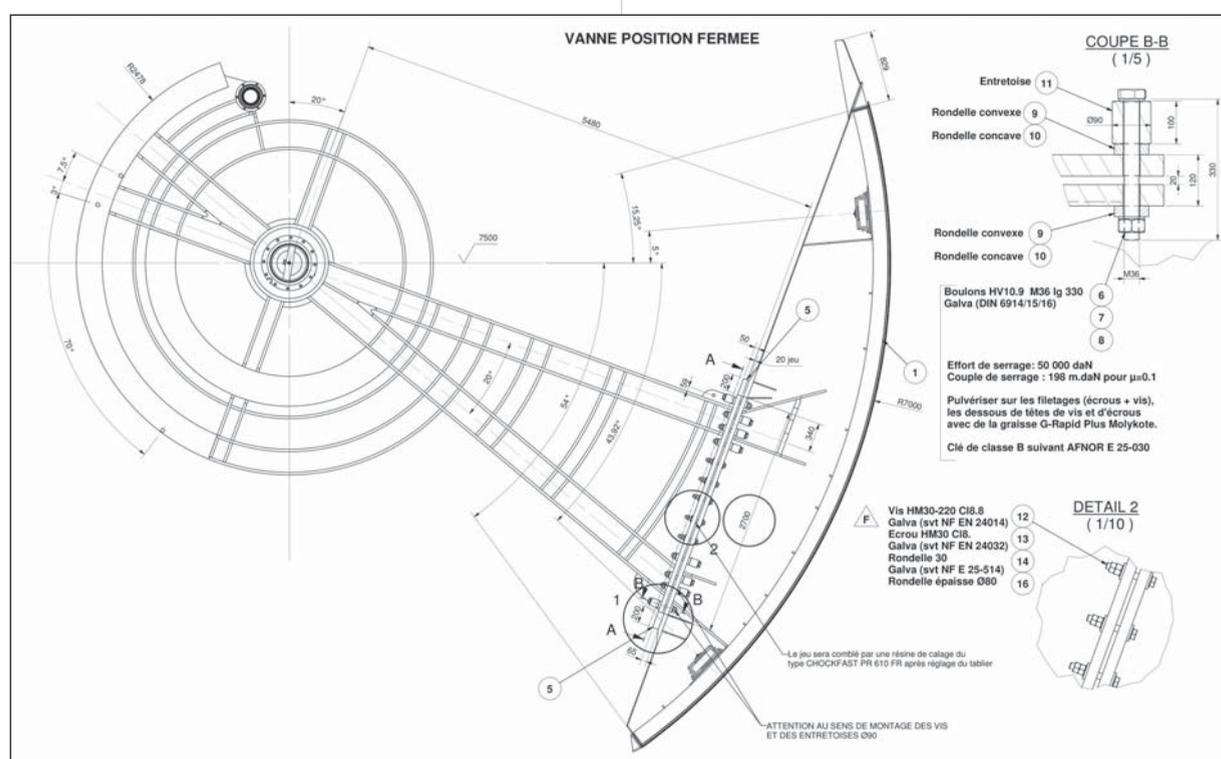


Figure 7
Détail liaison bras-tablier.
Montage boulons HV 10.9 et résine
*Detail of arm/gate leaf link.
HV 10.9 bolt and resin assembly*

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

Figure 8
Montage
du joint de seuil
Weir seal
assembly

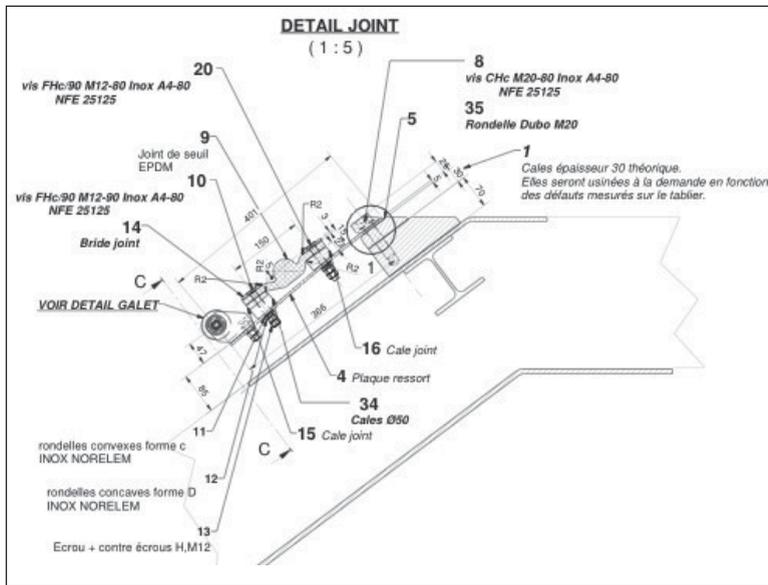
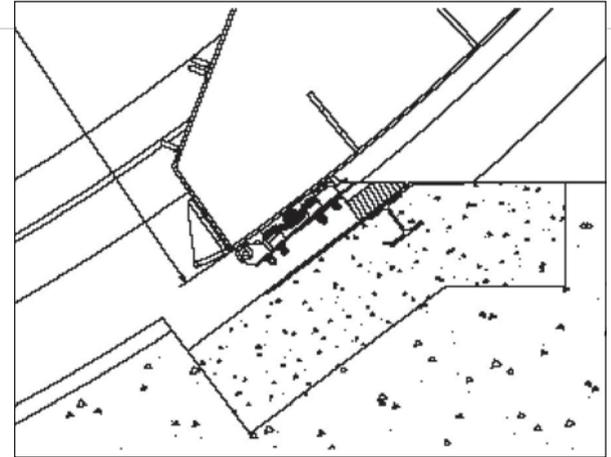


Figure 9
Configuration du joint de seuil. Vanne en position fermée
Weir seal configuration. Valve in closed position



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'encerclément 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.

Construction de la d'Artemare

La centrale hydroélectrique dite d'Artemare, située dans le village d'Artemare dans l'Ain, est un projet de construction de centrale neuve mise en service en début d'année 2007. Les premiers turbinages font suite à plusieurs années d'études et de demandes d'autorisation, conclues par un chantier de deux ans. Le projet est constitué d'une prise d'eau en rivière avec réaménagement de seuil existant, d'une conduite forcée en acier de diamètre 1400 mm générant 114 m de chute brute, et de la centrale, bâtiment de 300 m² équipé de deux turbines Francis avec restitution de l'eau turbinée à la rivière.

Les disciplines en jeu pour la réalisation de l'ouvrage sont diverses et variées : géotechnique et terrassement, pose de conduite acier soudé soit enterrée, soit aérienne, génie civil en rivière, système de pompage notamment pompage à vide, équipement turbine, électromécanique.

Notons que l'ensemble des représentants en matière d'énergie, nationaux et internationaux, classe ce type d'aménagement de production dans les énergies renouvelables.

■ Cadre du projet

Objectif du projet

L'objectif du projet est de turbiner une partie des eaux du cours d'eau « Le Groin » afin de produire de l'électricité et de l'injecter au réseau d'Électricité de France.

Le site

Les eaux de la rivière « Le Groin » ont ceci de particulier qu'elles proviennent d'une résurgence vaclusienne, c'est-à-dire d'une résurgence d'eau au niveau

d'une cavité naturelle située en pied de massif karstique, exutoire d'un réseau hydrogéologique situé dans le massif calcaire du Haut Bugey. Le Groin voit ses débits varier de moins de 50 l/s à l'étiage à plus de 80 m³/s en crue centennale, selon notamment que la résurgence vaclusienne débite ou non. À un kilomètre en aval de la source vaclusienne, le ruisseau descend dans d'étroites et profondes gorges taillées dans le calcaire. Les eaux du Groin sont déviées et turbinées à ce niveau par le projet. Le Groin, via son affluence sur le Sérans, se jette dans le Rhône quelques dizaines de kilomètres à l'aval du projet.

La géologie

L'ensemble du projet prend place dans des calcaires subaffleureurs, compacts fracturés, à interbancs marneux de 10 à 15 cm, voire en bancs épais.

Ces terrains rocheux sont recouverts par une couche métrique de matériaux alluviaux morainiques argilo-sableux.

Le projet

L'aménagement comprend :

- la construction d'une prise d'eau sur le cours d'eau située à l'emplacement d'un ancien moulin à la cote + 361,00 m NGF;
- la pose d'une conduite en acier de diamètre nominal 1400 mm installée en rive droite du ruisseau, sur une longueur de 1000 m.

Compte tenu des contraintes de site et administratives, la conception prévoit un fonctionnement en « siphon » au démarrage du tracé. Ainsi, le profil en long de la conduite gravitaire, au sortir de la prise d'eau, est ascendant avant d'amorcer sa descente sur la centrale. Le remplissage initial de la conduite et du siphon se fait par pompage, complété d'un pompage à vide placé au point haut du profil. Le fonctionnement permanent est ensuite assuré par l'écoulement gravitaire, une fois le siphon et donc la colonne d'eau amorcés. Ce profil amène ainsi un fonctionnement en dépression sur les 350 m supérieurs du profil en long, ce qui est une particularité hydraulique peu courante pour une conduite forcée.

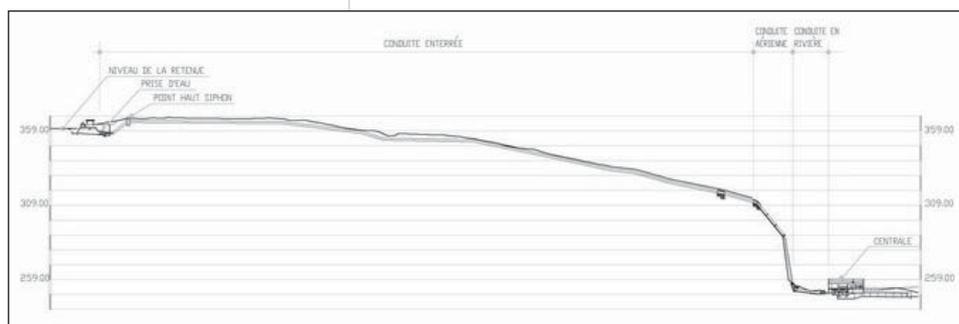
La conduite Ø 1400 mm est enterrée sur 90 % de sa longueur, un tronçon aérien en falaise sur l'aval du tracé domine et descend à la centrale construite;

- une centrale hydroélectrique en aval immédiat de la chute terminale avec une restitution au niveau + 247,00 m NGF (figure 1).

Les principales caractéristiques de l'aménagement sont les suivantes :

- débit dérivé/débit d'équipement : 5,5 m³/s;
- hauteur de chute géométrique : 114,0 m;

Figure 1
Profil en long du projet
Longitudinal section
of the project



centrale hydroélectrique



Christophe Convert
Président
Forces Motrices
du Gelon



Didier Grataloup
Ingénieur génie civil
Sogreah, division
énergie et barrages



Photo 1

Prédécoupage de la tranchée à la trancheuse
Trench pre-cutting by trencher

- chute nette (incluant les pertes de charge sous 5,5 m³/s) : 103,0 m;
- équipement : deux turbines Francis;
- puissance installée : 5 000 kW (soit 5 MW).

L'aménagement fonctionnera au fil de l'eau dans la limite du débit dérivé autorisé, 5,5 m³/s, et du débit réservé de 0,3 m³/s.

L'énergie produite est délivrée sur le réseau EDF 20 kV.

Les marchés de travaux sont décomposés en quatre lots, le montant total des travaux étant de 5 000 000 d'euros HT. Le déroulement des travaux s'est étalé sur deux années, 2005-2006.

■ Le chantier

Les terrassements généraux

De la prise d'eau à la centrale, le chantier s'étale sur 1 000 ml. La principale difficulté du chantier consiste à terrasser au total 10 000 m³ de matériaux à 80 % rocheux compacts voire très compacts, et ce sans utilisation d'explosifs interdits sur ce chantier, par souci de préservation du système d'écoulement des eaux souterraines dans le massif touché par les travaux.

La campagne géophysique réalisée à l'étude donnait les vitesses sismiques suivantes :

- de l'ordre de 350 m/s dans les terrains meubles de surface d'épaisseur 1 à 2 m;
- de l'ordre de 3 400 m/s dans les terrains rocheux.

Deux techniques de terrassement ont été mises en œuvre :

- terrassement au brise-roche hydraulique (deux pelles hydrauliques Caterpillar 350 équipées de BRV 45);

- terrassement à la trancheuse à titre expérimental (trancheuse Verneer T150) (photo 1).

La profondeur des fouilles, jusqu'à 7 m, et la dureté des matériaux ont posé problème au terrassier, malgré la puissance élevée des moyens mécaniques mis en place. La durée totale des terrassements en tranchée a été de 4 mois, soit un ratio de volume terrassé en terrain rocheux de l'ordre de 100 m³/jour à deux BRH. Les produits de déblai rocheux ont été triés, concassés sur site et réutilisés en remblai.

L'utilisation de la trancheuse a été tentée, en complément des pelles hydrauliques, dans les sols les plus durs pour réaliser un « prédécoupage » par creusement d'une saignée de 60 cm de large, de profondeur 3 m environ. Des cadences de l'ordre de 10 ml/jour dans le rocher ont été constatées. Les produits extraits sont très fins, réutilisés en lit de pose.

Le seuil déversant générant la retenue d'eau

Un seuil en pierres de taille de hauteur 3 m existe déjà depuis quelques siècles sur le site, utilisé originellement pour la découpe du bois via la force motrice de l'eau.

La réhabilitation prévue au projet a consisté :

- au renforcement du seuil à profil poids à l'aide d'un contre-voile béton armé accolé à l'amont du seuil existant. Ce contre-voile est ancré dans la fondation rocheuse par une barre Ø 25 mm/ml, de longueur 5 m;
- à la réalisation d'une vanne de chasse de la retenue, type vanne murale en acier mécano-soudé de section passante 1,60 m x 1,60 m, actionnée par vérin hydraulique immergé.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage, privée

Société familiale Forces Motrices du Gelon représentée par M. Convert

Conception, suivi des travaux

Bureau Sogreah Consultants basé à Grenoble

Marchés de travaux

- Génie civil : Jacquet BTP
- Conduite : groupement Rampa - Famy, travaux acrobatiques CITEM
- Turbines et générateurs : groupement Va Tech Bouvier Hydro - Moteurs Leroy Sommer
- Equipements, électricité : SOTEB

Construction de la centrale hydroélectrique d'Artemare



Photo 2

Vue du seuil déversant et de la prise d'eau achevés

View of the completed weir and water intake



La prise d'eau

La prise d'eau est encastrée dans la berge rocheuse, en rive droite de la rivière. Un entonnement en béton armé de 6,50 m de large, de 4,50 m de haut, permet la prise en rivière. Le génie civil est conçu et réalisé avec une réduction progressive de la section de prise jusqu'au diamètre nominal de la conduite de 1400 mm. L'ensemble de la prise est coulé en place, 350 m³ de béton sont nécessaires à sa réalisation. Les berges amont sont stabilisées par une carapace d'enrochements libres (photo 2).

En termes d'équipement, la prise accueille principalement :

- une grille d'acier à l'entonnement, d'entrefer 20 mm nettoyée par un dégrilleur automatique, afin d'éviter l'entrée dans la conduite de produits de charriage supérieurs à cette dimension;
- compte tenu du fonctionnement en siphon, un puits équipé de deux pompes de capacité 200 l/s chacune permettant le remplissage de la conduite;
- une vanne Ø 1400 mm dite vanne de tête de la conduite, sa fermeture permettant notamment le remplissage de la conduite ainsi que l'arrêt d'alimentation en eau de l'ouvrage en cas de détection de dysfonctionnements sur l'ouvrage.

Pour sa construction, l'entreprise a réalisé des cordons de remblai dans la rivière faisant office de batardéau, guidant les eaux du ruisseau sur la berge opposée aux travaux. Les plus grosses crues survenues lors du chantier ont inondé le chantier à plusieurs reprises sans toutefois occasionner de dégâts majeurs.

La conduite forcée

Le siphon en dépression à l'amont

Au niveau du point haut du profil en long, situé à 40 m à l'aval de la prise d'eau, est construit un local assurant l'amorçage et le maintien de la colonne d'eau en dépression dans la conduite. Cet organe constitue la partie sensible de l'ouvrage, compte tenu des dépressions minimales calculées se rapprochant de la pression de vapeur saturante, à savoir -10,00 m, que l'on souhaite éviter (photo 3).

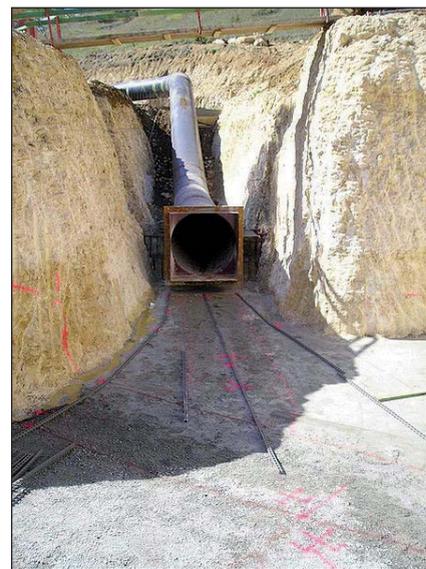


Photo 3

Vue depuis la prise d'eau, départ de la conduite ascendante

View from the water intake, start of the ascending pipe

Le point haut du profil de la conduite est équipé d'une pompe à vide assurant le remplissage permanent de la conduite et donc la continuité de la colonne d'eau. La pompe à vide est une pompe à anneau liquide de 250 mb de pression absolue.

La conduite

La conduite est composée de viroles acier de nuance 355 MPa, de diamètre 1400 mm, de longueur 12 m, d'épaisseur 11 mm. Le revêtement intérieur est en époxy, le revêtement extérieur en polyéthylène extrudé. Les joints sont de type « slip joint » dit également joint « S ». Pour information, on note qu'il s'agit sensiblement des dernières conduites acier confectionnées par l'ex-fabricant Europipe.

Compte tenu de la faible conductivité des sols, il n'a pas été retenu de protection cathodique sur l'installation.

Trois profils type se distinguent :

- conduite enterrée de -1,00 m à -5,00 m sous le TN;
- conduite aérienne en falaise;
- conduite en rivière.

Les conduites enterrées sont posées sur lit de sable. Au niveau de chaque assemblage, soit tous les 12 m, des niches dans le lit permettent d'accéder à l'ensemble du périmètre de la conduite pour la souder. La conduite est entièrement enrobée par géotextile anti-poinçonnement de grammage 700 g/m² puis par un matériau type grave concassé 0/31,5 mm, issu du concassage sur site des produits de déblai (photo 4).



Photo 4

Travaux de pose de la conduite
Ø 1400 mm

Work laying the 1400 mm dia. pipe

Selon les cas, l'assemblage des tubes est assuré soit par soudure intérieure ou extérieure seule, soit par soudure intérieure et extérieure. À l'extérieur, des bandes thermo-soudées recouvrent et protègent chaque assemblage, à l'intérieur une finition des joints par peinture époxy est réalisée.

Sur le linéaire enterré en pente douce, la conduite est posée pleine fouille, soudée puis remblayée, sans massif de maintien. Au niveau des tronçons enterrés à pente plus forte (de l'ordre de 20 %) et du tronçon aérien, des massifs béton armé de maintien de la conduite sont coulés en place, d'un volume de l'ordre de la centaine de mètres cubes chacun. Ces massifs fondés au rocher sont cloués par barre acier Ø 32 mm, longueur 12 ml dans la fondation stratifiée. En rivière, la conduite est entièrement enrobée de béton faiblement armé nécessaire à la protection et au lestage de l'ouvrage.

Au niveau des tronçons enterrés situés entre deux massifs donc en cote bloquée, une température de clavage de l'ordre de 10 °C a été retenue par les entreprises, générant ainsi un assemblage de la conduite sensiblement dans les conditions de sa température moyenne d'exploitation estimée.

Les essais et tests réalisés *in situ* sur la conduite sont :

- essais de ressuage sur l'ensemble des soudures réalisées;
- sur le tronçon aérien plus sensible, contrôle par magnétoscopie;



Photo 5

Travaux de pose de la conduite
Ø 1400 mm en falaise

Work laying the 1400 mm dia. pipe on a cliff



Photo 6

Vue plongeante sur le tronçon
aérien et la centrale
en construction en contrebas

Plunging view of the above-ground section and the power station undergoing construction below

- essai en eau à 1,3 fois la pression statique, soit une pression d'essai de 13 bars. L'essai a été réalisé sur l'ensemble du linéaire, concluant dès la première fois.

Point spécifique : la conduite aérienne

La conduite aérienne se compose d'un premier tronçon de 40 ml de pente longitudinale 45°, puis d'une chute verticale en falaise de 25 ml. Au coude de ces deux tronçons, dit « coude libre », sont repris les déplacements de l'ouvrage générés par les variations de température ambiante.

Une opération de levage par grue mobile de capacité 200 t a permis, après un pré-assemblage des viroles, le montage du tronçon aérien (photo 5). Au préalable, les entreprises ont réalisé une purge des blocs instables de ce tronçon afin d'éviter d'éventuelles chutes ultérieures de blocs, sur la conduite installée notamment. Notons qu'en termes d'exploitation, un écoulement minimal dans la conduite devra être assuré en période de gel (< -5 °C) afin d'assurer le fonctionnement tous temps de la conduite en eau (photo 6).

Construction de la centrale hydroélectrique d'Artemare

Figure 2

Profil de la centrale
Profile view of power station

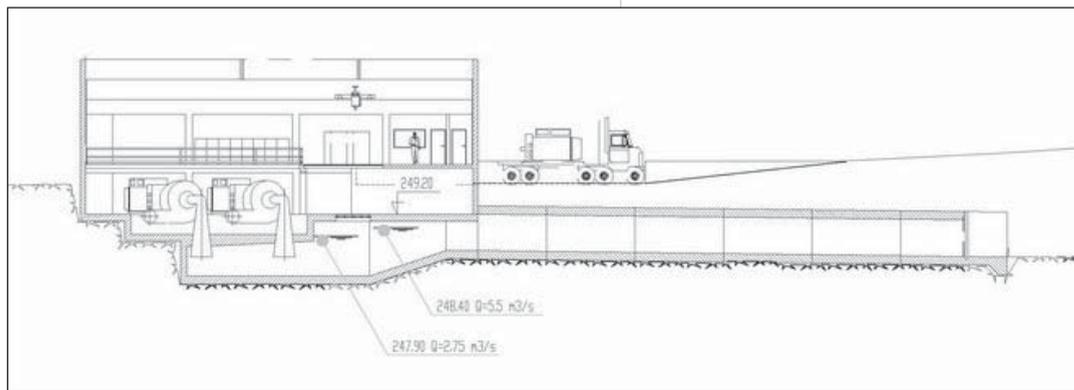


Photo 7

Vue sur la centrale
en construction dans le cours
d'eau
View of power station
undergoing construction
in the watercourse



La centrale

La centrale est un bâtiment de 300 m² de surface au sol. Elle abrite :

- deux turbines Francis à axe horizontal permettant de turbiner les eaux;
- l'ensemble des équipements électriques assurant la restitution de l'énergie sur le réseau public géré par Électricité de France (figure 2).

Le bâtiment est constitué de plusieurs niveaux altimétriques, depuis le bas vers le haut :

- un niveau inférieur composé du bassin de réception des eaux turbinées s'évacuant sur un chenal de restitution de section hydraulique 2 m x 2 m;

- un plancher technique accueille les deux groupes, c'est-à-dire les turbines couplées à leurs alternateurs respectifs. Chaque groupe est alimenté par une conduite de diamètre 900 mm alimentant la bache spirale. Ce plancher est d'épaisseur métrique pour pallier les vibrations générées par les groupes;
- un étage accueille l'ensemble des commandes électriques et un bureau;
- en élévation, le pont roulant de capacité 16 t permet la manutention, l'installation et l'évacuation éventuelle des différents organes de la centrale (photo 7). L'ensemble du bâtiment est coulé en béton banché, un volume d'environ 700 m³ est ainsi mis en œuvre. Il est construit à proximité d'un lotissement, son exploitation ne doit pas troubler l'environnement acoustique du lieu. Tous les équipements en lien avec l'extérieur, menuiserie, prise et extraction d'air, toiture, sont ainsi choisis en fonction de leur performance d'abaissement du niveau sonore (photo 8).

Le bâtiment est calé dans le lit majeur de la rivière au plus bas afin de mettre à profit au mieux la chute disponible. Le niveau inférieur et le plancher technique sont soumis au niveau de la rivière et sont étanches. De plus, le bâtiment est protégé contre la crue centennale par une digue de plusieurs mètres de haut, contiguë à la centrale. Cette digue en remblai est recouverte d'environ 1,50 m d'enrochements libres issus du lit du cours d'eau.

Comme pour la prise d'eau, l'entreprise a réalisé des cordons de remblai dans la rivière faisant office de batardieu. Les plus grosses crues survenues lors du chantier ont inondé le chantier à plusieurs reprises sans toutefois occasionner de dégâts majeurs.

Enfin, l'ensemble du fonctionnement de la centrale est commandé par un automate programmable gérant au mieux les eaux entre le débit de prise, le débit réservé et le débit surversé. Une fibre optique entre la centrale et la prise d'eau permet la liaison entre les deux organes essentiels que constituent la prise d'eau et la centrale.

■ Mise en service et exploitation

Depuis début 2007, la centrale est en exploitation et délivre l'énergie électrique au réseau public. Quelques désamorçages intempestifs liés à l'exploitation du siphon sont survenus amenant l'exploitant à affiner sa connaissance et sa gestion de cet organe sensible. L'ensemble de l'installation atteint ses objectifs de fonctionnement et de production. ■



Photo 8

Les deux turbines Francis en cours de montage
The two Francis turbines being assembled

ABSTRACT Construction of Artemare hydropower plant

Ch. Convert, D. Grataloup

Artemare hydropower plant, in the village of Artemare in the Ain département, is a new plant construction project that was commissioned in early 2007. The turbines turned for the first time following several years of studies and statutory procedures, culminating in two years of works. The project comprises a river water intake with a redeveloped weir, a 1400 mm diameter steel penstock generating a gross head of 114 metres, and the power plant, a 300 m² building equipped with two Francis turbines, with the turbined water returned to the river.

The design and construction of the power plant called on a wide variety of disciplines : geotechnics and earthworks, laying of the welded steel penstock both below and above ground, civil engineering in a river environment, pumping systems (notably vacuum pumping), turbine equipment and electromechanics.

It should be noted that all energy bodies, both national and international, place this type of scheme in the renewable energy category.

RESUMEN ESPAÑOL Construcción de la central hidroeléctrica de Artemare

Ch. Convert y D. Grataloup

La central hidroeléctrica denominada de Artemare, ubicada en el municipio de Artemare en el departamento del Ain, constituye un proyecto de construcción de una nueva central que ha entrado en funcionamiento a comienzos del año 2007. Los centrifugados preliminares son el resultado de varios años de estudios y de solicitudes de autorización, finalizadas por una obra de dos años. El proyecto está formado por una captación de agua en el río con un reacondicionamiento del vertedero existente, una conducta forzada de acero de 1400 mm de diámetro y que genera 114 m de salto bruto, así como la central, edificio de 300 m² dotado de dos turbinas Francis con restitución del agua captado en el río.

Son diversas y variadas las disciplinas en juego para la ejecución de la estructura : geotécnica y movimiento de tierras, tendido de canalización de acero soldado ya sea enterrada, o bien aérea, ingeniería civil en río, sistema de bombeado, principalmente bombeado en vacío, equipo turbina, electromecánica.

Cabe destacar que el conjunto de los representantes en materia de energía, nacionales e internacionales, clasifican este tipo de realización de producción en las energías renovables.

Autofonçage® - Un record pour

Conclusion d'un marché attribué par la RATP à un groupement associant Eiffage et Guintoli avec Freyssinet (Vinci Construction) en sous-traitance, un chantier inédit de ripage de deux ouvrages d'art a été réalisé début août sous les voies du RER A à Boissy-Saint-Léger (Val-de-Marne). Mettant en œuvre les méthodes d'Autofonçage® et d'Autoripage® de JMB Méthodes (Freyssinet), cette opération a vu la mise en place en 28 heures de deux ouvrages aux dimensions exceptionnelles dont le plus important, avec ses 12500 t, était plus lourd que la tour Eiffel.



Photo 1

Vue générale du PS8 de 12500 t
General view of the 12,500-tonnes PS8



Début août dernier, deux passages supérieurs supportant les voies du RER A – dont l'un de dimensions exceptionnelles – ont été installés à Boissy-Saint-Léger (Val-de-Marne) sans entraîner de gêne aux riverains ni d'interruption de circulation prolongées. Préfabriqués à proximité immédiate de leur emplacement définitif, les deux ouvrages ont été mis en place en 28 heures seulement grâce aux méthodes d'Autofonçage® et d'Autoripage® de JMB Méthodes (Freyssinet), et le trafic interrompu le samedi 4 a été rétabli dès le mardi 7.

Comme il l'a toujours été depuis 1984 pour les quelque 130 ouvrages mis en place par Autofonçage® ou par Autoripage® (cf. encadré) – les deux méthodes dont il est l'auteur –, Jean-Marie Beauthier, fondateur de JMB Méthodes, intégré à Freyssinet depuis 2005, était à pied d'œuvre à Boissy-Saint-Léger (Val-de-Marne) au début août dernier, pour une opération qui s'apparentait un peu à une première. À deux pas de la gare du RER A, il s'agissait en effet de mettre en place en une seule fenêtre d'interruption du trafic deux ouvrages sous les voies RATP, l'un par Autofonçage®, l'autre par Autoripage®. Pourtant, la performance résidait moins dans le doublé que dans les dimensions inaccoutumées des ouvrages, dont l'un pesait 3500 t et l'autre 12500 t, contre 2000 à 2500 t habituellement. L'opération constituait donc un record, et même « l'apothéose de ma carrière », reconnaît Jean-Marie Beauthier, mais pas un exploit car « le poids n'est pas une limite à l'application de la méthode, assure l'ingénieur. En effet, les ouvrages intègrent un radier qui permet de répartir la charge sur une grande surface et de limiter la pression à 0,5 à 0,7 bar par centimètre carré, soit une pression inférieure à celle exercée au niveau de la semelle de nos chaussures, ce que la quasi-totalité des sols peut reprendre sans aucune préparation. »

■ Cocktail inédit de méthodes

Pour les équipes du SCCM (Service centralisé câbles et manutentions) de Freyssinet, spécialisées dans la préparation et l'exécution de ce type d'intervention et dirigées par Jean-Luc Bringer, tout commence vers la mi-juillet avec la livraison des deux ouvrages par le

Photo 2

Le PS8 et le PS7 ne sont distants que d'une dizaine de mètres. Le premier a été mis en place par Autofonçage® et le second par Autoripage®
PS8 and PS7 are only about ten metres apart.
The first structure was moved into position by Autofonçage® and the second by Autoripage®

Autoripage®

Freyssinet à Boissy-Saint-Léger



Jean-Marie Beauthier
Inventeur



Jean-Luc Bringer
Directeur de la cellule
SCCM (Service
centralisé câbles
et manutentions)
Freyssinet

groupe Guintoli-Eiffage, titulaire du marché de génie civil. À 34,64 m de son emplacement définitif, le PS8 est destiné à une voirie locale et comprend une piste cyclable. Le profil carré du cadre, et plus tard les avant-becs métalliques dont les piédroits seront équipés pour permettre la mise en place avec les terres latérales frottantes, sont pour les connaisseurs un indice qu'il sera mis en place par Autofonçage®. Pourtant, c'est un cocktail inédit de ses méthodes qu'a prévu cette fois Jean-Marie Beauthier, car le PS8 complet sera mis en place par poussage à partir d'un seul côté et non, comme le voudrait l'application stricte de la méthode, par rapprochement de deux demi-cadres construits de part et d'autre du talus.

À quelques dizaines de mètres de là, plus éloigné de sa place définitive (43,20 m) en raison de sa hauteur équivalant à un immeuble de cinq étages (10 m), le PS7, qui accueillera les 2 x 2 voies express de la N19,



Photo 3

La mise en place du PS8 (3 500 t) a été réalisée par Autofonçage® à partir d'un seul côté sur une distance de 34,64 m

PS8 (3,500 tonnes) was moved into position by Autofonçage® from a single side over a distance of 34,64 m

Deux méthodes, un seul objectif : réduire l'impact des travaux sur la circulation

Développée par Jean-Marie Beauthier dans les années 1980 et brevetée en 1984, la méthode d'Autofonçage® vise à réduire au maximum l'impact lié à l'aménagement d'un ouvrage souterrain sous une infrastructure ferroviaire, routière ou autoroutière. Construits de part et d'autre des voies, dans les meilleures conditions de sécurité pour les équipes de travaux, les deux éléments constituant l'ouvrage sont reliés et mis en place sous couverture de terre, donc sans nécessiter le démontage des voies, par un système associant câbles et vérins.

Mis en œuvre pour la première fois en 1984 à Champigny-sur-Marne pour le franchissement des voies de la grande ceinture sous 4 m de couverture de terre, le procédé est distingué la même année par le Prix de l'innovation, remis à Jean-Marie Beauthier par Jean-Louis Giral, président de la FNTP, et Paul Quilès, alors ministre des Transports. Il est par la suite mis en œuvre à cinq reprises sur la ligne du TGV Nord. À partir des années 1990, Jean-Marie Beauthier travaille à la mise au point d'une nouvelle méthode, l'Autoripage®, permettant de pallier les difficultés de guidage rencontrées avec l'Autofonçage® pour les ouvrages biais.

Établi sur un « radier de guidage », l'ouvrage est mis en place après démontage des voies et terrassement du talus SNCF.

Depuis sa première mise en œuvre à Sucy-en-Brie, pour la RATP en 1992, le procédé a fait l'objet de nombreuses améliorations protégées par des brevets.

« Les ouvrages ripés étant droits au départ, il fallait réaliser des remblais techniques de chaque côté du pont, ce qui était fastidieux et ne prévenait pas les risques de tassement sous les voies, explique Jean-Marie Beauthier. J'ai donc eu l'idée de transformer le perré en bracon, ce qui donne aux ouvrages une géométrie nouvelle qui épouse la forme talutée de la brèche et permet de concevoir des ouvrages plus fins. »

D'autres « astuces » brevetées sont caractéristiques à la méthode, tels le système d'accrochage des câbles au niveau du radier de guidage ou la course des vérins, standardisée, qui permet un avancement précis de 1 m toutes les trois manœuvres.



Photo 4

La méthode d'Autoripage® a fait l'objet de nombreuses améliorations protégées par des brevets depuis son invention, à l'image des perrés en bracons qui donnent aux ouvrages une géométrie nouvelle qui épouse la forme talutée de la brèche et permet de concevoir des ouvrages plus fins

The Autoripage® method has undergone numerous improvements protected by patents since its invention, such as the braced breast walls which give the structures a new geometry matching the sloped shape of the breach and allowing the design of more refined structures

Autofonçage® - Autoripage®. Un record pour Freyssinet à Boissy-Saint-Léger

Photo 5

Plus lourd que la tour Eiffel, le PS7 (12 500 t) a parcouru une distance de 43,20 m à l'aide du procédé d'Autoripage®

Heavier than the Eiffel Tower, PS7 (12,500 tonnes) travelled a distance of 43,20 m by means of the Autoripage® process



Photo 6

35 000 m³ de terre ont été enlevés par les terrassiers pour constituer la brèche

35,000 cu. m of earth were removed by the earthwork contractors to form the breach



Photo 7

Vue de la batterie centrale de vérins pendant l'Autoripage®

View of the central bank of cylinders during Autoripage®



Photo 8

Pour déplacer le PS7, trois vérins de 1 000 t avaient été installés sur les piles extérieures et six vérins de 500 t au niveau de la pile centrale

To move PS7, three 1,000-tonne cylinders had been set up on the outer piers and six 500-tonne cylinders at the central pier level



est un ouvrage à trois piles qui impressionne avec ses 60 m de long et ses deux bras, équipements brevetés destinés à limiter les terrassements et surtout à éliminer les remblais techniques fastidieux et longs en délais. Moins visibles au premier regard, deux radiers de guidage, qui serviront de point d'appui pour la mise en place, ont été réalisés sous chaque ouvrage.

Jour après jour, la préparation avance : les câbles sont ancrés dans les logements prévus des radiers de guidage et sont raccordés aux vérins qui assureront la poussée sur les ouvrages, puis c'est au tour du matériel d'injection de bentonite (qui servira de lubrifiant entre la semelle des ouvrages et leur radier de guidage puis le sol), des pompes hydrauliques à fort débit qui assureront la manœuvre rapide des vérins (le déplacement peut atteindre 12 m/h), des équipements et sécurités électriques, des instruments de mesure (visées laser par télémètre) et enfin de la centrale de pilotage des vérins où convergent toutes les données de la manœuvre et qui permet de contrôler que les efforts appliqués restent dans des valeurs admissibles et que déplacement et trajectoire sont conformes aux prévisions.

« Le vendredi 3 août, à l'approche immédiate de la fenêtre, prévue pour le lendemain, nous avons procédé au "pré-ripage", une répétition de l'opération grandeur nature mais limitée à un déplacement de 50 cm afin de tout vérifier », indique Jean-Luc Bringer.

■ 3500 t et 12500 t en piste

À l'heure H le samedi 4 août, après consignation des caténaires (coupure de l'alimentation électrique), les

opérations démarrent. Elles vont s'enchaîner jusqu'à la remise en service des voies le mardi 7, mobilisant notamment trois équipes d'une dizaine de collaborateurs de Freyssinet, ingénieur et techniciens, se relayant toutes les huit heures. À 19h00 sont lancées les injections de bentonite préparatoires aux premiers mouvements du PS8, escorté par les terrassiers dont les pelles équipées de godets de curage (« pour ne pas bouleverser le sol ») déblaient les derniers centimètres de terre pour laisser devant le plan de glissement une piste parfaitement plane et réglée. De leur côté, les équipes SNCF tronçonnent et retirent les rails puis déblaient le ballast sur la portion de voie destinée au PS7 avant de faire place aux pelles de Guintoli qui doivent terrasser les 35 000 m³ de la brèche.

Côté PS8, l'arrivée au contact du talus de l'avant-bec supérieur de l'ouvrage marque le début de la deuxième phase de l'Autofonçage®, avec l'entrée en action des pelles qui vont déblayer les matériaux comme d'un front de taille jusqu'à ce que l'ouvrage atteigne son emplacement final, à 6h00 le dimanche matin.

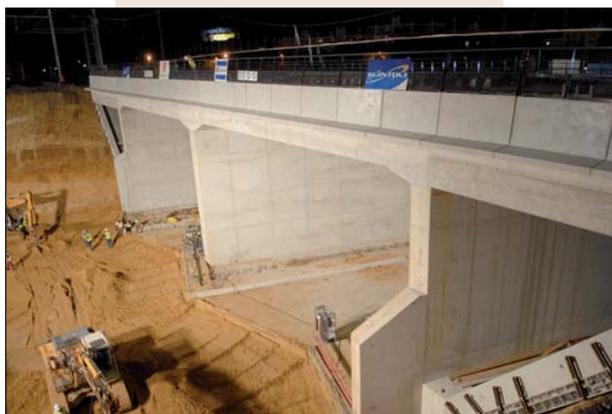
Le temps pour les techniciens de Freyssinet de procéder aux transferts de matériel et, à 13h00, l'Autoripage® du PS7 est lancé, suivi à distance par les nombreux curieux qui ont pris place sur l'aire spécialement aménagée.

« Nous avons équipé le PS7 de trois vérins de 1 000 t sur les piles extérieures et de six vérins de 500 t au niveau de la pile centrale. Nous disposons donc d'une capacité de poussage de 9 000 t, que nous n'avons utilisée qu'aux deux tiers, indique Jean-Luc Bringer. Au total, l'opération a duré 17 heures et s'est achevée le lundi à 6h00 ».



Photo 9

Vue de la centrale de pilotage des vérins où convergent toutes les données de la manœuvre et qui permet de contrôler avec précision toute l'opération en temps réel
View of the central cylinder control unit at which converge all data concerning the operation and which allows precise control of the entire operation in real time



Photos 10 à 14

Déplacement du PS7.

Au total l'opération a duré 17 heures et s'est achevée le lundi matin à 6 heures

Moving PS7. The operation lasted 17 hours in all and was completed at 6 am on Monday morning

Autofonçage® - Autoripage®. Un record pour Freyssinet à Boissy-Saint-Léger

► La mission de Freyssinet une fois terminée, l'opération n'était pas totalement achevée, et il restait aux équipes de Freyssinet à substituer un coulis de ciment au coulis de bentonite en sous-face du radier et aux équipes Guintoli-Eiffage à combler au mortier l'espace libre entre talus et bracon, tandis que la SNCF rétablissait les voies au niveau supérieur. Aussitôt rechargé à bord des camions, le matériel de Freyssinet prenait dès le lendemain la direction du Sud pour une nouvelle opération prévue le 12 août à Perpignan. ■

ABSTRACT
Autofonçage® -
Autoripage®. A record
for Freyssinet
in Boissy-Saint-Léger

J.-M. Beauthier, J.-L. Bringer

Concluding a contract awarded by the Paris public transport organisation RATP to a consortium bringing together Eiffage and Guintoli with Freyssinet (Vinci Construction) as subcontractor, a novel operation involving skidding of two civil engineering structures was carried out in early August under the tracks of "RER" rapid transit line A in Boissy-Saint-Léger (Val-de-Marne region). Employing the Autofonçage® and Autoripage® methods of JMB Méthodes (Freyssinet), this operation involved setting up in 28 hours two structures of exceptional size, the largest of which, weighing 12,500 tonnes, is heavier than the Eiffel Tower.

RESUMEN ESPAÑOL
Autofonçage® -
Autoripage®. Un récord
para Freyssinet en Boissy-
Saint-Léger

J.-M. Beauthier, J.-L. Bringer

Conclusión de un contrato asignado por la RATP a una agrupación que asocia Eiffage y Guintoli con Freyssinet (Vinci Construction) en subcontratación, una obra inédita de escarificado de obras de fábrica se ha realizado a principios de agosto por debajo de las vías del RER A en Boissy-Saint-Léger (Val-de-Marne). Implementando los métodos de Autofonçage® y Autoripage® de JMB Méthodes (Freyssinet), esta operación ha permitido la implantación en 28 horas de dos obras de dimensiones excepcionales entre las cuales la más importante, con sus 12500 t, tenía un peso más importante que la torre Eiffel.

Le Végécol, un liant innovant pour le développement durable



Jean-Éric Poirier
Directeur scientifique
Groupe Colas

Initialement conçu pour répondre aux préoccupations des maîtres d'ouvrage relatives au développement durable, élaboré à partir de matières premières végétales renouvelables, le liant Végécol de Colas a trouvé un domaine de développement privilégié en substitution des solutions à base de sable stabilisé ou de béton désactivé. Combinant les propriétés techniques du bitume à la transparence, ce liant entre dans la composition de revêtements qui allient performance et esthétique.

Les revêtements de chaussées ont toujours tenté de remplir plusieurs fonctions comme par exemple l'adhérence et l'étanchéité. Aujourd'hui on leur demande en plus d'embellir les sites où ils sont appliqués.

Les conséquences de la crise pétrolière analysées, les équipes de recherche de Colas se sont lancées, au début des années 2000, dans la mise au point d'un liant d'origine végétale qui serait un substitut au bitume, d'origine pétrolière, dans ses applications, routières ou non.

Au cours de cette recherche, Colas a décidé de privilégier des formules qui donnent un liant translucide et donc colorable. On a pensé que le caractère innovant de ce produit séduirait certainement les maîtres d'ouvrage en leur donnant l'occasion de favoriser des solutions plus environnementales; mais offrir une palette de couleurs semblait plus intéressant pour assurer son développement. Ainsi, parodiant Ford, après avoir pu choisir la teinte du revêtement à condition que ce fut noir, on pourrait en choisir la couleur.

Depuis quelques années maintenant, Végécol, liant hydrocarboné élaboré à partir d'agro-ressources renouvelables produites en France et en Europe, remplace le bitume dans des revêtements qui s'intègrent dans le cadre du développement durable et qui, de plus, mettent en valeur les ouvrages réalisés.

Dans cet article, on se propose de décliner quelques exemples emblématiques de l'utilisation des capacités du liant Végécol. Quelques précisions techniques concernant ce liant seront ensuite données.

■ Applications en site urbain

Parcs et jardins

Jardins du Luxembourg. Paris (photo 1)

Alternative au sable stabilisé, un revêtement au Végécol a été retenu par le Sénat, maître d'ouvrage, pour recouvrir les allées du jardin du Luxembourg. Le caractère translucide du liant a été un moyen de valoriser la teinte naturelle des granulats. Une formule nouvelle a été proposée qui donne un aspect de surface plus granuleux que celui des sables stabilisés ou bétons désactivés. Mis en œuvre en épaisseur moindre que ces derniers, le revêtement au Végécol a fait l'objet d'une optimisation nouvelle. L'application au finisseur, rapide, la mise en service quelques heures après l'application ont également été des atouts qui ont pesé dans le choix du maître d'ouvrage. Les propriétés d'usage n'ont pas été ignorées pour autant : une meilleure résistance au passage des engins lourds par rapport à un sol stabilisé traditionnel, en particulier en période de pluie ou de dégel, l'absence de poussière par temps sec, le confort de marche ont séduit le conservateur des jardins du Luxembourg.



Photo 1

Les jardins du Luxembourg à Paris. Alternative au sable stabilisé, le revêtement Ecolcrète au Végécol a été retenu pour les allées de ce site renommé *Luxembourg Gardens in Paris. As a substitute for stabilised sand, Ecolcrète surfacing with Végécol was selected for the paths of this renowned location*

Le Végécol, un liant innovant pour le développement durable



© Photothèque Colas

Photo 2

Abords du Petit Palais. Paris. Légèrement pigmenté pour rappeler la pierre de taille de l'édifice, le revêtement au Végécol est poreux pour assurer l'infiltration des eaux de ruissellement

Surrounds of the "Petit Palais", Paris. Slightly pigmented to evoke the dressed stone of the building, the Végécol surfacing is porous to allow the infiltration of surface water

Photo 3

Allée du bois de Vincennes. Paris. Conserver la porosité des allées, assurer le confort des rollers et des vélos ont également contribué au choix du revêtement par le maître d'ouvrage
Path in Vincennes Wood, Paris. Preserving the porosity of the paths and ensuring comfort for roller skates and bikes were factors in the contracting authority's choice of surfacing



© Photothèque Colas

Petit-Palais et bois de Vincennes. Paris (photos 2 et 3)

L'architecte chargé des travaux souhaitait pouvoir retrouver sur le sol la couleur de la pierre de taille du bâtiment. Un nuancier a été réalisé à partir duquel la composition a été choisie qui donnait la teinte recherchée. La surface à recouvrir, 2000 m², héberge une végétation dont on a tenu compte. Liant hydrocarboné aux propriétés viscoélastiques affirmées, Végécol est tout à fait apte à concurrencer le bitume pour entrer



© Photothèque Colas

Photo 4

À Lens, le boulevard Basly
In Lens, Basly boulevard

dans la composition d'une structure perméable. Les eaux de ruissellement sont ainsi captées par la surface du revêtement pour irriguer naturellement la végétation et le sol.

Cette capacité à réaliser un revêtement poreux est appréciée par les conservateurs des parcs et jardins. Deux mille mètres de piste cyclable ont été réalisés au bois de Vincennes en variante au béton désactivé initialement prévu. Le sort des eaux de ruissellement n'est plus une contrainte. Réalisée au finisseur, la surface présente une qualité d'uni qui assure le confort de roulement des rollers et des cyclistes. Le revêtement qui révèle la teinte naturelle des granulats a été réalisé sans bordure donnant ainsi l'illusion d'un chemin de forêt.

Couplage des performances techniques et esthétiques

Boulevard Basly. Lens (photo 4)

2800 m² de voie pour bus et de chaussée ont été réalisés en 2005. La possibilité d'identifier des voies spécifiques par la couleur tout en respectant un cahier des charges techniques contraignant a convaincu le maître d'ouvrage de l'intérêt de cette variante proposée par Colas Nord-Picardie.

Viaduc, commune de Le Blanc (photo 5)

Dans le parc régional de la Brenne, un ancien viaduc SNCF a été réhabilité. Les épaisseurs mises en œuvre – réduction du poids par rapport aux solutions tradi-

tionnelles –, la porosité du revêtement nécessaire pour maintenir l'humidité dans la maçonnerie de l'ouvrage et assurer l'irrigation des bandes engazonnées, à la demande de joggers, réalisées de part et d'autres du revêtement, ont été les raisons du choix de cette variante.

■ Voiries discrètes pour admirer des paysages

Le souci des communautés d'agglomération de mettre en valeur leurs sites touristiques et les rendre accessibles et agréables d'accès aux nouveaux touristes que sont les cyclistes, les joggers, les rollers... est à l'origine du développement des applications en teinte naturelle des revêtements Végécol.

Par comparaison avec les revêtements discontinus : pavés, bétons désactivés, etc. les revêtements Végécol offrent un confort de déplacement inégalé. Le choix de la teinte des granulats pour se fondre dans le paysage explique les nombreux chantiers réalisés dans des sites touristiques, comme le centre bourg de Montgivray (photo 6), et la presqu'île de Quiberon (photo 7). La rapidité de réalisation n'est pas non plus négligeable, comme dans le cas de l'avenue de New York à Paris (photo 8).

■ Aspects techniques

Description du liant végétal

Le liant Végécol est obtenu en mélangeant plusieurs composants issus de la transformation de matières premières végétales. L'invention est protégée par un brevet français et européen.

Il est fabriqué en contrôlant strictement la proportion de ses composants, la température et le temps de mélange. En effet, ses propriétés finales dépendent de l'état d'avancement d'une réaction de polymérisation qui se produit notamment entre les composants, les granulats et l'air. Elle se poursuit au cours des étapes de fabrication, d'application et après compactage des enrobés.

Par ce mécanisme de polymérisation, il donne aux enrobés la cohésion et les performances mécaniques nécessaires pour des matériaux utilisés en technique routière.

En conséquence, il possède des propriétés rhéologiques particulières. Très fluide au moment de l'enrobage, il autorise une réduction des températures de fabrication de l'ordre de 30 à 40 °C par rapport aux enrobés bitumineux, de performances identiques. Cette réduction de la température contribue à limiter les consumma-



© Photothèque Colas

Photo 5

Réhabilitation d'un viaduc SNCF dans la commune de Le Blanc

Renovation of a railway viaduct in the Le Blanc district



© Photothèque Colas

Photo 7

La presqu'île de Quiberon
Quiberon peninsula

tions d'énergie et l'émission des gaz à effet de serre au moment de la fabrication et de l'application des enrobés au Végécol.

Fidèles à l'histoire de Colas, ces liants peuvent être mis en émulsion. En fonction de la formulation retenue pour l'émulsion, la réalisation de divers types de revêtements est alors possible : enduits superficiels, enrobés coulés à froid, enrobés à froid élaborés en centrale de malaxage.

Ils peuvent être également fluxés avec des fluxants végétaux.

Inscrit au cœur de la problématique des ressources énergétiques et des gains environnementaux, l'objectif innovant de mise au point d'un liant d'origine végétale a été atteint et même dépassé. Le programme de recherche et les expérimentations réalisées avec l'aide de l'Ademe ont permis de réaliser des enrobés à chaud possédant des performances physico-mécaniques très satisfaisantes.



© Photothèque Colas

Photo 6

Le centre bourg de Montgivray
Montgivray town centre



© Photothèque Colas

Photo 8

L'avenue de New York à Paris
Avenue de New York in Paris

Le Végécol, un liant innovant pour le développement durable

Les revêtements de chaussées circulées se comportent à ce jour de façon satisfaisante, après 4 ans de service pour le plus ancien.

Ils confèrent des caractéristiques de surface au moins équivalentes à celles des enrobés bitumineux de même catégorie et assurent la sécurité et le confort des usagers.

Colas a donc décidé de développer la gamme de ces liants pour enrobage et à ce jour plus de 2 000 t ont été produites.

■ Une reconnaissance internationale

Distingué par plusieurs prix : IRF en 2005, Institute of Asphalt Technology (UK) en 2006, le liant Végécol a reçu le prix de l'AIPCR au cours du congrès mondial de la route qui s'est tenu à Paris en septembre 2007. Appliqué avec succès en Slovaquie et en Allemagne, il a traversé l'Atlantique pour recouvrir le parking du cirque du Soleil à Montréal, affrontant la rigueur des hivers canadiens.

Réelle alternative technique à l'utilisation du bitume, la gamme des liants d'origine végétale témoigne de la volonté de Colas d'innover, de s'inscrire dans le cadre du développement durable et d'y apporter des réponses pertinentes. ■

ABSTRACT

Végécol, an innovative binder for sustainable development

J.-É. Poirier

Initially designed in response to clients' concerns regarding sustainable development, Colas' Végécol binder, produced from renewable plant-based raw materials, is used chiefly as a substitute for solutions with a stabilised sand or deactivated concrete base. Combining the technical properties of bitumen with transparency, this binder is used as a constituent of surfacings offering both performance and aesthetic appearance.

RESUMEN ESPAÑOL

Végécol, un ligante innovador para el desarrollo sostenible

J.-É. Poirier

Inicialmente concebido para responder a las preocupaciones de las empresas contratantes relativas al desarrollo sostenible, elaborado a partir de materias primas vegetales renovables, el ligante Végécol de Colas ha encontrado un sector de desarrollo privilegiado como sustitución de las soluciones a base de arena estabilizada o de hormigón desactivado. Al combinar las propiedades técnicas del betún a la transparencia, este ligante entra en la composición de revestimientos que asocian altos rendimientos y estética.

Roissy CDG 2. Déconstruction du terminal 2E. Un chantier hors norme



Jean-François Milleron
Chef d'agence
Genier-Deforge
(groupe Colas)

« Faire et défaire, c'est toujours travailler ». Ce vieil adage de la sagesse populaire recouvre aujourd'hui un sens nouveau. Mis en avant pour adoucir l'amertume d'avoir à recommencer un travail mal fait, il prend un tour nettement plus positif pour nos métiers depuis que la démolition est devenue la déconstruction.

Déconstruire nécessite un authentique savoir-faire. La déconstruction du terminal 2E illustre cette évolution de l'acte de construire. Imposé par l'action judiciaire, le démantèlement de la zone effondrée a fourni à l'entreprise Genier-Deforge, filiale de Colas Ile-de-France - Normandie (groupe Colas) spécialisée dans la déconstruction, l'occasion de démontrer sa capacité d'innovation.

Le maître d'ouvrage, convaincu par la valeur ajoutée de la solution proposée par cette société à cette figure imposée par les experts judiciaires, a décidé d'étendre cette technique à l'ensemble de l'ouvrage concerné.

La déconstruction totale de la voûte du terminal 2E, effondré partiellement en mars 2004, ne s'est pas imposée immédiatement après l'accident. C'est le traitement de la partie effondrée sous contrôle des experts, et les mouvements observés sur la voûte par la multitude de capteurs mis en place au lendemain du drame, qui ont conduit Aéroports de Paris à faire ce choix (photo 1).

Photo 1

T2E - Zone effondrée - Mars 2004
T2E - Collapsed area - March 2004



Photo 3

Dépose des voûtes béton effondrées

Removal of the collapsed concrete arches

■ La déconstruction de la zone effondrée

En février 2005, les experts judiciaires nommés par le tribunal de Bobigny lancent une consultation pour le démantèlement de la zone effondrée. Le cahier des charges porte sur la sécurisation du site pour permettre l'expertise des éléments de voûte et la récupération des parties de béton encastrées avec le reste de la superstructure.

Après deux mois d'études, un premier dossier technique est remis aux experts. Il porte sur deux points principaux :

- la mise en sécurité des superstructures conservées et la création de cheminements protégés au moyen de butonnages et de contreventements;
- la méthodologie de déconstruction permettant la récupération des voûtes et autres éléments de structure en l'état (photos 2 et 3).

Séduits par les techniques proposées, les experts choisissent Genier-Deforge qui démarre le chantier de démantèlement en avril 2005.

Deux experts sont présents en permanence sur le chantier afin de vérifier la qualité des opérations et de contrôler le respect de la zone sous contrôle judiciaire. Ce sont eux qui réglementent l'accès à la zone effondrée et valident les éléments à déconstruire en fonction des besoins de l'expertise. Cette première phase d'un



Photo 2

Butonnage des voûtes avant déconstruction

Staying for the arches prior to deconstruction

Roissy CDG 2. Déconstruction du terminal 2E. Un chantier hors norme

Photos 4 et 5

Stockage des voûtes sur berceau pour l'expertise
Storage of arches on a cradle for expert appraisal



Photo 6

Vue générale de l'étage supérieur du terminal 2E avant déconstruction

General view of the upper level of terminal 2E prior to deconstruction



chantier, qui allait en compter bien d'autres, s'achève en juin 2005 par le stockage vertical sur des berceaux des éléments en béton de la voûte (photos 4 et 5).

■ La déconstruction de l'ensemble de la voûte en béton

Il faut attendre octobre 2005 pour voir ADP choisir de déconstruire l'ensemble de la voûte en béton du terminal en conservant la partie basse comprenant les locaux techniques. L'étanchéité et son maintien pendant tous les travaux faisaient aussi partie du marché. Le détail des éléments à déposer est le suivant :

- dimensions de la voûte : 650 m de long sur 31 m de large;
- nombre de voûtes : 146 unités de 4 m de large (section courante), 18 m de haut soit 50 m en développé;
- poids d'une voûte : de 120 à 150 t;
- épaisseur moyenne du béton : 30 cm (photo 6).

La méthodologie

Les études et la négociation ont duré environ 5 mois. Les grandes lignes de l'étude ont été les suivantes :

- mise en place des installations de chantier mobiles sur les taxiways : à déplacer tout au long du chantier pour permettre à ADP d'exploiter 4/5^e des taxiways aux abords du T2E;
- création de circulations verticales d'accès au toit et horizontales pour permettre la mise en œuvre des sciages et la pose des appareils de levage;
- mise en œuvre des moyens de levage : plusieurs grues télescopiques de 50 t à 200 t et grue à treillis de 1 000 t;
- réalisation de l'étanchéité de la dalle haute conservée (26 500 m²);
- butonnage des poutres sablières portant les voûtes en béton;
- étaieage de la voûte en béton (tubes et profilés) sur une longueur de 200 m avec un système de portique permettant de conserver les garde-corps et rampes extérieures;
- sciage et levage des voûtes en béton : chaque voûte est sciée horizontalement en trois morceaux manutentionnables de 37 à 60 t chacun;
- pose sur portique et broyage des éléments déconstruits;
- transport et concassage à l'extérieur du chantier;
- dépose des poutres sablières horizontales;
- dépose des passerelles de liaison du corps principal du terminal à la voûte et des passerelles avions (figures 1 et 2).

Enfin, de manière à réduire le coût de dépose des équipements tels que les ascenseurs, les tapis roulants, les

Figure 2
 Méthodologie de levage des éléments sciés de voûte au moyen
 de la grue CC2800 de 1000 t
*Method for hoisting the sawed arch components
 with the 1000-tonne CC2800 crane*

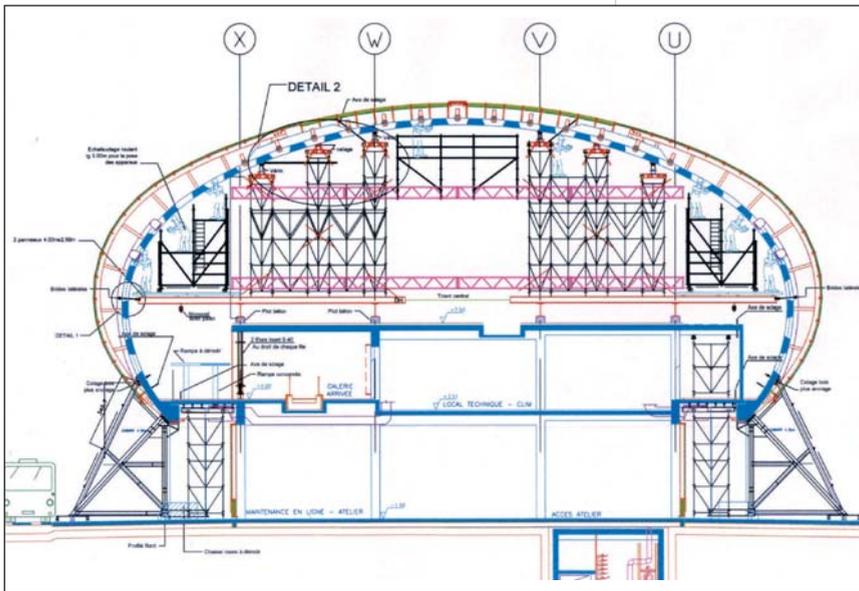
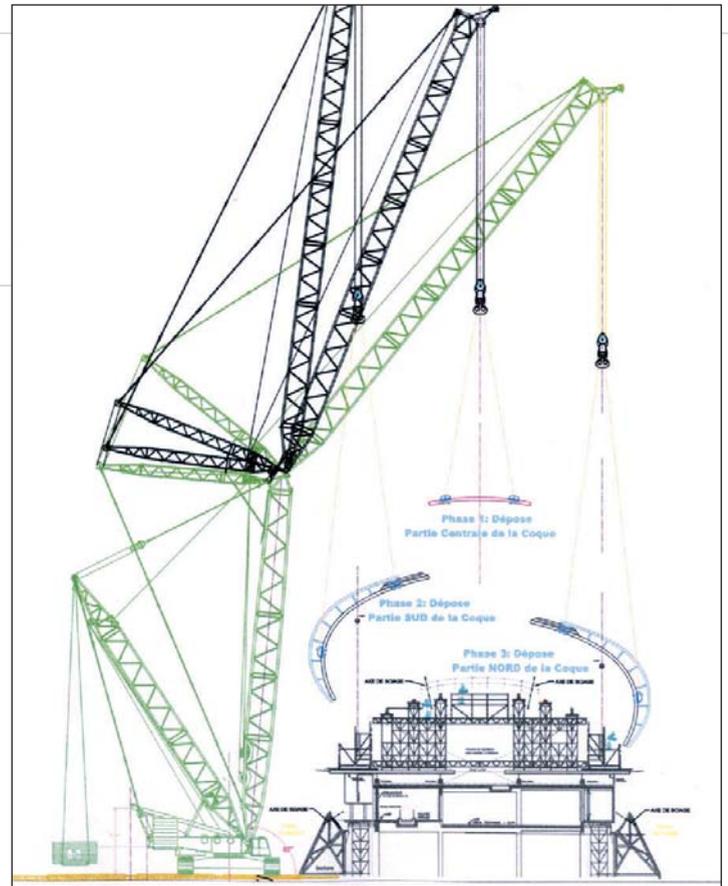


Figure 1
 Plan de l'étalement des voûtes avant déconstruction
Layout of arch propping prior to deconstruction



Photo 7
 Vue panoramique des 650 m
 du terminal 2E au démarrage
 de la déconstruction
*Panoramic view of the 650 m
 of terminal 2E at the start
 of deconstruction*

escalators, etc. Genier-Deforge a été conduit à proposer leur protection et leur étanchéité en adaptant l'étalement de la voûte; une variante délicate mais qui a permis à ADP de réduire non seulement le coût mais aussi le délai nécessaire à la dépose et la repose de tels équipements.

La réalisation

Un groupement d'entreprises a été constitué très tôt, qui comprend :

- Genier-Deforge en tant que mandataire et déconstructeur;
- Brunel, cotraitant déconstructeur;
- Mills, étayeur;
- Mediacco, levageur.

Plusieurs défis sont à relever : ADP impose la réalisa-

tion de méthodologies détaillées justifiées par de nombreuses notes de calcul pour s'assurer de la validité des options retenues : zones d'ancrage des appareils de levage, capacité de levage des grues, butonnage des poutres sablières, bien-fondé des traits de sciage (nombre et localisation), tenue des protections de circulation tant verticales qu'horizontales, traitement des zones particulières...

Le premier levage de morceaux de voûte intervient avec succès mi-septembre 2006. Ce sont ensuite près de 150 hommes spécialisés dans tous les domaines exigés par le chantier qui interviennent : étalement, levage, étanchéité, bardage, sciage, déconstruction...

La dernière voûte est déposée fin avril 2007 avec une vraie satisfaction d'ADP.

Après avoir achevé le plus grand chantier de déconstruction français en 2006-2007, le groupement

Roissy CDG 2. Déconstruction du terminal 2E. Un chantier hors norme



Photo 8

Grue CC2800 de 1000 t
1000-tonne CC2800 crane

mené par Genier-Deforge laisse la place aux autres corps d'état chargés de la reconstruction de la voûte et de la remise en service du terminal (photos 7 et 8).

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 7 200 m³ de béton déconstruits
- 18 000 m² de résine d'étanchéité étalés et entretenus
- 7 000 m² de bardage métallique provisoire posés
- 1 200 t de matériaux d'étalement mises en œuvre et déplacées plusieurs fois
- 2 200 ml de sciage (voûtes, poutres...)
- 360 t de charpente pour la réalisation de butons et de chevalets

ABSTRACT
Roissy CDG 2.
Deconstruction of terminal
2E. An extraordinary project

J.-Fr. Milleron

« Doing and undoing always mean work ». This old popular saying today takes on new meaning. Put forward to assuage the bitterness at having to start a poorly done job over again, it has acquired a far more positive meaning for our operations since demolition has become deconstruction.

Deconstruction requires genuine expertise. The deconstruction of terminal 2E illustrates this development in the act of building. Made compulsory by legal ruling, the dismantling of the collapsed area provided the firm Genier-Deforge, a subsidiary of Colas Ile-de-France - Normandie (Colas group), specialised in deconstruction, with an opportunity to demonstrate its capability for innovation.

The client, convinced by the value added of the technique proposed by the company for this court-ordered operation, decided to extend this technique to the entire structure concerned.

RESUMEN ESPAÑOL
Roissy CDG 2.
Desconstrucción del
terminal 2E. Una obra
extraordinaria

J.-Fr. Milleron

« Hacer y deshacer, siempre es trabajo ». Este antiguo adagio de la sabiduría popular abarca actualmente un nuevo sentido. Destacado para suavizar la amargura de tener que reempezar un trabajo incorrectamente ejecutado, viene a tomar un aspecto realmente más positivo para nuestras actividades desde que la demolición ha llegado a ser la desconstrucción.

Desconstruir requiere un auténtico saber-hacer. La desconstrucción del terminal 2E permite ilustrar esta evolución del hecho de construir. Ordenado por la acción judicial, el desmantelamiento de la zona derrumbada ha permitido a la empresa Genier-Deforge, filial de Colas Ile-de-France - Normandía (grupo Colas) especializada en la desconstrucción, demostrar su capacidad de innovación.

La entidad contratante, convencida por el valor añadido de la solución propuesta por esta empresa de esta figura establecida por los peritos judiciales, ha decidido ampliar esta técnica a la totalidad de la obra correspondiente.

Recherche et développement durable : exemple du liant végétal Biophalt® chez Eiffage

Mis au point dans le cadre de sa politique de Recherche et Développement centrée sur la prise en compte du développement durable, le Biophalt® est un liant routier d'origine végétale.

Utilisant un coproduit de la filière papetière (la poix de tall oil), ce liant clair présente des caractéristiques mécaniques et de durabilité très similaires à celles des liants synthétiques d'origine pétrolière. Il peut ainsi être utilisé de la même façon que ces derniers, avec lesquels il est, par ailleurs, miscible.

Afin de pouvoir décliner les domaines d'emploi de ce liant, des additifs peuvent être utilisés. Ces derniers sont quasiment tous d'origine renouvelable.

Plusieurs dizaines de tonnes de ce liant végétal ont déjà été produites et utilisées sous tout type de trafic.

Depuis le milieu des années 1990, Eiffage Travaux Publics, a adopté une démarche concernant les trois piliers du développement durable (responsabilité sociale des entreprises, efficacité économique et respect de l'environnement) en s'améliorant à tous les niveaux de son activité.

Les matières premières d'origine pétrolière et les granulats de carrière qui sont des ressources épuisables sont progressivement remplacés par des matières premières renouvelables, par des sous-produits industriels et par des matières recyclées.

Ainsi, un tensioactif végétal biodégradable a été obtenu par réaction d'un alcool ou d'une amine grasse d'oléagineux sur la glycine bêtaïne issue de la betterave et sous-produit de la filière sucrière. Ce tensioactif est utilisé dans la fabrication des émulsions de bitume, à la place de polyamines ou amidoamines grasses chlorhydratées dangereuses pour l'environnement.

De même, les fluxants pétroliers sont remplacés par des esters méthyliques d'huile végétale, commercialisés sous le nom d'oléoflux. Cette substitution permet d'éviter l'utilisation de produits volatils, dangereux et non renouvelables.

La consommation d'énergie et les émissions gazeuses sont réduites grâce au développement de nouveaux procédés qui permettent d'abaisser les températures de fabrication. Les enrobés basse température (EBT) par exemple, sont travaillés en dessous de 100 °C au lieu de 160-180 °C traditionnellement.

Les efforts de recherche permettent ainsi jour après jour d'améliorer les conditions de travail. Les nou-

velles solutions proposées sont économiquement rentables et permettent souvent de limiter les coûts en énergie. De plus, ces solutions garantissent chaque fois une diminution de l'impact des activités routières sur l'environnement.

Dans cet esprit, un nouveau développement porte actuellement sur : un liant végétal durable : le Biophalt® (demande de brevet FR 07/02 927 déposée le 23 avril 2007)

■ Contexte

Depuis le XX^e siècle, la quasi-totalité des chaussées sont réalisées à partir de liants issus de la houille (goudrons) ou du pétrole (bitume). Progressivement, notamment à la fin du siècle, le bitume s'est imposé, pour des raisons sanitaires en particulier. À l'heure actuelle, trois millions de tonnes de bitume environ sont consommés chaque année en France. Or, la raréfaction des ressources en pétrole incite les pétroliers à développer des techniques de valorisation du bitume sous d'autres formes telles que les carburants. L'usage du bitume dans la route est donc voué à se renchérir, voire à disparaître. Il est par conséquent nécessaire de prévoir des solutions de substitution au bitume possédant des propriétés équivalentes d'adhésion aux granulats, de cohésion, et conférant aux enrobés la même tenue à l'eau et les mêmes caractéristiques mécaniques.

De plus, du fait de son caractère non renouvelable, le bitume présente deux inconvénients majeurs pour certaines applications : sa couleur noire et sa solubilité dans les hydrocarbures. Il existe aujourd'hui des liants synthétiques pigmentables et d'autres solutions qui permettent de conférer aux enrobés une résistance aux hydrocarbures, mais ils peuvent présenter des risques pour la santé et une odeur particulièrement désagréable.

■ Une alternative innovante au bitume et aux liants synthétiques

Développé afin de proposer une alternative durable à ces produits non renouvelables, le Biophalt® est un liant végétal issu de ressources renouvelables. Il est fabriqué à partir de matières premières dérivées du pin, en particulier du tall oil qui est un sous-produit de l'industrie du papier. Il n'y a donc pas besoin de surface cultivable supplémentaire pour obtenir ce liant végétal. Ce liant est principalement constitué du résidu de la distillation du tall oil appelé poix qui est aujourd'hui très peu valorisé industriellement. En fait, la poix est incinérée et valorisée sous forme énergétique.

Frédérique Guillaumot
Direction Recherche et Développement
Eiffage Travaux Publics

Jérôme Marcilloux
Direction Recherche et Développement
Eiffage Travaux Publics

Jean-Pierre Antoine
Direction Recherche et Développement
Eiffage Travaux Publics

Recherche et développement durable : exemple du liant végétal Biophalt® chez Eiffage



Photo 1
 Une intégration paysagère réussie
Successful integration into the landscape



Photo 2
 Fabrication aisée
Ease of production



Lors de la fabrication du liant et de l'enrobé ainsi que lors de l'application, aucune émission irritante n'est observée. Le Biophalt® ne présente pas non plus d'éco-toxicité pour l'environnement. Son point d'éclair (> 200 °C) est suffisamment élevé pour écarter tout risque d'explosion.

Dans les enrobés, le Biophalt® valorise la couleur naturelle des granulats, d'où une intégration esthétique aux paysages. Il est très facilement bien pigmentable et peut donc permettre une meilleure visibilité des différents espaces de la voie publique (trottoirs, pistes cyclables, ronds-points, passages piétonniers...) pour une meilleure sécurité de la circulation routière (photo 1).

■ **Des caractéristiques techniques satisfaisantes sur le liant et les enrobés**

Le liant végétal Biophalt® est comparable aux liants bitumineux en termes de susceptibilité thermique, de cohésion et de stabilité dans le temps, comme indiqué dans le tableau I.

Le liant Biophalt® est stable dans le temps. Les données reportées ici concernent un liant exempt de polymère, contrairement aux liants synthétiques qui contiennent de fortes proportions de SBS ou autre polymère. Des formulations avec polymère ont également été mises au point afin d'obtenir de meilleures caractéristiques et de pouvoir répondre à des cahiers des charges plus exigeants. Ces formulations sont beaucoup moins consommatrices de polymère d'origine pétrolière que les liants synthétiques.

Les enrobés au Biophalt® ont également des performances convenables : maniabilité, aptitude au compactage, tenue à l'eau et résistance à l'ornièrage. Le mode de fabrication du Biophalt® est simple et ne présente aucune difficulté particulière. Le procédé d'enrobage est inchangé par rapport au bitume et ne nécessite donc pas d'installation spécifique. Les températures de fabrication du liant végétal (< 140 °C) et de l'enrobé (< 130 °C) sont inférieures à celles utilisées classiquement avec les bitumes. La consomma-

Tableau I

| Caractéristiques | Biophalt | Liant synthétique 1 | Liant synthétique 2 | Bitume 1 | Bitume 2 |
|--------------------------------|-------------|---------------------|---------------------|------------|-------------|
| Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm) | 40-60 | 35-50 | 50-70 | 35-50 | 50-70 |
| TBA (°C) | 47,5 – 52.5 | 46-52 | 59-68 | 50-58 | 46-54 |
| Fraass (°C) | -9 | -10 | -19 | -8 | -11 |
| Cohésion (J.cm ⁻²) | 0,76 à 40°C | - | 0,73 à 40°C | 0,6 à 45°C | 0,65 à 50°C |

Principales caractéristiques du Biophalt® comparé à deux liants synthétiques et deux bitumes de grades différents
Main characteristics of Biophalt® compared with two synthetic binders and two bitumens of different grades

tion d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sont donc amoindries, tout en obtenant un enrobage des granulats équivalent à celui obtenu avec des liants bitumineux (photo 2).

■ Mise en œuvre sur chantier

La mise en œuvre sur chantier des enrobés fabriqués à partir de Biophalt® est identique à celle d'un enrobé classique.

Mi-juin 2007, 13 t de liant Biophalt® ont été fabriquées et sont entrées dans la composition de 210 t d'enrobés qui ont été appliqués manuellement en Île-de-France sur trois chantiers. Bien que les enrobés aient été fabriqués en grandes quantités (30 t par production) et que l'application manuelle ait duré plus de 5 heures, la maniabilité et l'aptitude au compactage ont été conservées dans le temps. Le 12 juillet 2007 pratiquement 50 t de liant ont été utilisées pour la fabrication d'enrobés appliqués au finisseur sur pistes cyclables à Narbonne et sur l'île d'Oléron. Dans tous les cas, le Biophalt® répond aux critères techniques du cahier des charges ayant prévalu lors de la mise au point du liant renouvelable, même lorsque la température de l'enrobé avoisine les 100 °C.

Il faut également noter que l'aspect et la couleur des enrobés sont bien conservés d'une fabrication à l'autre, ce qui confère aux chantiers une certaine homogénéité (photos 3, 4 et 5).

■ Des perspectives prometteuses

Les clients aussi bien que les équipes d'application sont satisfaits de ce nouveau produit, tant en termes d'aspect que de confort et de sécurité d'emploi comme l'ont montré les premiers chantiers d'enrobés. La compétitivité du Biophalt® par rapport aux liants synthétiques et aux autres liants végétaux semble assurée tant au niveau du prix qu'au niveau de la qualité et lui garantit un bel avenir.

■ Conclusion

Le développement durable, loin d'être perçu comme une contrainte, s'impose de plus en plus aujourd'hui car il contribue à l'amélioration de notre vie quotidienne tout en garantissant aux générations futures une préservation de l'environnement et de ses ressources.

L'activité routière est particulièrement concernée de par son influence sur l'environnement.

La direction Recherche et Développement d'Eiffage



Photo 3
Une mise en œuvre facile
Ease of application



Photo 4
Une allée royale!
A royal path!



Photo 5
Un aspect régulier
Regular appearance



Recherche et développement durable : exemple du liant végétal Biophalt® chez Eiffage

▶ Travaux Publics place donc le développement durable au cœur de ses projets. Le dernier en date a permis de mettre au point ce liant végétal constitué de matières premières renouvelables, non toxiques pour l'homme et l'environnement et aux propriétés comparables à celles du bitume. Le Biophalt® est pigmentable, d'où la possibilité d'obtenir des revêtements en harmonie avec la nature. Ce nouveau liant répond à toutes les exigences de durabilité. Biophalt® est un exemple des derniers développements d'Eiffage Travaux Publics qui portent ses efforts vers la chimie verte et les biotechnologies. ■

ABSTRACT

Research and sustainable development : example of the Biophalt® plant-based binder at Eiffage

Fr. Guillaumot, J. Marcilloux, J.-P. Antoine

Developed as part of its Research and Development policy focusing on sustainable development, Biophalt® is a plant-based road binder.

Using a co-product of the paper industry (tall oil pitch), this clear binder offers very similar mechanical properties and durability to those of petroleum-based synthetic binders. It can accordingly be used in the same way as the latter, with which, moreover, it can be mixed.

To extend the fields of use of this binder, additives can be used. Nearly all these additives are of renewable origin.

Several dozen tonnes of this plant-based binder have already been produced and used under all types of traffic.

RESUMEN ESPAÑOL
Investigación y desarrollo sostenible : ejemplo del ligante vegetal Biophalt® de la empresa Eiffage

Fr. Guillaumot, J. Marcilloux y J.-P. Antoine

Elaborado en el marco de su política de Investigación y Desarrollo centrada en la integración del desarrollo sostenible, el Biophalt® es un ligante vial de origen vegetal.

Utilizando un coproducto del sector de la fabricación de papel (el pez de tall oil), este ligante claro presenta diversas características mecánicas y de durabilidad muy similares de aquellas de los ligantes sintéticos de origen petrolífero. De este modo, se puede utilizar de la misma manera que estos últimos; con los cuales está, por otra parte, miscible.

Con objeto de poder declinar los campos de aplicación de este ligante, se pueden emplear diversos aditivos. Estos últimos son casi todos de origen renovable.

Decenas de toneladas de este ligante vegetal ya han sido producidas y utilizadas para todos los tipos de tráfico.

Station d'épuration des Grésillons Haute technologie pour une exploitation modèle



Olivier Babo
Directeur d'exploitation
des Grands Projets
ETDE

La station d'épuration des Grésillons, à Triel-sur-Seine, dans les Yvelines, incarne la nouvelle génération des stations d'épuration : procédé biologique de traitement des eaux high-tech et respectant les normes les plus strictes antipollution, aménagement paysagé diminuant au maximum les nuisances sonores et olfactives... Son autre particularité est la haute technicité de sa conduite d'exploitation. Basée sur l'automatisme et la supervision à distance, elle permet d'éliminer tout risque d'arrêt de production et de réduire les coûts, tout en optimisant l'exploitation. Un cahier des charges exigeant, pour une usine qui traite les effluents de 18 communes du Val d'Oise et des Yvelines (environ 350 000 habitants) et prévoit la multiplication de cette capacité par trois en 2012, passant alors au traitement des effluents d'un million d'habitants! Cette performance de haute technologie a été rendue possible par l'expertise d'ETDE, filiale de Bouygues Construction, qui a réalisé les lots électricité, automatismes et supervision des Grésillons. Montant du marché : 10,7 M€.

« Une vitrine technologique et pédagogique dans un éco-domaine ». C'est ainsi que le Siaap (Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne) qualifie sa nouvelle station d'épuration des Grésillons, à Triel-sur-Seine dans les Yvelines. Compacte, intégrée au paysage, ouverte au public, garantie sans bruit et sans odeur, utilisant les dernières technologies de traitement des eaux, complètement

automatisée, entièrement sécurisée et pouvant même être pilotée par un PC portable via un réseau WiFi : tel était, dans les grandes lignes, le cahier des charges de cette usine de nouvelle génération (photos 1 et 2). Ce projet, dont la première tranche a été achevée en mars 2007, s'inscrit dans le vaste programme de modernisation du système d'assainissement de l'agglomération parisienne. Aujourd'hui, avec cinq stations d'épuration, le Siaap dépollue les eaux domestiques, industrielles et pluviales de plus de huit millions d'habitants d'Île-de-France, ce qui représente au total 3 millions de m³/jour, par temps sec. Depuis son ouverture en février 2007, l'usine des Grésillons traite les eaux usées de 18 communes du Val-d'Oise et des Yvelines, avec un débit de 100 000 m³/jour, correspondant à environ 372 000 habitants (la consommation par personne et par jour est estimée à environ 300 l). D'ici 2012, la station d'épuration contribuera au délestage des volumes traités sur l'usine de Seine Aval, basée à Achères (Yvelines).



Photo 1
Vue depuis
le bâtiment
de biofiltration
sur la décantation
et les autres unités
fonctionnelles
*View from
the biological
filtration building
over the settling
pond and the other
operating units*



Photo 2
Maquette 3D du bâtiment
d'exploitation
*3D model of the operations
building*

Station d'épuration des Grésillons. Haute technologie pour une exploitation modèle



Photo 3

À partir de la salle de commandes, véritable intelligence de l'usine, les opérateurs d'exploitation peuvent superviser tout le fonctionnement de l'usine

From the control room, the veritable brain of the plant, operators can supervise the plant's entire operation



Photo 4

14 km de chemin de câbles et 40 km de cheminement secondaire posés pour réaliser le lot courants forts

14 km of cable trays and 40 km of secondary routing installed to perform the heavy current work section

Le process de traitement de l'eau des Grésillons

L'usine, qui s'étend sur 25 hectares, comprend cinq bâtiments de traitement. Après avoir été prétraitée, l'eau est séparée de la boue. Elle passe ensuite dans le bâtiment de biofiltration, avant d'être rejetée dans la Seine ou recyclée pour le fonctionnement de l'usine. La boue est centrifugée et déshydratée avant d'être séchée. Au même endroit, l'air de tous les bâtiments est désodorisé grâce un puissant circuit de ventilation, puis traité avant d'être rejeté à l'extérieur. À côté de ces unités fonctionnelles se trouve un bâtiment d'exploitation, avec la salle de commandes, véritable intelligence de l'usine, ainsi qu'un bâtiment administratif, abritant les bureaux des fonctions supports.



ETDE au cœur d'une usine d'épuration nouvelle génération

L'usine des Grésillons, qui s'étend sur 25 hectares, comprend cinq bâtiments de traitement, un bâtiment administratif et un bâtiment d'exploitation, doté d'une salle de commandes, véritable intelligence de l'usine (photo 3). C'est pour chacun de ces sept bâtiments qu'ETDE a réalisé l'ensemble de l'électricité (courants forts et faibles), les automatismes et la supervision.

« ETDE a réalisé à 100 % les études de conception et d'exécution, les travaux, les essais et la mise en service », explique Bastien Bertel, chef de groupe travaux et responsable du projet des Grésillons pour ETDE.

Ce contrat est le troisième remporté par ETDE pour le Siaap, après ceux de la station d'épuration de Colombes, dans les Hauts-de-Seine (1,4 M€) en 2002-2003 et du puits de Cormailles, dans le Val-de-Marne (4,8 M€) en 2004-2005. L'usine des Grésillons a été réalisée en conception-construction par un groupement d'entreprises, dont le mandataire général est Stereau (ex-filiale de Bouygues). Ce groupement, qui comprenait notamment Bouygues TP pour le génie civil, a fait appel à l'expertise d'ETDE, intervenu en tant que sous-traitant.

« Dès la conception, nous avons été complètement intégrés au process, raconte Olivier Babo, directeur d'exploitation des Grands Projets d'ETDE. C'est un chantier où il ne s'agissait pas simplement de répondre à un cahier des charges. Il a fallu réaliser toute une série de pré-études de conception avant les études d'exécution. Nous avons dû formuler des prescriptions et décrire précisément ce qu'on allait faire. » « Nous avons aussi mis en place des procédures de contrôle lourdes, insiste Bastien Bertel. Chaque équipement a été testé en plate-forme avant l'arrivée sur le chantier (40 jours d'essais pour les tableaux électriques et 30 jours de validation avec le client pour l'automatisme et la supervision). Pour la station elle-même, cela représente à peu près 6000 heures d'essais. Nous avons également défini des prototypes pour toutes nos réalisations, aussi bien pour les études que pour les travaux. À chaque étape, nous proposons au client une solution pour qu'il la valide ». L'ensemble des solutions a été élaboré en commun avec le client. Le principal enjeu pour ETDE était de bien appréhender tout le procédé de traitement des eaux, pour proposer les solutions en adéquation avec le métier du client et ses besoins.

Cette logique a été valable pour chacun des trois lots, même l'électricité. Plusieurs milliers de points de raccordements de puissance ou d'instrumentation (moteurs, actionneurs, alimentations, capteurs) ont été câblés, 14 km de chemin de câbles et 40 km de cheminement secondaire posés (photo 4).

« Nous n'avons pas seulement réparti l'énergie, nous l'avons à chaque fois amenée d'une façon particulière jusqu'à

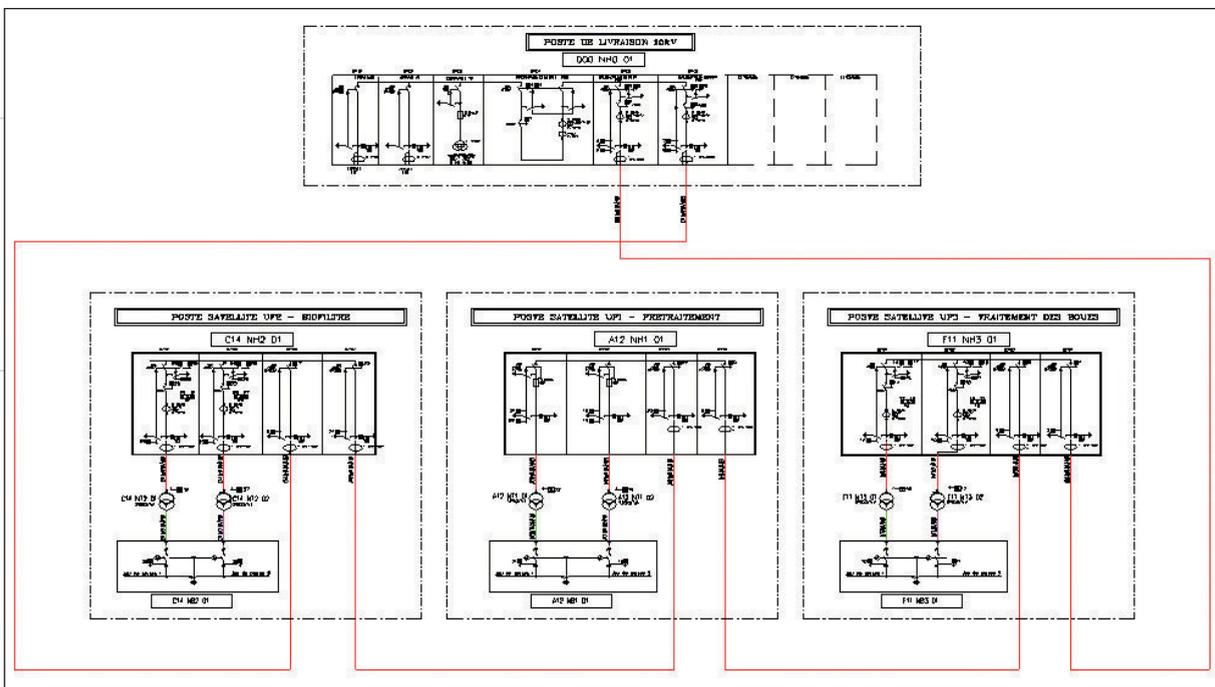


Figure 1
Synoptique général HTA/BT. Les trois postes de transformation électrique sont répartis en fonction des besoins en puissance. Le premier est situé dans la zone de prétraitement de l'eau, le second en biofiltration, le troisième en traitement des boues

MV/LV general block diagram. The three electricity transformer stations are distributed according to power needs. The first is located in the water pretreatment area, the second in the biological filtration unit, and the third in the sludge treatment area

une machine qu'il fallait piloter, souligne Xavier d'Ausbourg, responsable des études électriques. Toute la partie électricité est intrinsèquement liée au process de traitement des eaux. Il a fallu maîtriser ce process, pour savoir à quoi sert le moindre capteur. » (cf. encadré « Le process de traitement de l'eau »).

Dix-huit tableaux électriques de process dont certains atteignent 9 m de long ont été installés. Chacun d'entre eux représentait 500 à 600 points à câbler. De plus, toute l'installation est redondante. Les trois postes de transformation électrique, dont les transformateurs sont en redondance totale (chacun des deux transformateurs de chaque poste est capable de reprendre seul la totalité de la charge du poste) ont également été doublés (figure 1). En cas de coupure EDF, 18 onduleurs (9 x 2) en redondance totale viennent secourir le contrôle de l'installation. Chacune des étapes a donné lieu à un prototype, validé par le Siaap. ETDE a également réalisé tous les courants faibles : détection incendie, vidéosurveillance, téléphonie et

DECT (Digital european cordless telephone - téléphone sans fil numérique européen), intrusion, contrôle d'accès, système de pont-bascule pour peser les camions.

■ Innovation ETDE : l'usage des technologies mobiles au service de l'exploitation

Enjeu principal du projet en termes d'innovation, l'usine a été conçue pour tourner sans arrêt 24 heures sur 24, 365 jours sur 365, en 2 x 8. Objectif du Siaap : une exploitation optimale sans travail de nuit et week-end. Pour y répondre, la mise en place d'automatismes, la configuration générale des connexions et des alimentations et le contrôle à distance ont joué un grand rôle. Du point de vue de la conduite du process (figure 2), les 12 automates redondants (6 x 2) et leurs serveurs associés gèrent 4500 entrées-sorties (en fonction des

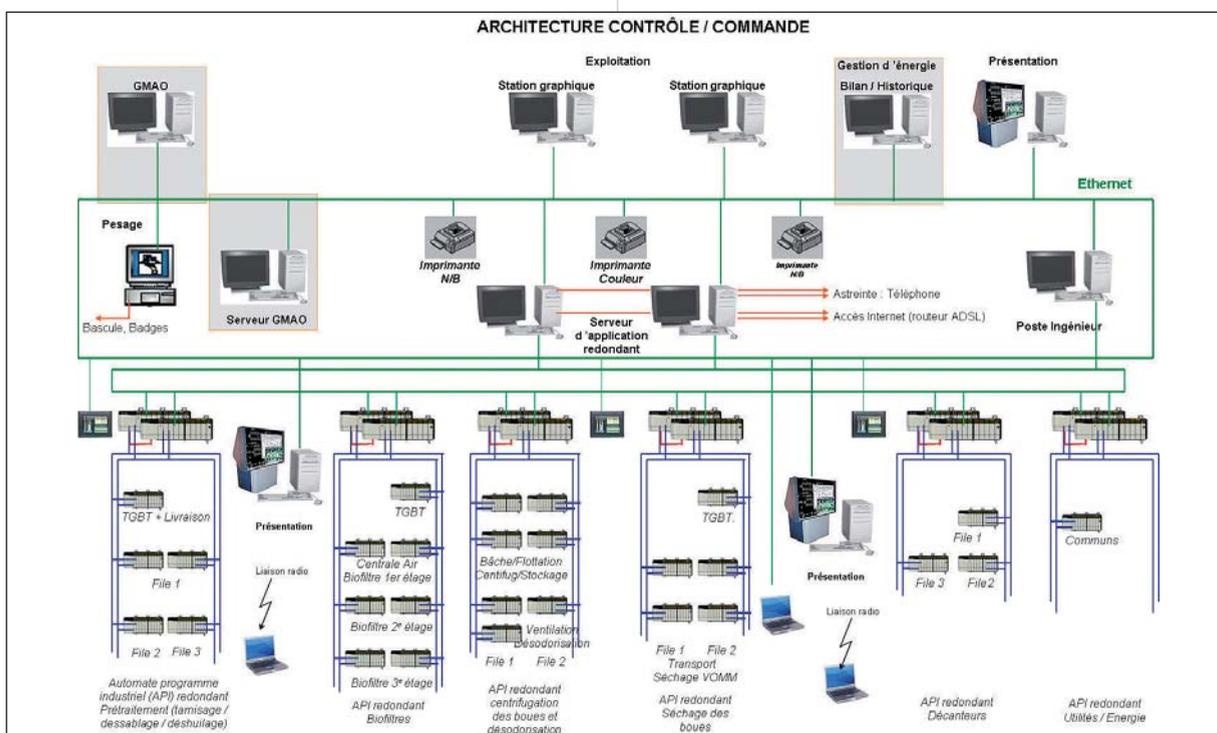


Figure 2
Le contrôle-commande reflète le souci général de sécurité et de continuité de fonctionnement (redondance, découpage fonctionnel...)
The control and monitoring system reflects the general concern for operating security and continuity (redundancy, functional breakdown, etc.)

Station d'épuration des Grésillons. Haute technologie pour une exploitation modèle



Photo 7
L'exploitant ou l'agent de maintenance peut visualiser et commander les installations depuis n'importe quel point de l'usine grâce à un accès WiFi sur sa Tablet PC

The operator or maintenance worker can view and control the facilities from any point in the plant via WiFi access on his Tablet PC



Photo 5
Avec son PC portable, un technicien ETDE vérifie le fonctionnement des automatismes
With his laptop PC, an ETDE technician checks the operation of the automatic controls



états de fonctionnement communiqués à l'automate, en ressortent les commandes des équipements). Ces entrées-sorties fournissent au système de contrôle-commande 25000 informations principales (états et commandes) ou secondaires (informations dérivées et informations de fonctionnement, par exemple : indisponibilité d'une ligne de décantation, consignes de fonctionnement par les opérateurs...).



Photo 6
Des écrans tactiles sont aussi intégrés dans certains endroits stratégiques de l'usine
Touch-sensitive screens are also incorporated at certain strategic locations in the plant

Par ailleurs, les techniciens ont à leur disposition un outil de pilotage qui améliore leur confort et optimise la réactivité dans la conduite des installations : l'exploitant ou l'agent de maintenance disposant des droits d'accès nécessaires peut visualiser et commander les installations depuis n'importe quel point de l'usine ou depuis l'extérieur (photos 5 et 6). Il peut se connecter au serveur de plusieurs façons :

- à l'aide d'une IHM (Interface homme machine) fixe située dans chacun des trois postes TGBT (Tableau général basse tension);
- sur les postes fixes de la salle de contrôle;
- en connectant un PC ou une Tablet PC sur une prise Ethernet (pour certains lieux non couverts par le réseau sans fil);
- en accès WiFi sur une Tablet PC ou un PC (photo 7);
- à distance, de chez lui ou de n'importe quel lieu doté d'un accès déporté via le réseau du Siaap.

L'innovation principale est le réseau WiFi. « Au départ, il était prévu de la boutonnerie traditionnelle sur les armoires. Mais le client souhaitait éviter cette configuration décentralisée, c'est pourquoi nous avons proposé l'utilisation de Tablet PC », raconte Louis Claire, directeur adjoint technique responsable de la réalisation des automatismes et de la supervision.

« L'épaisseur importante du béton limite la communication radio et nécessite des études particulières de propagation pour pouvoir couvrir par ce moyen l'essentiel des équipements. Dix-sept points d'accès WiFi sont installés sur le site. Ils assurent la couverture de 80 à 90 % des équipements, les autres équipements étant couverts par un réseau filaire », explique Louis Claire.

Les soirs et week-ends, le personnel d'astreinte reçoit,

LES TRAVAUX ETDE EN CHIFFRES

Électricité

- 1 poste de livraison EDF 15-20 kV
- 3 postes HT/BT équipés de 2 transformateurs redondants
- 3 TGBT
- 18 tableaux process
- 3 armoires auxiliaires
- 7 tableaux d'éclairage
- 14 km de chemins de câble
- 40 km de cheminements secondaires
- 300 km de câbles
- 1200 luminaires intérieurs
- 130 luminaires extérieurs
- 18 onduleurs, dont 6 redondants
- 3 batteries de condensateurs équipées de filtres anti-harmoniques

Automatisme et supervision

- 12 automates redondants et les serveurs associés
- 25000 points traités dont 4500 points physiques
- Interfaces automates déportées dans les tableaux process
- 28 petits automates déportés électropneumatiques dans le bâtiment de biofiltration
- Salle de commandes équipée de 4 postes d'exploitation
- 1 réseau de supervision fibre optique avec consoles d'exploitation locales (écrans tactiles)
- 1 réseau WiFi sécurisé permettant d'accéder à la supervision avec un PC portable
- 150 vues de supervision
- GMAO (Gestion maintenance assistée par ordinateur)

en cas de problème, un appel téléphonique du serveur d'application.

« Un message vocal informe l'agent de la nature de l'alerte. 250 messages vocaux ont été préenregistrés. Ils signalent, par exemple, la défaillance d'une pompe de relèvement, le dysfonctionnement d'un compacteur à graisse ou encore qu'un silo est plein », indique Louis Claire. Une fois alerté, l'agent d'astreinte se connecte depuis son domicile au système de supervision via une connexion au réseau du Siaap. Il constate la nature du défaut, mène quelques actions suivant les droits d'accès dont il dispose et prend les décisions nécessaires. Lorsqu'un organe se révèle défectueux, il est basculé vers le système de maintenance, qui en prend la responsabilité. Lorsqu'il est à nouveau fonctionnel, il repasse en exploitation.

À présent, le passage en commande « manuelle » locale pour des besoins de maintenance (photo 8) ne peut s'effectuer qu'avec l'autorisation de l'exploitant. En retour, l'opérateur de maintenance signale la fin de son intervention et rend la main à l'exploitant. Ainsi le transfert de responsabilité est-il bien déterminé lors de la prise en main locale, de même qu'une prise en main simultanée entre la maintenance et l'exploitation n'est pas possible.

« Avec ce process, l'organisation quotidienne est beaucoup plus claire. Aujourd'hui, il y a bien deux équipes aux missions distinctes : les opérateurs d'exploitation, qui assurent le fonctionnement général de l'usine et conduisent le process, et les intervenants de maintenance, qui veillent à la maintenance du matériel », explique Louis Claire.

■ Une usine entièrement sécurisée

Pour contrôler la conduite du process et l'état de fonctionnement des équipements, ETDE a fourni, installé et mis en service un système de supervision, avec serveurs d'application, serveurs d'exploitation et écrans de supervision. Ce système offre 150 synoptiques de l'infrastructure, permettant une vue globale de l'architecture générale de l'exploitation.

« En cliquant sur un bâtiment, s'enthousiasme Jean-Henri Choyer, ingénieur travaux, on peut voir toute sa composition. On peut aussi zoomer et examiner l'état de presque 700 moteurs. C'est impressionnant car tous les points physiques que nous avons câblés sur le chantier apparaissent. Sur le seul bâtiment A (prétraitement), il en existe plus de 500! ».

Ces synoptiques sont par ailleurs visibles sur des grands écrans 50' intégrés sur le circuit des visites de l'usine. Cette technologie est complètement nouvelle pour la station d'épuration. Elle change radicalement la façon de travailler, puisque toutes les actions sont connues de tous, à tout moment.



« ETDE a complètement pensé l'ergonomie de ces synoptiques, en collaboration avec le client, explique Louis Claire. C'était un enjeu énorme, car le travail sur les IHM constitue le quotidien de l'exploitation, il ne fallait donc pas qu'il y ait d'ambiguïté possible dans la compréhension des informations données. Il a d'abord fallu imaginer l'emplacement à l'écran de chaque fenêtre, onglet, barre d'outils. Puis, nous avons travaillé la symbolique de base. Enfin, nous avons procédé aux différents découpages des synoptiques. »

Autre particularité de ce projet, toutes les installations sont redondantes. La configuration générale des connexions et des alimentations permet de fonctionner avec des équipements en panne. Ainsi l'architecture d'automatismes est-elle entièrement redondante : en cas de défaillance d'une unité centrale ou de tout autre moyen de communication sur le process, un basculement automatique permet d'assurer la continuité de l'exploitation. Deux boucles optiques à double accès, déployées dans l'usine, relient les automates, les consoles d'exploitation installées dans les armoires automates ainsi que le serveur d'application redondant. Ainsi, si l'information est stoppée dans un sens, elle peut circuler dans l'autre. En cas de défaillance d'une unité centrale ou tout autre moyen de communication sur le process, un basculement automatique assure la continuité de l'exploitation. Il existe aussi des équipements de secours pour le procédé lui-même, et toutes les précautions nécessaires ont été prises pour

Photo 8
Réglage des instruments
en biofiltration
Adjustment of biological
filtration instruments

LES DATES CLÉS DE L'INTERVENTION ETDE

- Début des études : mars 2003
- Début des travaux : 16 août 2005
- Fin des travaux : fin juillet 2006
- Essais en eau claire : août à octobre 2006
- Essais en eau brute : octobre à décembre 2006
- Mise en route : janvier 2007
- Réception client : 2 mars 2007

Station d'épuration des Grésillons. Haute technologie pour une exploitation modèle

► que la panne d'un équipement n'entraîne pas l'arrêt de la production.

ETDE a également mis en place un système de GMAO (Gestion de la maintenance assistée par ordinateur). Un système sur lequel le Siaap, soucieux de privilégier la maintenance préventive, se montre particulièrement attentif. Le serveur GMAO est directement alimenté par la supervision. Pour garantir la maintenance préventive, il vérifie que les dates d'interventions prévues sur les équipements de l'usine sont cohérentes. Le calcul des temps de fonctionnement est réalisé par les automates et est remonté à la GMAO via le serveur d'application en vue de planifier la maintenance préventive. Pompes, élévateurs, moteurs... Tout est passé au peigne fin !

■ 2012, c'est demain

Après cette première tranche réussie, le Siaap pense déjà à 2012. Le syndicat a déjà lancé l'appel d'offres pour la deuxième tranche du projet, qui permettra de tripler la capacité de traitement des Grésillons. ETDE travaille actuellement sur la réponse à l'appel d'offres. « Contrairement à ce que l'on pourrait penser, cette seconde tranche est plus complexe que la première, estime Louis Claire. Théoriquement, l'usine peut facilement passer à une capacité de 300 000 m³ avec une extension des outils mis en place. Mais en pratique, comme nous ne pouvons pas stopper la production, il faudra maintenir l'exploitation pendant l'extension, et donc réaliser un second système d'exploitation pour ensuite y intégrer le premier ». Pour être prêt en 2012, le Siaap devrait lancer le projet en 2008. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Siaap (Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne)

Maître d'œuvre

Cabinets Safège et Merlin

Entreprises/sous-traitants

- Mandataire : Stereau
- Ensemble génie civil : Bouygues TP et Razel
- Ensemble procédé : Stereau et Passavant. ETDE en sous-traitance sur cet ensemble

ABSTRACT

Grésillons sewage plant. High-tech plant for model operation

O. Babo

ETDE, an electrical engineering and maintenance subsidiary of Bouygues Construction, designed and executed the electricity, automatic control and supervision work sections for the new Seine Grésillons sewage plant in Triel-sur-Seine, in the Yvelines region.

ETDE performed this €10.7 m contract for Siaap (Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne) under subcontract to a consortium led by Stereau.

This sewage plant, innovative with regard to water treatment and environmental conservation, has another special feature, made possible by ETDE : its high-tech operating system. Everything has been designed to achieve zero risk of production stoppage. Moreover, the plant can be completely remote-controlled, in particular via laptop computers connected to a secure WiFi network, thereby cutting costs and optimising operation. All the work by ETDE, performed entirely in its specific fields of expertise, began with initial design engineering in March 2003 and ended with the completion of testing in March 2007.

RESUMEN ESPAÑOL

Estación depuradora de Les Grésillons. Alta tecnología para una explotación modelo

O. Babo

ETDE, filial electricidad y mantenimiento de Bouygues Construction, ha diseñado y ejecutado los lotes electricidad, automatismos y supervisión de la nueva estación depuradora de Seine Grésillons en Triel-sur-Seine, en el departamento de Yvelines.

ETDE ha llevado a cabo este contrato (10,7 M€) por cuenta del Siaap (Sindicato interdepartamental para el saneamiento de la aglomeración parisienne), en subcontratación de una agrupación encabezada por Stereau.

Esta estación depuradora, innovadora en cuanto al tratamiento de las aguas y el respeto del medio ambiente, dispone de otra particularidad, que ha sido posible por ETDE : su elevada tecnicidad en términos de explotación. Todo ha sido concebido para eliminar todos los riesgos de parada de producción. Además, las instalaciones se pueden controlar totalmente de forma remota, fundamentalmente por medio de computadoras portátiles conectadas con una red WiFi protegida, lo que permite reducir los costes y optimizar la explotación. La prestación global de ETDE, realizada a 100 % a partir de sus propios campos de pericia, ha dado comienzo con los estudios preliminares, en marzo de 2003, y ha terminado con la finalización de las pruebas, en marzo de 2007.

Extension de l'hôpital de Monaco : des fondations très spéciales pour un site très sensible

Patrick Germain
Directeur de Travaux
Sefi-Intrafor (Fayat
Group)

La Principauté de Monaco a décidé de réaliser une nouvelle unité médicale au sein du Centre hospitalier Princesse Grâce.

L'opération nécessite la réalisation d'un soutènement atteignant 37 mètres de hauteur, sur un site en pente avec une forte épaisseur d'éboulis.

De nombreuses techniques de fondations spéciales ont été utilisées par l'entreprise Sefi-Intrafor, ainsi qu'une auscultation précise des ouvrages dans le cadre de la méthode observationnelle, pour mener à bien ce chantier sur 3 ans.

Parmi les grands projets réalisés à Monaco depuis dix ans, un des plus spectaculaires, tant sur le plan de la conception, de la technicité ou des moyens mis en œuvre, est sans aucun doute « l'Unité de longs et moyens séjours (ULMS) », extension du Centre hospitalier Princesse Grâce de Monaco (C.H.P.G.).

Ces travaux, confiés à l'entreprise Sefi-Intrafor par les Travaux Publics Monégasques (T.P.M.), ont été réalisés en 38 mois, à partir de novembre 2004.

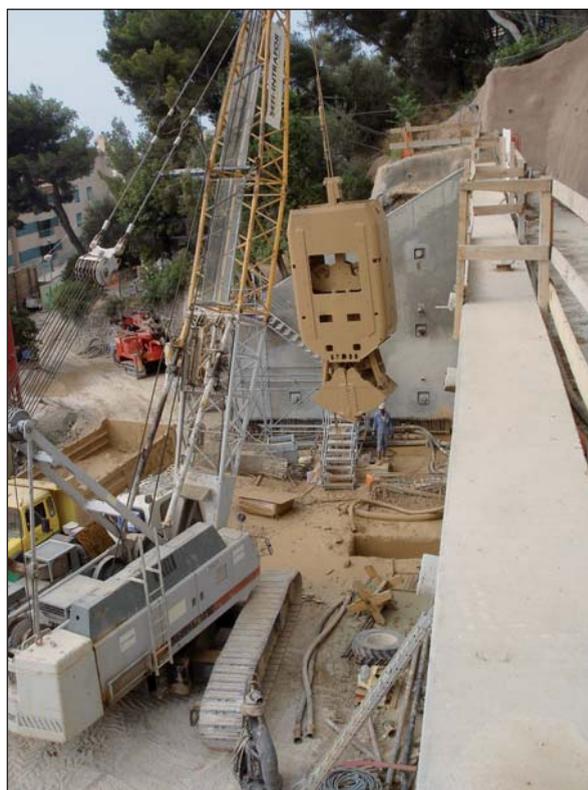
■ Présentation du projet

Cette opération a pour but la réalisation d'une berlinoise de tête périphérique, de plates-formes de terrassement et de radiers béton à divers niveaux décalés, de fondations, de soutènements et de terrassements en vue de la construction de l'unité de longs et moyens séjours, ainsi que celle d'un bâtiment neuf adjacent (centrale d'énergie) dans lequel seront regroupés les équipements techniques producteurs d'énergie.

Compte tenu de la pente générale du site, l'adaptation au sol du projet conduit à la réalisation d'une fouille entre les cotes +114,00 NGM et +76,50 NGM.

De nombreux sondages, parfois de grande profondeur, ont mis en évidence la présence d'une épaisseur très importante d'éboulis, qui varie entre 20,00 m et 60,00 m. Ces matériaux à structure meuble et lâche reposent sur un substratum formé de marnes et de marno-calcaires penchant vers la mer.

Compte tenu des déplacements en masse des éboulis (mouvements annuels d'ordre centimétrique), le choix d'un système de fondations profondes ancrées dans le substratum a été écarté au profit de fondations superficielles sur radier, établies sur les éboulis à l'aide de colonnes de jet grouting.



Le projet comprend la réalisation de barrettes de fondation nécessaires à abaisser le niveau de plate-forme aux fonds de fouille du projet, ainsi que de parois de soutènement. La stabilisation est obtenue par la mise en œuvre de tirants d'ancrage définitifs.

Parallèlement aux barrettes de soutènement, et indépendamment de ces dernières, il est réalisé d'autres barrettes, dites de « clouage », nécessaires à l'amélioration des coefficients de sécurité au droit d'une surface de rupture générale identifiée au-dessus du substratum, notamment dans la partie ouest du projet.

La présence de blocs dans les éboulis a conduit à une solution de barrettes exécutées avec des machines à descente continue (cutter) nécessaires pour limiter l'incidence vibratoire des travaux de forage, notamment sur les constructions voisines.

■ Déroulement des travaux

Les études et travaux ont démarré en octobre 2004, dès la notification des travaux.

Phase 1

Cette phase a duré un peu plus d'une année, jusqu'en janvier 2006 et a compris les études de stabilité et d'exécution ainsi que les principaux travaux suivants :

Photo 1

Préforage des barrettes de soutènement au pied de la berlinoise amont, à l'aide d'une benne à câbles

Preliminary drilling for supporting wall units at the base of the upstream Berlin-type retaining wall, by cable grab

QUELQUES CHIFFRES CLÉS

Organisation du chantier

- Délai d'exécution : 38 mois
- Effectif maximal : 85 ouvriers

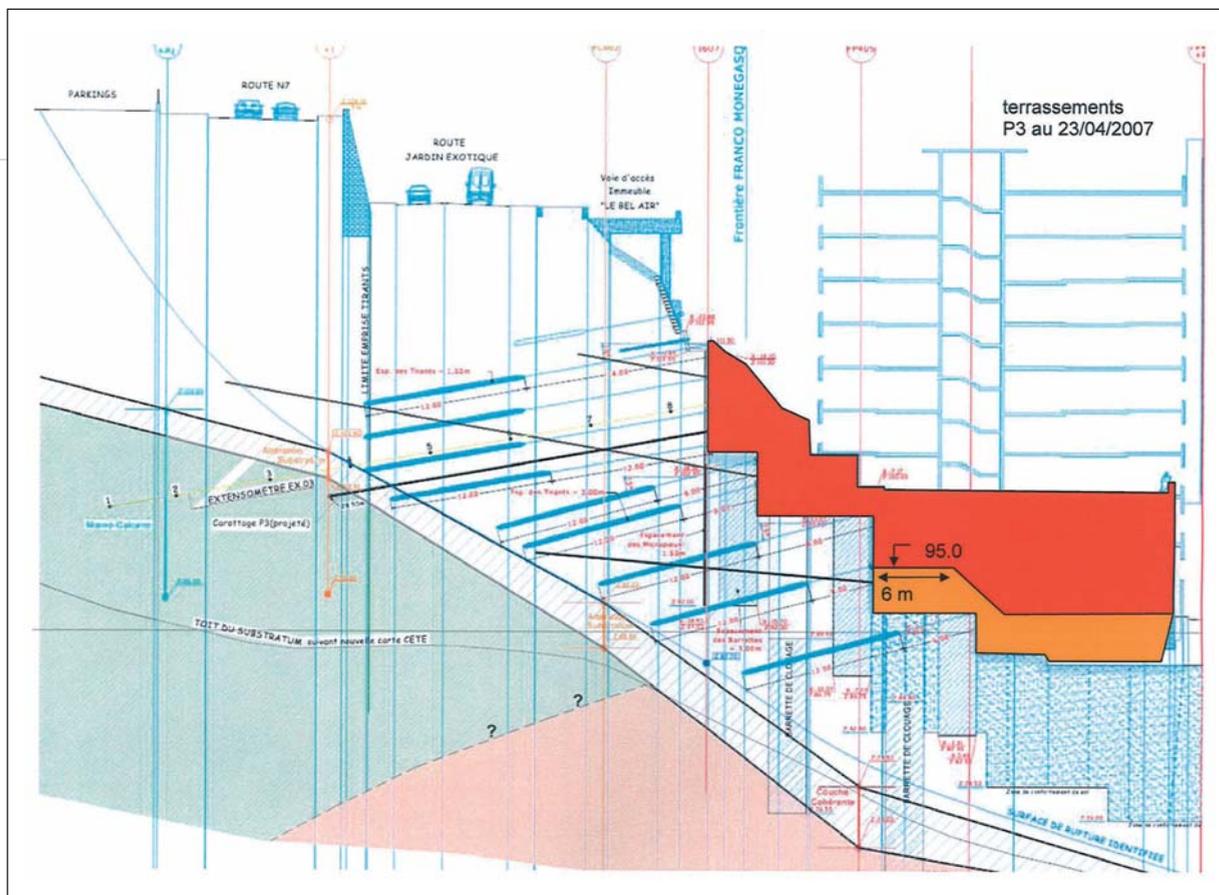
Principaux matériels

- 1 cutter
- 1 grue à benne
- 1 grue de manutention
- 1 centrale à boue
- 1 centrale de déshydratation
- 1 centrale d'injection
- 8 silos de 50 m³
- 2 perforatrices type DCH 114
- 2 pelles de 30 t et 6 semi-remorques
- 1 atelier à projeter le béton

Extension de l'hôpital de Monaco : des fondations très spéciales pour un site très sensible

Figure 1

Coupe de l'ouvrage à réaliser et du terrain à excaver
 Cross section of the structure to be built and the land to be excavated



- démolition d'un bâtiment existant ;
- réalisation d'une berlinoise en amont de la zone de travaux ;
- terrassement de la cote 115 à la cote 100 ;
- consolidation du sol par traitement profond type jet grouting.

Phase 2

Cette phase correspond à la réalisation des barrettes de clouage et de soutènement.

Les premières barrettes ont été réalisées à partir de décembre 2005 ; ces travaux se sont achevés le 10 novembre 2006.

Phase 3

À partir de décembre 2006, les terrassements et parements en béton projeté se sont poursuivis jusqu'à la cote finale du projet (cote 76,50).

■ Les barrettes en paroi moulée

Le choix d'un système de foration avec machine à descente continue de type cutter s'est révélé impératif compte tenu de :

- la présence de blocs de taille importante dans le terrain ;
- la forte sensibilité des éboulis à l'action mécanique du creusement pouvant générer, sous l'effet de vibra-

tions parasites, un réarrangement de la structure préjudiciable pour la tenue des ouvrages situés dans la zone d'influence du projet.

De ce fait, le trépanage et le terrassement à la benne ont été très fortement limités.

La préparation du chantier

Avant le démarrage des travaux de barrettes, l'entreprise établit un plan de répartition des barrettes avec numérotation et enchaînement d'exécution des diverses barrettes. Ce plan précise notamment :

- les dimensions en plan et en élévation ;
- les altitudes des fonds de fouille ainsi que celles des têtes de barrettes ;
- les positions des différentes réservations (tubes métalliques de réservation pour inclinomètres, pour puits de pompage, pour tirants).

Un planning hebdomadaire à 3 semaines est établi chaque semaine ; il est mis à jour chaque semaine en fonction de l'avancement réel des travaux.

La foration

Comme mentionné ci-dessus, les éboulis comportant des blocs de forte taille, l'emploi de la machine de foration à descente continue de type cutter s'est révélé indispensable.

Toutefois, des déviations, voire des éboulements, sont apparus compte tenu du contraste de résistance entre les blocs et les éboulis rencontrés. Dans ces conditions,

un comblement partiel du trou de forage s'est parfois avéré nécessaire à l'aide de grave ciment, puis repris ultérieurement en forage.

Au fur et à mesure de la foration de chaque barrette, un contrôle de la foration est réalisé. Celui-ci mentionne :

- la nature des terrains rencontrés;
- le niveau de la boue, ainsi que sa qualité.

Les armatures

Compte tenu du manque de zone de stockage sur le chantier, les cages d'armatures sont préparées et préfabriquées à Nice. Chaque matin, dès 6 h, une livraison par semi-remorque assure l'approvisionnement du chantier.

Ces cages d'armatures sont conçues de manière à :

- être mises en place sans difficulté de réglage horizontal ou vertical;
- maintenir leurs caractéristiques géométriques à la mise en place et en cours de bétonnage;
- ne pas dégrader les parois d'excavation.

Les cages d'armatures comportent également des dispositifs de positionnement (disques béton, cales, patins) afin d'assurer un enrobage minimal de béton.

Le bétonnage

Le bétonnage est fait obligatoirement au tube plongeur. Auparavant on procède au contrôle de la verticalité de la barrette; celui-ci découle de la fiche de forage.

L'entreprise établit un carnet de bétonnage où sont indiqués pour chaque barrette :

- la date et les heures de début et de fin de forage;
- les types de terrains rencontrés lors du forage;
- la date et les heures de début et de fin du bétonnage;
- les consommations réelles de béton ainsi que les courbes de bétonnage théoriques et réelles;
- les éventuels incidents et anomalies rencontrés.

■ Les terrassements et soutènements

La réalisation des terrassements, bétons projetés entre barrettes et tirants depuis la plate-forme à la cote 103,30 NGM jusqu'au fond de fouille à la cote 88,10 NGM a fait l'objet d'un phasage particulier.

Les terrassements sont exécutés par demi-profil, voire par tiers de profil, selon les hauteurs à terrasser :

- passe de hauteur inférieure à 1,50 m : par demi-profil;
- passe de hauteur supérieure à 1,50 m : par tiers de profil.

Les terrassements sont réalisés de l'est vers l'ouest (du profil P4 vers le profil P1).



Photo 2

Vue de la berlinoise amont réalisée du viaduc d'accès à l'immeuble Le Bel Air dont les appuis ont été renforcés
View of the upstream Berlin-type retaining wall constructed from the access viaduct to the Bel Air building, whose supports were reinforced

Passes de hauteur inférieure à 1,50 m

Ce cas de figure se présente lors de la réalisation des radiers ou dans le cas de tirants situés juste en dessous des radiers.

Des zones particulières du point de vue de la géométrie de la zone sont réalisées également par passe inférieure à 1,50 m.

Passes de hauteur supérieure à 1,50 m

Ce cas de figure se présente lors de la réalisation de passes sans tirants ou avec tirants. L'exécution du 1/3 profil adjacent n'est réalisée qu'après la mise en tension des tirants du premier 1/3 profil et réalisation du béton projeté. La hauteur des passes est adaptée à la position des tirants (entre 0,50 m et 1,00 m sous le tirant ou le drain). Ce sont les cas de figure les plus fréquents.

Au total, le phasage des terrassements-soutènements a nécessité près de 70 passes.

■ Auscultation des ouvrages : la méthode observationnelle

Préambule

Une auscultation des ouvrages s'avère nécessaire pour s'assurer notamment de la compatibilité des déformées et des efforts mesurés *in situ* résultant des notes de calcul d'exécution.

La méthodologie de suivi et d'auscultation des travaux s'appuie sur la méthode observationnelle décrite à l'Eurocode n° 7 – Calculs géotechniques :

Extension de l'hôpital de Monaco : des fondations très spéciales pour un site très sensible



Photo 3

Forage pour la réalisation du traitement de sol permettant l'homogénéisation des caractéristiques des éboulis sous le futur bâtiment
Drilling to perform soil improvement to homogenise the characteristics of the rubble under the future building



« Dans la mesure où la prévision du comportement des ouvrages géotechniques est souvent difficile, il est parfois approprié d'adopter une approche connue sous le nom de **Méthode observationnelle**, dans laquelle le dimensionnement est réexaminé pendant l'exécution des travaux. Lorsque cette approche est utilisée, les quatre exigences suivantes doivent être remplies avant le début des travaux d'exécution :

- les limites admissibles du comportement doivent être établies ;
- le domaine des variations possibles du comportement doit être estimé et il doit être démontré qu'il existe une probabilité acceptable que le comportement réel soit dans les limites admissibles ;

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Barrettes en parois moulées : 12 mois d'exécution - 142 unités soit 13200 m³ de béton - 1800 t d'armatures
- Soutènement en béton projeté : 6000 m²
- Tirants et clou d'ancrage : 18000 ml
- Drains subhorizontaux : 7600 ml
- Micropieux de soutènement : 7000 ml
- Butons et liernes métalliques : 36000 kg
- Radiers de couronnement : 2000 m³ de béton - 290 t d'armatures
- Déblais généraux : 62000 m³
- Traitement de terrain (type jet grouting) : 8400 ml
- Extensofors en forage : 9
- Inclinomètres : 25
- Piézomètres : 20
- Cibles et clous topographiques : 250
- Cellules de charge de tirant : 45

- un programme de suivi doit être établi pour vérifier si le comportement réel est dans les limites admises. Le dispositif de suivi doit permettre de le détecter assez tôt dans le déroulement des travaux et avec une fréquence d'observation suffisamment élevée pour que l'on puisse prendre des mesures d'urgence. Le temps de réponse des instruments et les méthodes d'analyse des résultats doivent être suffisamment rapides par rapport à l'évolution éventuelle du système ;
- un programme de mesures d'urgence, qui pourraient être adoptées si le suivi révèle un comportement sortant des limites admissibles, doit être défini. »

Dispositifs mis en œuvre par l'entreprise

De nombreux dispositifs d'auscultation ont été mis en place. Leur nombre, leur implantation et la fréquence des mesures sont calés en fonction de l'avancement du projet.

Inclinomètres

Le site était déjà équipé de sept tubes inclinométriques répartis sur l'ensemble du versant et en périphérie immédiate du projet.

Dix-huit autres tubes inclinométriques, ancrés dans le substratum, sont installés en cours de travaux, soit dans l'emprise même des travaux, voire dans les ouvrages proprement dits (berlinoise amont, radiers de fondation...), soit à l'extérieur du site afin de parfaire le suivi des zones.

Ils permettent d'analyser les déformations dans un plan vertical, de suivre l'évolution des surfaces de ruptures identifiées ou, le cas échéant, de discerner de nouvelles surfaces de rupture.

La fréquence des mesures est établie en fonction du positionnement de ces inclinomètres :

- en zone concernée par les travaux : une mesure bimensuelle ;
- en zone extérieure aux travaux : une mesure mensuelle.

Cibles et clous topographiques

L'ensemble des ouvrages de soutènement et des constructions voisines situées dans la zone d'influence du projet est équipé de cibles et/ou de clous topographiques.

Au droit des ouvrages de soutènement, ce sont 10 profils topographiques qui sont ainsi équipés. Ces profils comprennent de manière systématique :

- une cible en tête ;
 - une cible sur chaque passe d'excavation réalisée ;
 - une cible en pied d'ouvrage, une fois celui-ci terminé.
- D'autres cibles sont mises en œuvre sur les façades de

bâtiments avoisinants (immeubles d'habitation, parking souterrain, bâtiments de l'hôpital).

Un suivi particulier des routes RD6007 (ancienne RN 7 : accès vers l'Italie) et RD6207 (accès direct à Monaco) est mis en place à l'aide de 40 clous topographiques. Plus de 200 cibles et clous sont ainsi installés. La fréquence des mesures est établie en fonction du positionnement de ces inclinomètres :

- en zone concernée par les travaux : une mesure hebdomadaire;
- en zone extérieure aux travaux : une mesure mensuelle.

Extensofors en forage

Huit extensofors sont mis en œuvre sur les profils principaux amont-aval de la berlinoise de tête afin d'évaluer le champ de déformation des terrains lors des phases successives des travaux.

Ces extensofors sont constitués d'ancres judicieusement réparties le long de l'instrument dont la base, tout comme un inclinomètre, est ancrée dans le substratum. Toutes les ancres sont reliées au niveau de la tête solidaire du soutènement.

Le forage dans lequel se trouve l'extensomètre est partiellement rempli d'un coulis de ciment sur sa base afin de permettre à l'instrument de suivre les mouvements du terrain et leur répartition suivant les différentes ancres. Le suivi de ces extensofors est quotidien.

Capteurs de vibrations

Le suivi des vibrations engendrées par les travaux (forage des barrettes au cutter, forage des tirants et des drains subhorizontaux à la foreuse DCH 400) est réalisé, d'une part à l'aide d'accéléromètres, d'autre part à l'aide de capteurs de vibration en profondeur.

Accéléromètres

Des accéléromètres sont installés sur les ouvrages singuliers : la rampe d'accès en béton armé et les fondations de l'immeuble « Bel Air », ainsi que sur l'immeuble de la « maternité » de l'hôpital.

La mesure des vibrations est effectuée au moyen de séismographes reliés par câbles à une chaîne de mesures automatiques. Ce système enregistre et stocke, de façon continue, les informations relatives à l'ambiance vibratoire, aux dépassements des seuils avec une fonction de déclenchement d'une alarme.

Détecteurs de vibration à plusieurs profondeurs

Deux forages, réalisés en amont et en dehors de l'emprise du chantier, sont équipés de géophones utilisés pour mesurer les vibrations. Chaque forage est instrumenté à l'aide de trois géophones qui sont disposés à différentes profondeurs et laissés en place pendant la durée du chantier.



Photo 4

Vue de la berlinoise amont et des soutènements s'appuyant sur les barrettes, réalisation du terrassement et des tirants en cours

View of the upstream Berlin-type retaining wall and the supporting structures resting on the barrettes, execution of earthworks and tie anchors in progress

Les informations sont enregistrées en continu sur un mini-ordinateur situé dans les bureaux de chantier.

Cellules de charge des tirants

Le suivi des charges des tirants est assuré par 45 cellules de charge type Glotzl à lecture directe ou différée et de puissance 1400 kN.

Cinq profils, dirigés dans le sens amont-aval sur la berlinoise de tête et l'ouvrage en barrette, sont auscultés. Une quinzaine de cellules supplémentaires sont installées sur des parties particulières de l'ouvrage. Ces cellules de charge permettent de suivre l'évolution de la tension dans le tirant depuis son blocage.

Le suivi des cellules de charge des tirants est bimensuel.

Piézomètres

Neuf tubes piézométriques existaient déjà sur le site avant le début des travaux. Afin d'assurer un suivi le plus complet possible, l'entreprise a installé quinze piézomètres supplémentaires, leur implantation ou renouvellement dépendant de l'avancement des travaux.

La fréquence des mesures est établie en fonction du positionnement de ces piézomètres :

- en zone concernée par les travaux : une mesure hebdomadaire;
- en zone extérieure aux travaux : une mesure mensuelle.

Acoustique

Pour caractériser les niveaux acoustiques chantier résiduels dans l'environnement (en l'absence de sources sur le chantier), il est mis en place une campagne de mesures sur l'immeuble voisin le plus exposé, à savoir le bâtiment « maternité » de l'hôpital.

Deux points de mesure sont instrumentés : le rez-de-chaussée et la terrasse au deuxième niveau.

Extension de l'hôpital de Monaco : des fondations très spéciales pour un site très sensible

- ▶ Le système de mesures comprend :
- une unité d'acquisition et de stockage des phénomènes acoustiques;
 - un sonomètre de classe 1;
 - un micro-ordinateur de calcul pour présentation et analyse des mesures.

Les mesures des phénomènes acoustiques sont faites en continu durant la durée du chantier.

Suivi de la méthode observationnelle

Afin d'exploiter l'ensemble des différentes mesures et d'assurer un suivi efficace de tous les dispositifs d'auscultation, l'entreprise a mis en place une équipe particulière :

- un ingénieur à temps complet;
- un géomètre à mi-temps;
- un aide-géomètre à mi-temps.

Une corrélation est faite entre les divers instruments afin de suivre l'évolution et la stabilisation des mouvements durant les phases critiques des travaux : terrassements devant les ouvrages, réalisation des voiles en béton projeté, exécution des tirants d'ancrage et leur mise en tension, et ce jusqu'au fond de fouille de l'ouvrage.

L'ensemble des relevés de mesures est consigné dans des rapports hebdomadaires, un rapport global étant établi tous les 3 mois. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Travaux Publics de la Principauté de Monaco

Maître d'œuvre

Cabinet d'architectes Daniel et Patrick Raymond à Monaco.

Assisté par le bureau d'études structures Turra et le bureau d'études géotechniques Sol Essais

Contrôleur technique

Socotec

Entreprise

Sefi-Intrafor (Fayat Group)

Sous-traitant

Solétanche SAM

Conseil géotechnique de l'entreprise

Francis Blondeau

ABSTRACT

Extension of Monaco hospital : very special foundations for a very sensitive location

P. Germain

The Principality of Monaco has decided to build a new medical unit within the Princess Grace Hospital Centre.

The project requires the setting up of a supporting structure up to 37 metres high, on a sloping site with a very thick layer of rubble.

Numerous special foundation techniques were used by the contractor Sefi-Intrafor, as well as precise monitoring of the structures by the observational method, to complete this project over three years.

RESUMEN ESPAÑOL

Ampliación del hospital de Mónaco : cimentaciones sumamente especiales para un emplazamiento muy sensible

P. Germain

El Principado de Mónaco ha tomado la decisión de proceder a la ejecución de una nueva unidad médica en el interior del Centro hospitalario Princesa Gràce.

La operación precisa la realización de un sostenimiento que alcanza 37 metros de altura, en un emplazamiento en pendiente que presenta un importante espesor de taludes.

Se emplearon numerosas técnicas de cimentaciones especiales por parte de la empresa Sefi-Intrafor, así como una auscultación precisa de las obras en el marco del método observacional, para llevar a buen término esta obra en un plazo de 3 años.

PASSiFy : stabilisation/ solidification de déchets et de sols pollués

Faisant suite à l'évolution des réglementations européennes, PASSiFy (Performance Assessment of Stabilised/Solidified Waste Forms) est un projet de recherche monté par l'université de Greenwich, au Royaume-Uni, destiné à évaluer l'utilisation des techniques de stabilisation/solidification pour le traitement de déchets et de sols pollués.

Cette université anglaise s'est associée avec des partenaires de pays où ces techniques sont utilisées depuis de nombreuses années à l'échelle industrielle, à savoir les États-Unis et la France.

La partie française, qui compte cinq participants, est coordonnée par Inertec, filiale commune de Solétanche Bachy et de Sita dans le domaine de l'environnement.

La spécificité de ce projet repose sur l'examen d'une dizaine de sites réels où ces procédés ont été mis en œuvre et non sur des échantillons fabriqués en laboratoire.

L'ensemble des résultats obtenus à ce jour sur des prélèvements âgés de 2 ans à plus de 10 ans montre déjà l'absence de détérioration des matériaux traités.

Les résultats finaux sont attendus pour 2008.

Depuis 1995, les déchets industriels dangereux sont soumis, en France, à un prétraitement de stabilisation/solidification à base de liants hydrauliques avant dépôt en centres de stockage dédiés. Cette technique est également largement appliquée aux États-Unis depuis les années 80, en particulier pour la réhabilitation de sites contaminés : plus de 25 % des sites américains Superfund ont été traités avec cette technique, qui fait partie des BDAT (Best Demonstrable Available Technology).

Avec l'évolution de la réglementation européenne concernant les déchets et les centres de stockage, d'autres pays s'interrogent sur la mise en application de ce type de filière.

C'est dans ce contexte qu'une université anglaise, l'université de Greenwich, en liaison avec l'Agence de l'environnement britannique, a contacté des partenaires étrangers (américains et français) pour monter un projet de recherche visant à améliorer la connaissance des matériaux stabilisés/solidifiés à travers l'examen de sites anciens où ces techniques avaient été appliquées. Le projet a été découpé en sept parties :

- établir un historique de chacun des sites;
- déterminer les caractéristiques des sites et identifier les familles de polluants concernés;

- échantillonner et conduire sur les échantillons prélevés les essais requis comme objectifs à la date du traitement (dits essais de conformité);
- réaliser des tests transversaux utilisant l'expertise des différents partenaires et évaluer le comportement sur le long terme des résidus dans leur contexte de stockage ou d'utilisation;
- interpréter les résultats pour évaluer le comportement à long terme;
- mettre en forme et communiquer les résultats;
- élaborer une « boîte à outils » de gestion des risques pour l'utilisation de procédés de ce type.

Labellisé Eureka en 2004, ce projet a débuté dans les trois pays par la recherche de données historiques sur chacun des sites d'étude : nature de la pollution, configuration du site, type de traitement et objectifs requis, etc.

En France, les études, coordonnées par Inertec, sur des déchets dangereux stabilisés/solidifiés en centre de stockage tandis qu'au Royaume-Uni et aux États-Unis, il s'agit plutôt de sites contaminés réhabilités (sites de stockage internes ou sols contaminés).

■ Sites étudiés

Une dizaine de sites où un échantillonnage semblait réalisable a été retenue pour l'étude dans les trois pays partenaires du projet.

Les publications, ainsi que des rapports d'étude ou d'exécution des travaux ont été recherchés et examinés afin de reconstituer l'historique des sites, au minimum préciser la nature des polluants traités et les objectifs de traitement.

De façon générale, le traitement de stabilisation/solidification répond à deux types d'objectifs :

- un objectif physique : améliorer les caractéristiques mécaniques;
- un objectif chimique : réduire la solubilité des polluants, mesurée par un essai de lixiviation.

Les essais et paramètres suivis diffèrent d'un pays, voire d'un site à l'autre, les objectifs de traitement étant soit fixés au niveau national soit établis à l'issue d'une étude d'impact spécifique.

Les sites retenus ont donc des caractéristiques différentes, selon :

- le type de polluants (métaux, organiques, sels ou mixtes);
- l'âge des sites (1 à 18 ans);
- les types de traitements appliqués (formulation et mode de mise en œuvre);
- les conditions de stockage (présence ou non d'argile, de membrane...);
- le contexte géologique et climatique;
- les objectifs de traitement.



Marie-Claire Magnié
Directeur adjoint
Inertec



Marie-Armelle Aubry
Chef de projet
Inertec

PASSiFy : stabilisation/solidification de déchets et de sols pollués

| | | | | |
|------------|-----------|--|--|---|
| Site n° 1 | 1999 | Creosote, HAP, PCP, Dioxines | 5 % ciment, 4.5 % cendres volantes, 1.3 % charbon actif | |
| Site n° 2 | 1999-2000 | Plomb, organiques, acides | Neutralisation avec 25 % de CaCo3 Traitement avec 20 % ciment, 10 % cendres volantes | X |
| Site n° 3 | 1987-1988 | PCB, Plomb, Arsenic | Ciment, cendres volantes, argiles (15 %) | X |
| Site n° 4 | 1992 | Hydrocarbures | 25 % de ciment | X |
| Site n° 5 | 1992 | CN et HAP | 10 % à 25 % de ciment selon les zones | X |
| Site n° 6 | 2000 | Zinc, Plomb, Nickel, Chrome | 20 % de divers ciments selon les zones | |
| Site n° 7 | 2002 | Soufre, métaux | Liants spéciaux | |
| Site n° 8 | 2004 | Hydrocarbures et autres molécules organiques | Liants spéciaux | X |
| Site n° 9 | 2000 | Sels et métaux | Liants spéciaux | |
| Site n° 10 | 2000 | Sels et métaux | Liants spéciaux | |

Tableau I

Liste des sites étudiés dans le cadre du projet

List of sites investigated within the framework of the project



Photo 2

Matériel de prélèvement utilisé sur le site n° 5 aux USA

Sampling equipment used on site No. 5 in the USA



Les principales caractéristiques de chacun des sites sont reprises dans le tableau I.

■ Échantillonnage

Un plan d'assurance qualité a été mis en place de façon à définir des règles communes pour l'identification et la conservation des échantillons. Dans tous les cas, il s'agissait d'effectuer un échantillonnage en profondeur (plus d'un mètre) et pas seulement en surface.

À partir des études bibliographiques, une méthodologie d'échantillonnage a été définie pour chacun des sites.

Pour les sites américains, l'objectif était de récupérer une partie des échantillons sous forme monolithique pour effectuer des essais mécaniques (mesures de résistance à la compression et/ou de perméabilité) et sous forme indifférente, mais sans utilisation d'eau pour le forage pour les essais de lixiviation. En fonction des sites, diverses méthodes de carottage ont été utilisées, le carottage à sec sur une profondeur importante n'étant pas envisageable (photos 1 et 2).

L'échantillonnage est bien entendu plus ou moins facile selon la dureté et l'homogénéité des matériaux : la présence de graviers, de nodules boueux, de corps étrangers tels que câbles, morceaux de tissus ou autres et leur proportions respectives dans une matrice qui a des caractéristiques physiques différentes peut conduire, par l'opération de carottage elle-même, à une fragilisation de l'échantillon prélevé, non représentative des caractéristiques du matériau en place.

L'utilisation d'une tarière (extraction à sec d'un matériau granulaire) puis d'un tube carottier (extraction d'échantillon monolithique) est la méthode qui a donné les meilleurs résultats, compte tenu des objectifs recherchés (cf. tableau II).

Tableau II

Méthodes d'échantillonnage utilisées sur les sites américains
Sampling methods used on the American sites

| Méthode d'échantillonnage utilisée | Résultat |
|------------------------------------|---|
| Carottier à béton / tube carottier | Non concluant |
| Tarière / tube carottier | Succès partiel |
| Tarière / tube carottier | Succès partiel |
| Tarière seule | Matériau granulaire uniquement |
| Carottage sonique | Succès partiel (extraction difficile de la carotte) |



Photo 1

Matériel de prélèvement utilisé sur le site n° 3 aux USA

Sampling equipment used on site No. 3 in the USA

Pour les sites français, le cahier des charges fixé pour les opérations d'échantillonnage était le suivant :

- prélèvement non destructif, permettant d'obtenir des échantillons intacts, non lessivés, de diamètre 4 cm (dimension des échantillons fixée par les normes d'essais);
- forage sur une profondeur minimale de 5 m;
- dureté du matériau à prélever : résistance à la compression de 1 à 10 MPa.

Après consultation de différentes sociétés spécialisées, la méthodologie retenue a été la suivante :

- carottage à l'eau en diamètre 10 cm sur les sites (photo 3);
- carottage à sec en laboratoire pour obtenir des échantillons correspondant aux spécifications des essais de conformité, d'un diamètre de 4 cm (photo 4).

Cette méthode a effectivement permis de récupérer des échantillons correspondant aux caractéristiques voulues, mais elle prend beaucoup de temps parce que chaque carotte prélevée dans le terrain doit être débitée en petits tronçons qui sont eux-mêmes recarottés en laboratoire.

■ Programme expérimental

Principe

Les échantillons prélevés sur chacun des sites ont dans un premier temps été soumis aux essais de conformité en vigueur à la date de la mise en œuvre du traitement. Les résultats ont ensuite été confrontés aux données historiques et aux objectifs initiaux de traitement. Les résultats ne peuvent pas être directement comparés entre sites car :



Photo 3
Matériel de prélèvement utilisé en France
Sampling equipment used in France



Photo 4
Éprouvette extraite par recarottage en laboratoire d'une carotte issue du terrain
Test specimen extracted by laboratory recoring of a core sample taken from the field

- les méthodes d'essais diffèrent : à titre d'exemple, le tableau III reprend les essais de lixiviation correspondant à l'ensemble des sites étudiés;
- les objectifs physiques et chimiques diffèrent;
- les polluants suivis sont également variés, car différents d'un site à l'autre (nature et teneurs des principaux polluants).

| Référence essai | TCLP | SPLP | MEP | DIN 38 414 | NRA | NF X 31-211 (avant 2002) | NF X 31-211 (après 2002) |
|----------------------|--|-------------------------------------|--|--------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Eluant | Tampon acétique pH = 4.93 ± 0.05 ou acide acétique pH = 2.88 ± 0.05 selon pH du déchet | HNO3 / H2SO4 (40/60) pH = 4.2 | HNO3 / H2SO4 (40/60) pH = 30 ± 0.2 | Eau déméralisée | Eau déméralisée pH = 5.6 | Eau déméralisée | Eau déméralisée |
| Durée par étape | 18 h | 18 h | 24 h | 24 h | 24 h | 16 h | 24 h |
| Nombre d'étapes | 1 | 1 | 9 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Ratio liquide/solide | 20/MH | 20/MH | 20/MH | 10/MS | 10/MH | 10/MH | 10/MS |
| Taille échantillon | 9.5 mm | 9.5 mm | 9.5 mm | 10 mm | 5 mm | > 4 cm | > 4 cm |

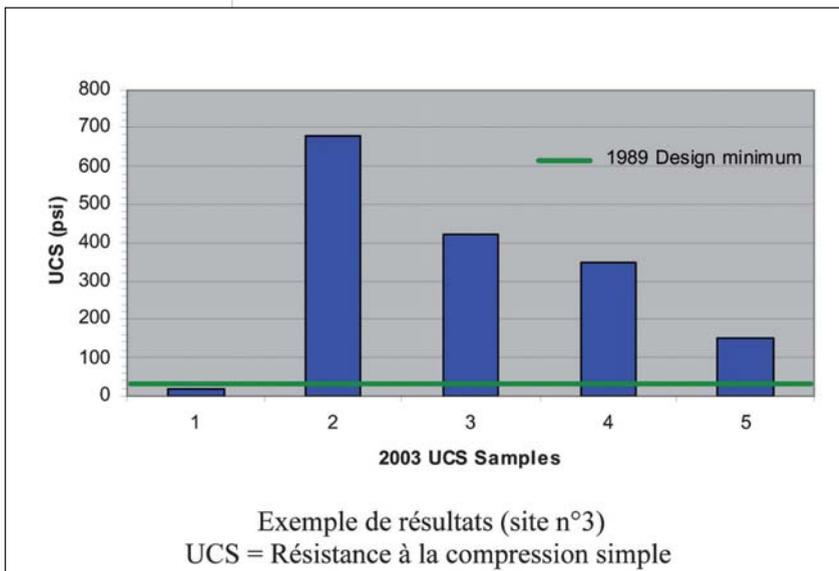
TCLP – Toxicity Characteristic Leaching Procedure
SPLP – Synthetic Precipitation Leaching Procedure
MEP – Multiple Extraction Procedure
DIN 38414-S4 - (DIN-NORMEN, 1984)
NRA – The National Rivers Authority
NF X31.211 – Afnor, norme française
MH : masse humide
MS : masse sèche

Tableau III

Essais de lixiviation correspondant à l'ensemble des sites étudiés

Leaching tests corresponding to all the sites investigated

PASSiFy : stabilisation/solidification de déchets et de sols pollués

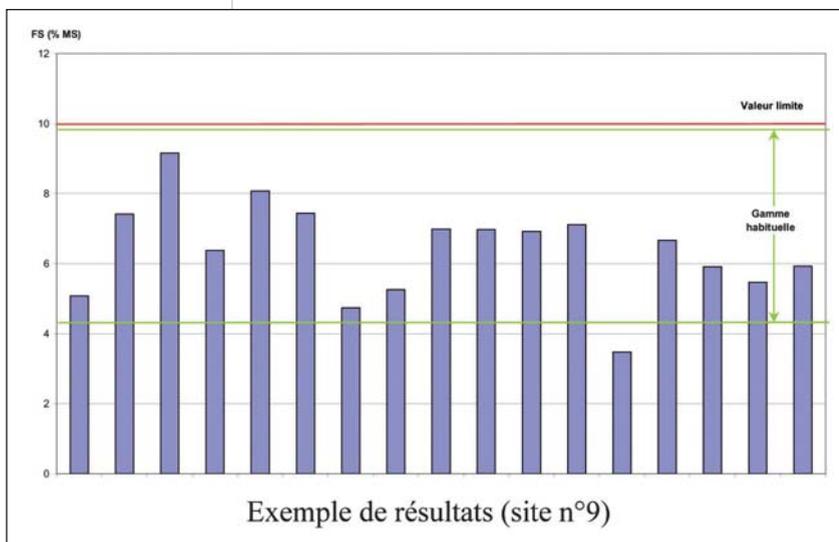


Exemple de résultats (site n°3)
UCS = Résistance à la compression simple

Figure 5

Exemple de résultats (UCS = résistance en compression simple)

Example of results (UCS = Unconfined Compressive Strength)



Exemple de résultats (site n°9)

Figure 6

Exemple de résultats [FS (% MS) = fraction soluble (% de matière sèche)]

Example of results [SF (% DM) = soluble fraction (% of dry matter)]



C'est pourquoi les étapes suivantes du projet portent sur un examen plus approfondi des caractéristiques des matériaux, au travers d'un programme transversal reposant sur :

- des observations minéralogiques : infrarouge, diffraction X, analyses spectroscopiques (identification des phases majoritaires, spéciation des éléments traces, etc.);
- des essais de lixiviation plus spécifiques : essais de type ANC (Acid Neutralisation Capacity), essais de lixiviation dynamiques de longue durée, etc.;
- la comparaison et l'interprétation des données disponibles : données historiques et données acquises au cours de ce projet.

Premiers résultats

Concernant les essais mécaniques, des différences ont été observées sur certains échantillons américains entre les valeurs mesurées dans le cadre du projet et les résultats obtenus initialement lors du traitement (figure 5). Compte tenu de la similarité des autres résultats ainsi que des autres observations et mesures effectuées sur site depuis plusieurs années, ces différences semblent principalement liées au mode de constitution et de prélèvement des échantillons, avec les difficultés des opérations de carottage déjà évoquées dans le paragraphe précédent.

Pour l'ensemble des sites, les résultats des essais de lixiviation menés sur les prélèvements effectués dans le cadre du projet PASSiFy sont conformes aux résultats de contrôle qualité menés à la date des traitements : le graphique (figure 6) reprend pour exemple les résultats obtenus sur les échantillons français.

Actuellement le programme se poursuit avec l'examen approfondi des échantillons et l'interprétation de l'ensemble des données.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Partie française

- Ademe
- Sita
- Suez Environnement
- Inertec
- Laboratoire d'environnement et de minéralogie de Nancy

Partie anglaise et américaine

- Portland Cement Association
- US EPA
- British Environment Agency
- Greenwich University
- New Hampshire University
- Bachy Soletanche Ltd
- Royal Engineers
- Birmingham University

■ Conclusions

Le projet PASSiFy présenté ici est l'un des très rares projets de recherche reposant sur l'examen de déchets stabilisés et solidifiés prélevés sur sites réels anciens.

L'étude montre la diversité des situations où un traitement de stabilisation/solidification a été utilisé, tant concernant la nature des polluants que le mode de mise en œuvre.

Elle souligne également la difficulté et la très grande importance des opérations de carottage pour obtenir des échantillons représentatifs des matériaux en place. Les résultats expérimentaux obtenus valident la conformité des traitements par rapport aux objectifs recherchés.

Le projet se poursuit actuellement avec la mise en œuvre des essais de lixiviation de longue durée et les observations minéralogiques détaillées.

L'ensemble des résultats devra ensuite être interprété pour évaluer, pour les sites choisis, le comportement à long terme des matériaux dans leurs conditions de stockage ou d'utilisation. ■

ABSTRACT *PASSiFy : stabilisation/ solidification of polluted wastes and soils*

M.-Cl. Magnié, M.-A. Aubry

Following changes in the European regulations, PASSiFy (Performance Assessment of Stabilised/Solidified Waste Forms) is a research project organised by Greenwich University in the United Kingdom, to assess the use of stabilisation/solidification techniques for the treatment of polluted wastes and soils.

This UK university has joined forces with partners in countries in which these techniques have been used for many years now on an industrial scale, namely the United States and France.

The French section, in which there are five participants, is coordinated by Inertec, the joint environmental subsidiary of Solétanche Bachy and SITA.

The special feature of this project is that it is based on an examination of about ten actual sites on which these processes have been employed and not on test specimens produced in the laboratory.

All the results obtained to date on samples aged between two years and more than ten years already show that there has been no deterioration of the treated materials.

The final results are expected for 2008.

RESUMEN ESPAÑOL *PASSiFy : estabilización/solidificación de residuos y de suelos contaminados*

M.-Cl. Magnié y M.-A. Aubry

Como consecuencia de la evolución de las normativas europeas, PASSiFy (Performance Assessment of Stabilised/Solidified Waste Forms) corresponde a un proyecto de investigación elaborado por la universidad de Greenwich, en el Reino Unido, destinado a evaluar la utilización de las técnicas de estabilización/solidificación para el tratamiento de los residuos y suelos contaminados.

Esta universidad inglesa se ha asociado con diversos socios de países donde estas técnicas se vienen utilizando desde numerosos años a nivel industrial, o sea EE. UU. y Francia.

La parte francesa, que cuenta de cinco participantes, va coordinada por Inertec, filial común de Solétanche Bachy y SITA en el sector del medio ambiente.

La especificidad de este proyecto se funda en el examen de unos diez emplazamientos reales en los cuales estos procedimientos fueron puestos en aplicación y no sobre diversos muestreos fabricados en laboratorio.

La totalidad de los resultados obtenidos hasta la fecha en diversas muestras de 2 años a más de 10 años de edad permite demostrar la inexistencia de deterioración de los materiales tratados.

Los resultados finales serán publicados en 2008.

Firminy. Protection contre une pollution

Le site de l'Ondaine à Firminy dans la Loire est un site historique de l'industrie métallurgique. Il a subi une pollution des eaux souterraines par des hydrocarbures. Cette pollution a migré et a provoqué une pollution de la rivière Ondaine.

Sol Environment, filiale de Solétanche Bachy dans le domaine de l'environnement, a développé une solution de traitement basée sur la mise en œuvre d'une barrière physique imperméable entre un amont pollué et la rivière. En amont de l'écran imperméable une tranchée drainante équipée de puits permet la collecte et le pompage des eaux souterraines polluées. Le traitement des effluents aqueux se fait en surface dans les installations de traitement d'eau du site. Sol Environment garantit la protection de la rivière contre le flux polluant issu du sous-sol du site. Les travaux ont été réalisés sans interrompre l'activité.

Le site industriel de la vallée de l'Ondaine à Firminy est célèbre pour sa fameuse tour de trempe qui permettait la fabrication de pièces longues telles que canons et arbres de lignes pour la marine. Il se trouve être pollué par des hydrocarbures. C'est une pollution ancienne qui a migré vers la rivière et a provoqué la contamination de celle-ci (photos 1 et 2).

Cette situation a amené la société Aubert & Duval à lancer un appel à idées pour la réalisation des travaux nécessaires à l'arrêt des impacts de cette pollution, les travaux ne devant pas perturber la continuité des activités industrielles du site.

Le principe général de la solution technique proposée

par Sol Environment consiste dans l'interception du flux d'hydrocarbures libres et dissous, au moyen d'un écran imperméable et la mise en place d'un dispositif performant de collecte des polluants en amont de cet écran.

La géologie est constituée de couches alluvionnaires dans le lit de la rivière et de remblais reposant sur un substratum schisteux. Les remblais et les alluvions sont aquifères. Ils présentent une perméabilité très faible mais relativement homogène puisque la perméabilité K varie entre 10^{-8} à 10^{-9} m/s. Le cheminement de la nappe vers la rivière doit se faire vraisemblablement par des passages préférentiels au travers des remblais et des alluvions modernes par un réseau de canalisations enterrées désaffectées et de vieilles fondations. Ces ouvrages enterrés ne sont pas identifiés.

Dans ce contexte, une solution de pompage classique par puits ne permet pas de garantir un arrêt du flux polluant vers la rivière. Il faut intercepter de manière certaine tous les cheminements. La solution retenue consiste à séparer l'amont contaminé de l'aval à protéger et de mettre en œuvre un dispositif de collecte des hydrocarbures efficace sur tout le linéaire de l'écran et ce malgré la faible perméabilité de l'aquifère.

L'exiguïté et les différences d'altimétrie du secteur concerné par les travaux de dépollution ont amené Sol Environment à demander au maître d'ouvrage la réalisation de sondages géotechniques visant à définir la résistance des terrains en place. Jusqu'à environ 6 m de profondeur, les terrains sont meubles et la pression limite ne dépasse pas 0,3 MPa. À partir de 6 m de profondeur, cette dernière augmente assez brutalement pour atteindre plus de 5 MPa sur moins d'un mètre. Cette reconnaissance a mis en évidence l'impossibilité d'ancrage d'un écran en profondeur et donc la nécessité d'un butonnage durant la phase de travaux.

Photos 1 et 2
État initial
Original state



de la rivière Ondaine par hydrocarbures



Christian Ille
Directeur technique
Sol Environment



Michel Cornu
Directeur d'exploitation
Sol Environment



Photo 4

Travaux préparatoires -
Aménagement de plate-forme
Preparatory work - Platform
development

Les travaux préparatoires ont compris une phase de débroussaillage (photo 3), la déviation des réseaux enterrés actifs et l'aménagement d'une plate-forme de travail à environ 2,5 m au-dessus de la rivière (photo 4). La rivière est protégée durant la phase de travaux par des sacs de sable formant un batardeau et des bouclins formant un barrage flottant visant à arrêter la dispersion d'hydrocarbures dans la rivière.

L'écran imperméable a été réalisé par un mur de palplanches (photo 5) battues au refus à une profondeur voisine de 6 m sur un linéaire de 48 m soit une surface d'écran de l'ordre de 290 m². Un joint hydrogonflant résistant aux hydrocarbures de type essences, gazole et huiles minérales assure l'étanchéité entre chaque palplanche.

Les butons sont posés entre la lierne de répartition (photo 6) en tête du rideau de palplanches et des appuis sur la rive opposée de la rivière.



Photo 5

Mise en place d'un écran
impermeable
Laying an impervious shield

Photo 3

Travaux préparatoires - Débroussaillage
Preparatory work - Bush clearing



Photo 6

Purge des berges sous butons
Slope trimming on banks
under stays

Protection de la rivière Ondaine (Firminy) contre une pollution par hydrocarbures

Photo 7

Tranchée drainante amont
Drainage trench upstream



Photo 8

Puits sur plate-forme
en porte-à-faux
*Well on cantilever
platform*



Photo 9

Réfection des réseaux
Renovation of the networks



Une fois le rideau mis en place, les eaux souterraines sont bloquées au niveau de l'écran et tentent de contourner l'écran par les extrémités latérales et verticales. Afin d'éviter ces phénomènes de contournement et de bourrelet piézométrique, il est indispensable de collecter et d'extraire le flux d'eau et d'hydrocarbures. Une tranchée drainante continue (photo 7) pour rabattre la nappe sur toute la longueur du rideau étanche a été réalisée à une profondeur voisine de 5 m. La tranchée a été équipée d'un drain de pied de diamètre 6 pouces.

Trois puits busés en diamètre 800 mm sont réalisés sur la tranchée drainante permettant l'extraction d'eau et d'hydrocarbures flottants. Suivant les contraintes d'installation des pompes d'extraction, à la demande du maître d'ouvrage, les puits ont été prolongés de 2 m dans le substratum schisteux et équipés de tubages PVC 104/114 mm. L'approfondissement de ces puits par forages destructifs a nécessité l'aménagement d'une plate-forme en structure tubulaire en porte-à-faux (photo 8).

Les berges contenant des hydrocarbures adsorbés ont été excavées à la pelle mécanique entre les butons (photo 6). Terres propres et terres polluées ont été triées à l'avancement et stockées sur site spécifiquement : les terres polluées ont été stockées dans une alvéole équipée de bâches en polyane, les terres propres stockées en andains à même le sol. Les berges ont été reconstituées par des enrochements et des matériaux granulaires propres.

En fin de travaux des réseaux d'eaux pluviales usées et industrielles du site ont été installés en tête de l'ouvrage (photo 9). Le talus et les barrières de protection du site ont été réinstallés suivant la configuration du site à l'état initial.

Les travaux se sont déroulés sur une période de 4 mois entre novembre 2006 et février 2007.

La conception et la réalisation de la solution de mise en sécurité des eaux de surface traversant ce site ont donc été menées par phase : recherche et déviation des utilités du site, extraction des réseaux et fondations désaffectés, aménagement d'une plate-forme de travail, création du système de protection des eaux superficielles, mise en place d'un dispositif de collecte des eaux souterraines, extraction des matériaux pollués des berges et tri des terres propres et polluées, réfection des utilités nécessaires à la poursuite, en sécurité, des activités industrielles du site. La viabilité de la solution est dépendante de la maintenance du dispositif de pompage et de traitement des effluents liquides. Elle est assurée par le personnel du site.

Cette approche couplée à la réalisation d'un ouvrage de protection des eaux superficielles intégré au site et



Photo 10

État final

Final state

de l'exploitation du système d'extraction et de traitement des eaux par l'industriel a été jugée nécessaire pour atteindre de manière fiable les objectifs du traitement et permettre à Sol Environment de s'engager sur le résultat (photo 10). ■

ABSTRACT

Protection of the Ondaine River against hydrocarbon pollution

Ch. Ille, M. Cornu

The site of Ondaine at Firminy in the Loire region is an historic metallurgical industry site. It has sustained groundwater pollution by hydrocarbons. This pollution has migrated and caused pollution of the Ondaine River.

Sol Environment, an environmental engineering subsidiary of Solétanche Bachy, has developed a treatment solution based on setting up an impervious physical barrier between a polluted upstream area and the river. Upstream of the impervious shield a drainage trench provided with wells allows the polluted groundwater to be collected and pumped. Aqueous effluent treatment is performed on the surface in the site water treatment facilities. Sol Environment ensures protection of the river against pollutant flows coming from the subsoil of the site. The work was carried out without halting production.

RESUMEN ESPAÑOL

Protección del río Ondaine contra una contaminación procedente de hidrocarburos

Ch. Ille y M. Cornu

El sitio de Ondaine en Firminy en el departamento del Loira es un sitio histórico de la industria metalúrgica. Ha sufrido una contaminación de las aguas subterráneas procedente de los hidrocarburos. Esta contaminación se ha desplazado y ha provocado una contaminación del río Ondaine.

Sol Environment, filial de Solétanche Bachy en el sector del medio ambiente, ha desarrollado una solución de tratamiento que se funda en la puesta en aplicación de una barrera física impermeable entre la parte aguas arriba y el río. Aguas arriba de la pantalla impermeable una zanja de drenaje dotada de pozos permite la colecta y el bombeo de las aguas subterráneas contaminadas. El tratamiento de los efluentes acuosos se efectúa en superficie en las instalaciones de tratamiento de agua del sitio. Sol Environment asegura la protección del río contra el flujo contaminante procedente del subsuelo del sitio. Los trabajos fueron ejecutados sin interrumpir la actividad.