

La revue technique des entreprises de Travaux Publics

Travaux

n°837
Janvier 2007

TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES BARRAGES

- Confortement et suivi d'un rideau de palplanches
- Aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux - Susa (Italie)
- Reconstruction du barrage de Chatou
- Confortement du barrage du Vêrut
- Sables d'Olonne : un élévateur à bateaux de 500 t sur la Cabaude
- Des fondations spéciales dans le port de La Ciotat
- Monaco - Avant-port de la Condamine
Préfabrication des caissons
- Le barrage belge de Butgenbach
- Chantier naval du port de Dubai, projet Safina
- Moma Sands Jetty au Mozambique
- EMCC : tournant environnemental pour des métiers centenaires
- Un chantier école du lycée Caraminot d'Égletons

Travaux fluviaux et maritimes - Barrages



Travaux fluviaux et maritimes - Barrages



François Bordry
Président de VNF

Il est peu de dire que les barrages ont un intérêt stratégique non seulement pour la navigation fluviale mais aussi pour le soutien des étiages et la gestion des crues. Mécanisés ou à manœuvre manuelle, ils permettent de maintenir hors intempéries les lignes d'eau des fleuves et rivières navigables et donc de garantir les mouillages. De plus, leur exploitation permet de réduire l'impact des faibles crues par abaissement préventif des plans d'eau et de constituer des réserves d'eau en période de sécheresse.

Conformément au contrat d'objectifs et de moyens signé avec l'État en novembre 2004, Voies navigables de France est amené, dans le cadre d'une politique nationale de mise en sécurité des équipements et infrastructures de transport fluvial, à restaurer et à reconstruire ces barrages (mais également des écluses, digues, tunnels...). J'ajoute que l'établissement veille tout particulièrement à limiter l'impact à long terme de ces aménagements sur la nature, par exemple en rétablissant la libre circulation des poissons par la mise en œuvre d'ouvrages de franchissement, telles les passes à poissons.

L'établissement a précisé la gestion de 144 barrages manuels (à aiguilles, à vannettes, à vannes levantes, à crémaillères, à planchettes) et à hausses dont le vieillissement a conduit à une situation parfois critique en termes de sécurité pour les agents des services, les usagers de l'infrastructure ou les riverains. C'est la raison pour laquelle VNF s'est engagé dans un programme de reconstruction dont l'investissement est évalué à un montant supérieur à 500 millions d'euros pour les dix ans qui viennent (dans l'attente un programme « intermédiaire » de sécurisation des barrages existants est mis en œuvre). De façon générale, l'établissement développe, avec l'appui du Centre d'études techniques maritimes et flu-

viales (CETMEF), un programme de recherche orienté autour des techniques de reconstruction pour assurer la standardisation des ouvrages de manière à minimiser les coûts (construction, maintenance) et d'optimiser la prise en compte de l'environnement.

J'ajoute que l'émergence de technologies modernes permet d'envisager désormais l'utilisation de certains de ces barrages de navigation pour une production hydroélectrique rentable. Dans cette optique, la faisabilité et l'opportunité de recourir à des montages financiers modernes, tels les contrats de partenariat, sont en cours d'évaluation pour la reconstruction des barrages et l'équipement de microcentrales de deux bassins complets (la Meuse et l'Aisne).

Voies navigables de France est également amené à restaurer et à reconstruire plusieurs barrages mécanisés majeurs. Je pense notamment aux ouvrages sur la Seine et sur l'Oise, qui mobilisent un investissement total de près de 200 millions d'euros. À cet égard, je souligne que ces travaux s'inscrivent dans le projet de liaison européenne Seine-Escaut, qui reliera les bassins de la Seine et de l'Oise au réseau à grand gabarit de l'Europe du Nord et qui permettra de multiplier les trafics fluviaux par 3 sur l'axe Nord-Sud dès 2020.

Les investissements massifs sur les barrages sont une illustration des nombreuses actions menées par Voies navigables de France pour fiabiliser et sécuriser le réseau navigable. Conjugués à une politique de qualité de services, ils accompagnent l'évolution significative des trafics fluviaux de marchandises : + 40 % depuis 1997.

Confortement et suivi d'un

Parmi les nombreux ouvrages de soutènement, les palplanches constituent une solution très largement répandue, notamment dans les sites aquatiques. Cet article traite d'une digue de séparation entre une rivière et un canal. Cette digue construite par remblaiement est maintenue par deux rideaux de palplanches parallèles. Les efforts sont repris par des tirants.

En décembre 2001, cette digue, située en Meurthe-et-Moselle, a rompu soudainement à la suite de fortes précipitations, engendrant des coupures de circulations. Afin de minimiser la gêne occasionnée, les délais pour la reconstruction de la digue ont été très contraints exigeant un investissement fort de l'ensemble des acteurs.

Après avoir déterminé et réalisé un programme de reconnaissances (sondage à la pelle, pénétromètre, pressiomètres, essais chimiques...) un nouveau rideau de palplanches maintenu par tirants a été dimensionné et réalisé. Finalement, la circulation routière a pu être rétablie 10 mois après la rupture du rideau.

Cette affaire met en évidence la nécessité du suivi d'un tel ouvrage : c'est pourquoi, après la réparation, des tirants ont été équipés de cales dynamométriques et un contrôle régulier de la tension des tirants a été mis en place. À l'avenir des travaux de recherche vont se concentrer sur le suivi en continu des tirants et du niveau piézométrique de la digue. Le but sera de mettre en lumière une corrélation entre ces deux indicateurs afin de favoriser le suivi piézométrique, plus facile à mettre en œuvre et donc plus pérenne.

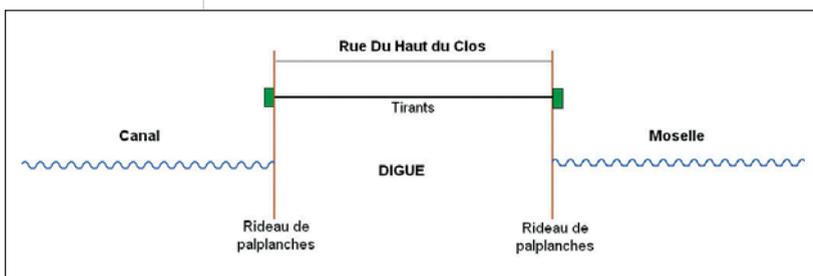


Figure 1

Coupe de la zone d'étude

Cross section of the study area

Parmi les nombreux ouvrages de soutènements, les palplanches constituent une solution très largement répandue, notamment dans les sites aquatiques. En particulier il existe des digues construites par remblaiement et maintenues par deux rideaux de palplanches parallèles. Les efforts peuvent alors être repris par des tirants qu'ils soient traversants ou non. La stabilité de ces ouvrages réside alors essentiellement dans la reprise des efforts par ces tirants.

À la suite de violentes intempéries, sur une digue de ce type située en Meurthe-et-Moselle, à 10 km au sud-ouest de Nancy sur la commune de Neuves-Maisons, est apparue une rupture localisée sur une zone d'une douzaine de mètres, le 30 décembre 2001. L'objet de cet article est la description des études et travaux liés à ce chantier ainsi que l'instrumentation mise en place.

■ Contexte

Localisation

La digue en question permet de séparer la rivière Moselle et le canal de dérivation à l'aval de l'écluse grand gabarit de Neuves-Maisons (photo 1 et figure 1). Cette digue supporte une chaussée (rue du Haut du Clos), qui constitue un itinéraire privilégié pour les poids lourds entre un site sidérurgique et la route départementale 974.

Un pont routier en béton précontraint, permettant à la RD 974 le franchissement de la dérivation canalisée, est adjacent à cette zone, à 15 m environ de la zone effondrée. La RD 974 rejoignant la ville de Nancy reçoit un trafic important.

Ouvrage initial

Le rideau de palplanches, objet de la rupture a été construit en 1978 dans le cadre de la mise à grand gabarit de la Moselle. Il est constitué à l'origine par des palplanches de type Larsen IV côté chenal navigable et côté Moselle, solidarisées par des tirants de type 6T13.

Conditions météorologiques

En décembre 2001, la météorologie n'a pas été clémente en Meurthe-et-Moselle avec de fortes précipitations tout au long du mois : 80 mm de pluie ont été enregistrés en l'espace de 10 jours avec un pic à 48 mm le 29 décembre 2001. Ces précipitations ont entraîné une montée importante du niveau des eaux de la Moselle suivie d'une décrue rapide. Ainsi les contraintes appliquées sur le rideau de palplanches ont connu une forte augmentation.

rideau de palplanches

Audrey Barbier
Responsable
de l'activité risques
mouvements de terrain
Cete de l'Est – LRPC
de Nancy

René Stock
Chargé d'études
en géotechnique
Cete de l'Est – LRPC
de Nancy

Yannick Payot
Responsable du bureau
d'études aménagement
et environnement
Voies Navigables
de France – Direction
interrégionale Nord-Est

Daniel Rengeard
Responsable de l'unité
surveillance et sécurité
du patrimoine
Voies Navigables
de France – Direction
interrégionale Nord-Est

Photo 1
Vue de la zone d'étude
View of the study area



Photo 2
Vue de la zone à partir du pont. Déversement en tête
de 1 m
View of the area from the bridge. 1-metre overtopping

À ces fortes précipitations se sont ajoutées des périodes de fortes gelées avec un minimum de quatorze degrés en dessous de zéro le 24 décembre 2001. Ces conditions ont probablement entraîné une fragilisation de l'acier constitutif des tirants passifs.

Dégâts et mesures de sécurité

Le rideau de palplanches a cédé du côté du canal sur une douzaine de mètres avec un déplacement en tête du rideau de l'ordre du mètre. Une partie de la chaussée de la rue du Haut du Clos (rue longeant la digue) ainsi que la totalité du trottoir se sont affaissées rendant la circulation impossible de ce côté de la chaussée (photos 2 et 3).

Par mesure de sécurité, la coupure totale de la rue du Haut du Clos a été décidée, contraignant les poids lourds du site sidérurgique à un détour très important. La RD 974 a été également fermée à la circulation car la stabilité du pont jouxtant la zone de désordres était incertaine.

Après une première expertise des agents du



Photo 3
Vue de la zone en direction du pont. Affaissement
de la chaussée et du trottoir
View of the area in the direction of the bridge. Subsidence
of the pavement and footpath

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Nancy, la circulation sur le pont de la RD 974 a été rétablie par alternance, en neutralisant la voie située du côté de la zone de désordres.

Cette rupture ainsi que les investigations et les travaux de confortement n'ont pas eu d'impact sur la navigation.

■ Étude de confortement

Investigations

À la suite de ces désordres, une réunion avec les gestionnaires et maîtres d'ouvrage (VNF, Conseil général) a été organisée dès le début du mois de janvier 2002. Il s'agissait de déterminer au plus vite les modalités d'intervention pour l'étude d'un confortement. Les contraintes de temps étaient très importantes en raison des gênes occasionnées par les coupures totale et partielle de circulation engendrées par ce sinistre.

Confortement et suivi d'un rideau de palplanches

Photo 4

Prise d'échantillons après sondage à la pelle
Taking samples after sounding by shovel

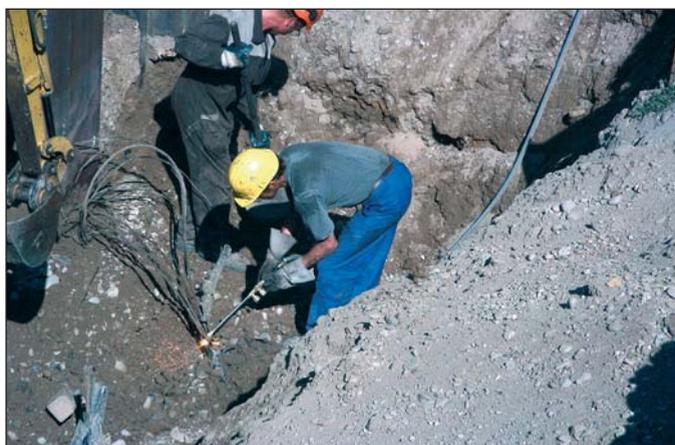


Tableau I

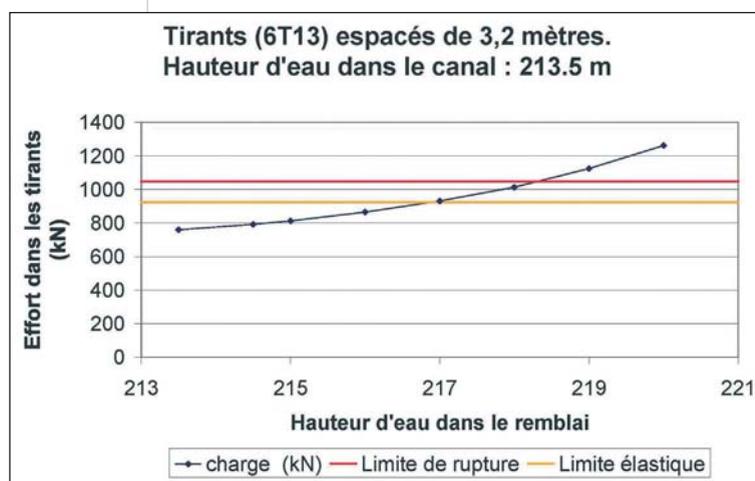
Caractéristiques au moment de la rupture

Characteristics at the time of breakage

Longueur des palplanches	16 m
Type de palplanches	LARSEN IV
Espacement des tirants	3,6 m
Limite de rupture des tirants	1048 kN
Limite élastique des tirants	924 kN
Cote du niveau d'eau dans le canal	213,5 m NGF
Cote du niveau d'eau dans la digue	219 m NGF
Tension dans les tirants au moment de la rupture	1100 kN

Figure 2

Variation des efforts en fonction du niveau d'eau dans la digue
Force variation as a function of the water level in the embankment



Le programme d'investigations réalisé à la fin du mois de janvier a consisté en :

- un sondage à la pelle mécanique jusqu'au niveau des tirants existants afin de déterminer la nature des matériaux de remblai mais également pour permettre la prise d'échantillons d'acier sur les tirants (photo 4);
- des sondages au pénétromètre dynamique PDG 1000 afin de vérifier la compacité du sol;
- des sondages avec essais pressiométriques tous les mètres et pose de tubes piézométriques afin de calculer le dimensionnement d'un nouveau rideau de palplanches et d'effectuer un suivi du niveau d'eau dans la digue;

- une reconnaissance par sismique parallèle au rideau afin de déterminer la longueur réelle des palplanches.

Les résultats de ces investigations ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- les tirants étaient situés à une profondeur de 4,5 m environ à partir de la crête de la digue. Le sondage à la pelle a permis de déterminer qu'il s'agissait de tirants de type torons 6T13. Ces tirants ont montré une détérioration importante en raison d'une dégradation de surface par corrosion correspondant à une réduction des capacités de précontraintes de l'ordre de 50 %;
- les résultats des essais pénétrométriques et pressiométriques ont permis de conclure à une zone de faible compacité située entre 2 et 5 m de profondeur, soit au-dessus et dans la zone des tirants. Le substratum marneux avec de bonnes caractéristiques mécaniques se trouvait à une profondeur de 9 m environ par rapport à la crête de digue.

Analyse des désordres

Les investigations géotechniques, les données sur l'état des tirants ainsi que les relevés des niveaux d'eau dans la Moselle et le canal ont permis d'analyser les causes de ruptures du rideau : la poussée de l'eau à l'arrière du rideau couplée à des tirants corrodés a provoqué la rupture.

La situation a été modélisée sur un logiciel de calcul (RIDO). Les données collectées préalablement ont été entrées dans le logiciel avec toutefois une incertitude sur le niveau d'eau réel dans la digue au moment de la rupture. De plus, la donnée sur une corrosion de 50 % a été traduite dans le calcul par un espacement des tirants doublé par rapport à la situation réelle, soit 3,2 m au lieu des 1,6 m réellement constatés sur place (tableau I).

La simulation conduisant à la rupture du rideau a permis de définir que le niveau de l'eau dans la digue était à environ 219 m NGF (figure 2) lors de la rupture ce qui correspond pratiquement au niveau de crue mesuré dans la Moselle (220 m NGF).

Proposition de confortement

Le confortement par reconstruction d'un rideau de palplanches a été calculé en tenant compte des conditions hydrauliques les plus défavorables : lorsque le niveau d'eau à l'arrière du rideau (dans la digue) est très élevé alors qu'il est à son niveau normal dans le canal. Cette situation crée une dissymétrie de la poussée hydrostatique de part et d'autre du rideau. En pratique, les cotes retenues ont été de 213,5 m NGF dans le canal et une cote du niveau d'eau dans la digue à

Figure 3

Tirant scellé dans les marnes (zone B)
Tension member embedded in marls (area B)

220 m NGF. De plus, une surcharge de circulation de 20 kPa a été prise en compte dans le calcul afin d'intégrer la circulation des poids lourds et leur stationnement. Ainsi, l'étude a permis de déterminer le type de tirants à mettre en œuvre ainsi que leur espacement et leur cote optimale. En l'occurrence nous avons abouti à la mise en place de tirants monobarras traversants, espacés de 1,2 m de limite de rupture de 1048 kN placés à une cote de 217,5 m NGF.

■ **Travaux**

Les travaux ont démarré en juillet 2002 sur la base d'un marché négocié après les procédures habituelles d'appel d'offres. La maîtrise d'œuvre travaux a été assurée par Voies Navigables de France, subdivision de Toul.

Renforcement des zones adjacentes (zones B)

Description

La première phase a consisté en un renforcement des zones immédiatement adjacentes (zone B) à la zone effondrée (zone A) afin d'éviter une propagation des désordres. Ce confortement a consisté en la mise en place de tirants scellés dans les marnes au coulis de ciment (figure 3). Les travaux se sont déroulés depuis le canal, la foreuse étant placée sur une barge (photos 5 et 6).

Mise en tension des tirants

Les tirants de la zone B ont été préchargés à une valeur de 65 kN correspondant à 20 % de la charge théorique due à la poussée des terres (valeurs issues de calcul sur logiciel).

Essai de conformité

En l'absence d'essai préalable, impossible à réaliser compte tenu des délais de réparation, seul un essai de conformité a été pratiqué en début de chantier sur la zone B.

D'une part, cet essai a permis de déterminer précisément la valeur de frottement latéral (Q_s) à prendre en compte. Avant essai, la valeur de Q_s intégrée dans les calculs était de 12 t/m² pour les marnes altérées et 25 t/m² dans les marnes compactes. Mais cette dernière valeur a été revue à la baisse après essai ($Q_s = 16$ t/m²), ce qui a eu pour conséquence d'augmenter la longueur de scellement dans les marnes. Cette longueur est passée de 4,5 m à 7,5 m.

D'autre part, l'essai a mis en évidence un problème grave de mise en place des éléments de clous au niveau du boulonnage. En effet, les éléments de clous se dévis-

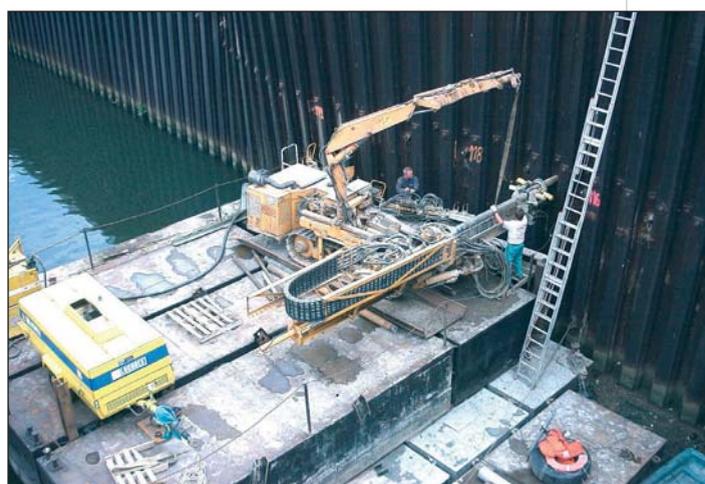
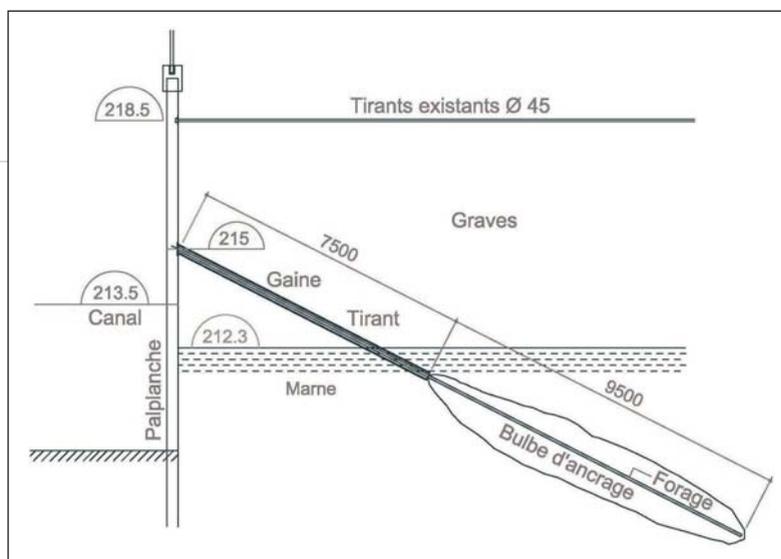


Photo 5

Vue de la foreuse sur barge

View of the barge-mounted driller

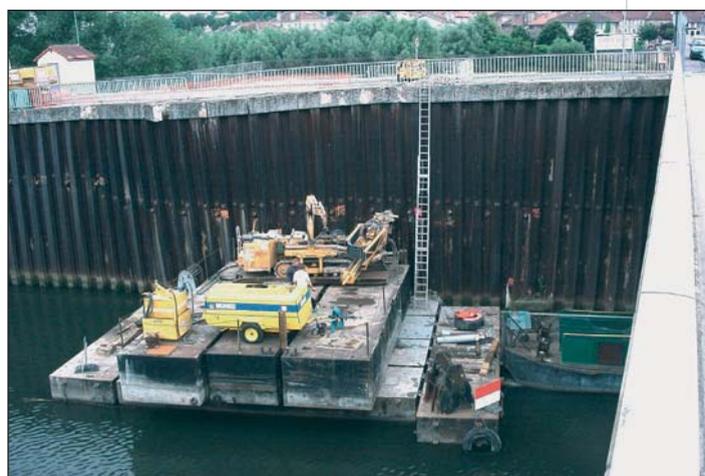


Photo 6

Renforcement des zones adjacentes (zone B)

Reinforcement of adjacent areas (area B)



Confortement et suivi d'un rideau de palplanches

Photo 7

Battage du nouveau rideau à l'arrière de l'ancien
Pile driving for the new curtain behind the old one



Photo 9

Mise en place du béton entre les deux rideaux
Placing concrete between the two curtains

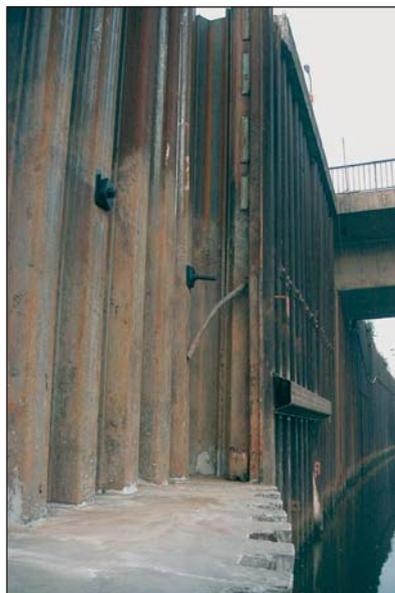


Photo 8

Mise en place des tirants
Installing tension members

saient lors des opérations de détubage en raison d'un problème de sens des pas de vis.

Cette anomalie a pu être facilement corrigée. Elle montre cependant tout l'intérêt des essais de confortement réalisés en début de chantier et dans les conditions réelles du chantier.

Mise en place du nouveau rideau

En août 2002, un nouveau rideau de palplanches de type L4S et de 16 m de longueur a été foncé à l'arrière du rideau effondré. La jonction entre le nouveau et l'ancien rideau a constitué la phase la plus délicate de cette partie. Les tirants mono-barres traversants ont été mis en place dans la zone confortée (photos 7 et 8). Les tirants de la zone A ont été bloqués avant rem-

blaiement de la zone effondrée, la mise en tension s'étant effectuée naturellement après découplage avec l'ancien rideau.

Travaux de finition

Après la mise en tension des tirants, l'ancien rideau a été recépé : il a été exclu de le retirer entièrement en raison des risques liés à la butée du nouveau rideau.

Enfin, en septembre-octobre 2002 les travaux de finition ont eu lieu : coulage de béton dans la zone entre l'ancien et le nouveau rideau, mise en place de la longrine en béton, du garde-corps et remise en état de la chaussée (photos 9 et 10).

■ Suivi

Instrumentation mise en place

Pour éviter à l'avenir une situation d'urgence du même type, il a été décidé d'instrumenter un certain nombre de tirants, aussi bien dans la zone de désordres (zones A : deux tirants équipés) que dans les zones adjacentes (zone B : cinq tirants équipés). Au total sept tirants ont été instrumentés (photos 11 et 12).

De plus, en dehors de ces deux zones, sur les rideaux rive droite et rive gauche à l'aval de l'écluse, des tirants anciennement instrumentés par des cellules dynamométriques mises en place lors de la construction ont été remises en état. Au total, une douzaine de tirants sont équipés de cellules mesurables à ce jour.

Suivi

Juste après les travaux de confortement, il a été décidé d'effectuer un suivi annuel de ces cellules, couplé à des mesures topographiques. Au bout de deux séries de mesures, il a été établi que ce suivi était insuffisant pour se rendre compte des fluctuations de tension liées aux précipitations et aux variations de température. Il a donc été décidé d'augmenter la fréquence des mesures qui est actuellement trimestrielle.

Le suivi effectué depuis maintenant trois années montre des fluctuations dans les tensions de tirants (figure 4). Le suivi trimestriel des tirants permet de constater une baisse générale de la tension entre les mois de septembre 2005 et de mars 2006, suivie d'une montée générale entre mars et juin 2006. Il est à ce jour encore un peu tôt pour établir une relation entre la tension dans les tirants et les précipitations ou plus précisément la hauteur d'eau dans la Moselle, mais une tendance semble se dessiner : les niveaux d'eau de la Moselle et dans la digue ont une influence sur la tension dans les tirants.



Photo 10

Vue du rideau terminé (longrine béton, garde-corps)
View of the completed curtain (concrete stringer, guard rail)

Suite envisagée

Pour affiner encore les résultats du suivi, il est envisagé de mettre en place un équipement piézométrique dans la digue. Ceci permettrait d'obtenir le niveau d'eau dans le remblai derrière le rideau. Ce suivi pourrait être associé à des mesures en continu des efforts d'un ou plusieurs tirants afin d'établir des relations entre le niveau d'eau dans la digue et les tensions dans les tirants.

À moyen terme et selon les résultats obtenus par cette instrumentation supplémentaire, il pourrait être envisageable de favoriser le suivi régulier du niveau piézométrique dans la digue, suivi facile de mise en œuvre par les services gestionnaires de l'ouvrage et revenir ainsi à un suivi ponctuel des tirants selon les résultats et les cotes d'alerte piézométriques mises en place.

Conclusion

Le rideau de palplanches de Neuves-Maisons, objet de notre étude a subi une rupture suite à de fortes précipitations couplées à des tirants corrodés. Cette rupture a généré des coupures de circulation interrompant notamment un trafic de poids lourds relativement important. La reconstruction du rideau s'est faite après analyse des causes du désordre. Un nouveau rideau de palplanches maintenu par des tirants monobarras traversants a pu alors être dimensionné. Les travaux ont ensuite été réalisés dans des délais très brefs en raison des fortes contraintes de circulation inhérentes à ce chantier.

Cette expérience a mis en lumière la nécessité d'un suivi des ouvrages tirantés. En effet, un tel suivi aurait sans doute permis de détecter des anomalies et de prévenir ainsi cette situation d'urgence. Depuis le sinistre,



Photo 11

Équipement des tirants de la zone A
Equipment of the tension members in area A



Photo 12

Équipement d'un tirant par cale dynamométrique
Tension member equipment with a dynamometer unit

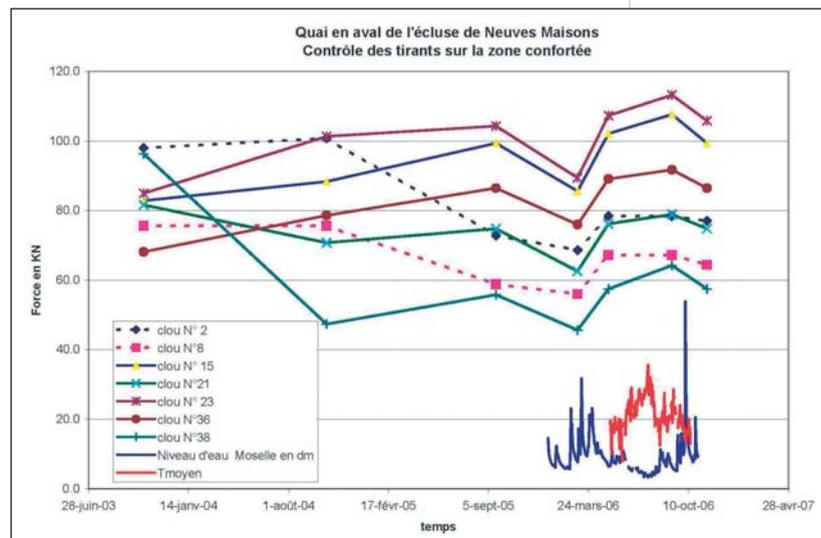


Figure 4

Evolution de la tension des tirants dans les zones A et B
Evolution of the tension of the tension members in areas A and B

Confortement et suivi d'un rideau de palplanches

► un suivi régulier des tirants instrumentés a été mis en place. Toutefois afin de pérenniser le suivi de l'ouvrage, il est envisagé une instrumentation supplémentaire par tubes piézométriques et inclinométriques. Cette instrumentation permettra un suivi en continu des niveaux d'eau dans la digue et des tensions dans les tirants. Le but d'une telle instrumentation sera d'établir une corrélation entre le niveau d'eau et la tension dans les tirants. Ceci permettrait de favoriser à l'avenir un suivi par tubes piézométriques plus facile à mettre en œuvre par le maître d'ouvrage et de le coupler à des mesures de tirants ponctuelles lorsque la situation l'exige. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

VNF. Direction interrégionale du Nord-Est

Assistance à maîtrise d'ouvrage

Cete de l'Est. Laboratoire des Ponts et Chaussées de Nancy

Maître d'œuvre études

VNF. Arrondissement Études et Grands Travaux

Maître d'œuvre travaux

VNF. Subdivision de Toul

Titulaire du marché

- Entreprise Vilault
- Sous-traitant : Sirco
- Bureau d'études interne : BET Favier Verne

Coordination SOPS

Société Norisko

- Montant du marché : 550000€
- Délai de réalisation : 4 mois

ABSTRACT *Rehabilitation and monitoring of a sheet piling curtain*

A. Barbier, R. Stock, Y. Payot, D. Rengeard

Of the many supporting structures, sheet piling is a very commonly used solution, especially on aquatic sites. This article discusses a separating embankment between a river and a canal. This embankment built by backfilling is held in position by two parallel sheet piling curtains. Forces are taken up by tension members.

In December 2001, this embankment, located in the Meurthe-et-Moselle region of France, broke suddenly following heavy precipitation, causing traffic breaks. In order to minimise the nuisance caused, the deadlines for rebuilding the embankment were very tight, demanding a heavy investment by all the players involved.

After determining and executing a reconnaissance programme (sounding by shovel, penetrometer, pressure meters, chemical tests, etc.), a new sheet piling curtain held in position by tension members was designed and constructed. Finally, road traffic was able to be restored 10 months after breakage of the curtain.

This project illustrates the need for monitoring of such a structure : that is why, after repair, the tension members were fitted with dynamometer units and regular checking of the tension members' tension was introduced. In the future, research work will focus on continuous monitoring of the tension members and the piezometric level of the embankment. The aim will be to pinpoint a correlation between these two indicators in order to facilitate piezometric monitoring, making it easier to perform and hence more permanent.

RESUMEN ESPAÑOL *Consolidación y seguimiento de una pantalla de tablestacas*

A. Barbier, R. Stock, Y. Payot, D. Rengeard

Entre las numerosas obras de contención, las tablestacas constituyen una solución sumamente empleada, y fundamentalmente en los emplazamientos acuáticos. En el presente artículo se trata de un dique de separación entre un río y un canal. Este dique construido mediante aportación de tierra está mantenido por dos pantallas de tablestacas paralelas. Los esfuerzos van soportados por los tirantes.

En diciembre de 2001, este dique, ubicado en el departamento de Meurthe-et-Moselle, se ha fracturado de un golpe a raíz de las importantes precipitaciones, acarreado así cortes de tráfico. Con objeto de minimizar las molestias ocasionadas, los plazos para la reconstrucción del dique fueron muy reducidos precisando una fuerte movilización de todos los protagonistas.

Tras haber determinado y realizado un programa de reconocimientos (sondeo mediante pala, penetrometro, presiometros, ensayos químicos, etc.) se ha dimensionado una nueva pantalla de tablestacas mantenida por medio de tirantes. Finalmente, el tráfico vial se ha podido restablecer 10 meses después la ruptura del tablestacado.

Esta operación pone de manifiesto la necesidad del seguimiento de semejante estructura: en este caso, tras la reparación, los tirantes fueron dotados de cuñas dinámicas y se ha implantado un control regular de la tensión de los tirantes. Para el futuro, los trabajos de investigación se concentrarán sobre el seguimiento en continuo de los tirantes y del nivel piezométrico del dique. El objetivo consistirá en evidenciar una correlación entre estos dos indicadores para propiciar un seguimiento piezométrico, más fácil de implementar y por consiguiente más perenne.

Les deux réservoirs de l'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux - Susa, en Italie



Gianfranco Carrara
Directeur travaux
Eiffage TP

L'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux est le plus grand construit en Italie au cours de ces dernières années. C'est un ouvrage de 400 M€, clefs en main. Il permet une économie de 86000 TEP et une réduction des émissions d'anhydride carbonique équivalente à 258000 t. Ses deux réservoirs, Val Clarea (haut) et Susa (bas) assurent les fonctions de régulation et d'accumulation lors de l'exploitation en phase de pompage. Lors de la construction des modifications importantes des projets de base ont été nécessaires pour faire face à des géologies et hydrogéologies contraignantes, mais aussi pour respecter les exigences environnementales. Pour réaliser le réservoir en enrochement de Val Clarea de capacité 530000 m³, un mouvement de terre de 2000000 m³ a été nécessaire. Pour celui des gorges de Susa d'une capacité de 420000 m³ un barrage-voûte poids de 53000 m³ de béton a été construit.

■ L'aménagement hydroélectrique

L'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux – Susa situé dans le Piémont, proche de la frontière Française est un ouvrage réalisé clefs en main de 400 millions d'euros en conception de construction, par le groupement Eiffage - Astaldi, pour l'Agence énergétique métropolitaine (AEM) de Turin.

L'AEM est un des principaux opérateurs italiens dans les domaines de la production, la distribution, et la vente d'énergie électrique.

La concession de construction implique que, partant d'un APS établi par le client, le groupement constructeur réalise :

- l'APD;
- les sondages de reconnaissance complémentaires qu'il juge nécessaires;
- le projet définitif d'exécution;
- la construction de tous les ouvrages nécessaires y compris électromécaniques;
- la mise en production (pré-exercice) avec un objectif contractuel à hauteur de 457 GWh par an;
- la formation du personnel de conduite de l'aménagement.

Cet aménagement satisfait les critères du concept « énergie propre renouvelable » et le chantier a été le premier en Italie à obtenir le décret VIA (évaluation de l'impact sur l'environnement).

Pour la partie génie civil l'aménagement qui exploite une dénivelée de 500 m environ est composé de :

- une prise d'eau (traversa di Pont Ventoux);
- une galerie de dérivation de 14 km;
- un réservoir de régulation de Val Clarea (haut) et ses ouvrages annexes en souterrain;
- une galerie en pression de 4 km;
- une conduite forcée métallique de 1,5 km avec pentes de 100 %, 15 % et verticale;
- une centrale entièrement en souterrain;
- une galerie de restitution;
- un barrage formant réservoir « des gorges de Susa » (bas);
- un ensemble de galerie de démodulation;
- un ensemble d'édifices de contrôle et maintenance;
- différentes galeries d'accès, ouvrages annexes, cheminées d'équilibre...

Pour la partie électromécanique, deux groupes de production :

- un binaire : turbine type Francis à axe vertical/générateur synchrone;
- un ternaire : de même composition, pouvant être accouplé à une pompe :

> le débit nominal de chaque groupe est de 17 m³/s,

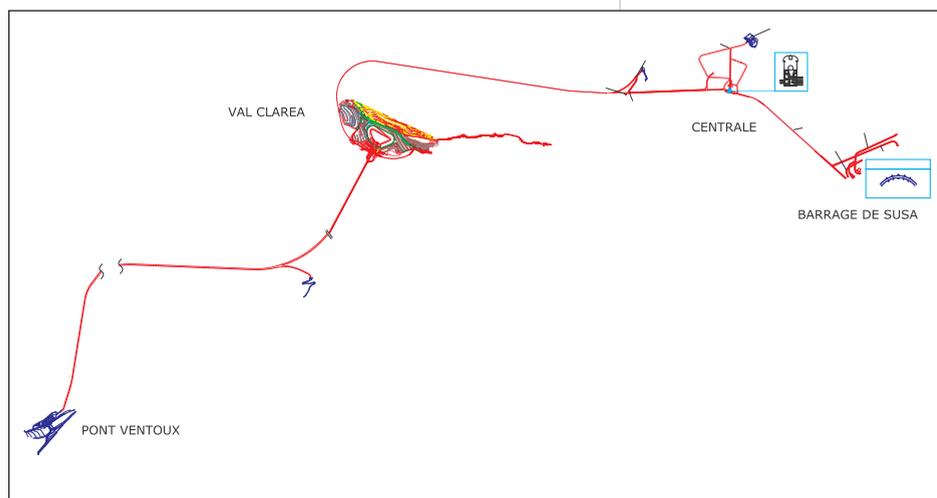


Figure 1

Schéma général,
vue en plan

General diagram,
plan view

Les deux réservoirs de l'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux - Susa, en Italie

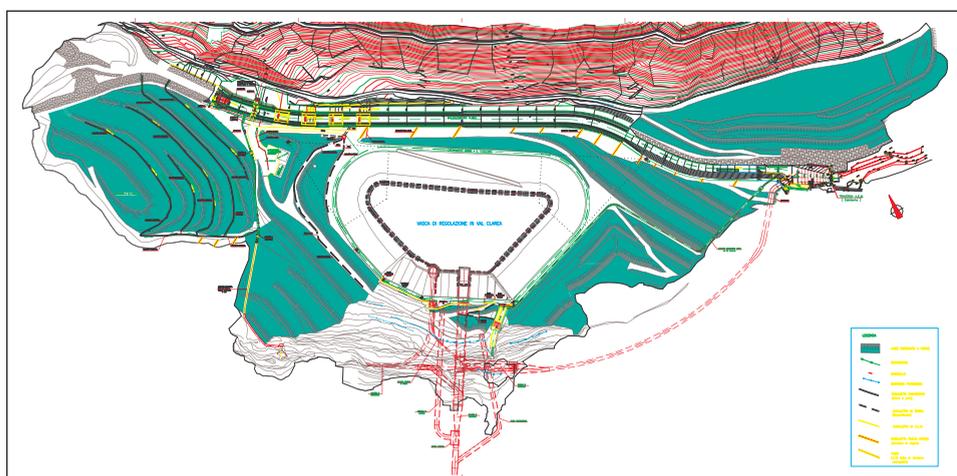


Figure 2

Val Clarea. Vue en plan

Val Clarea. Plan view

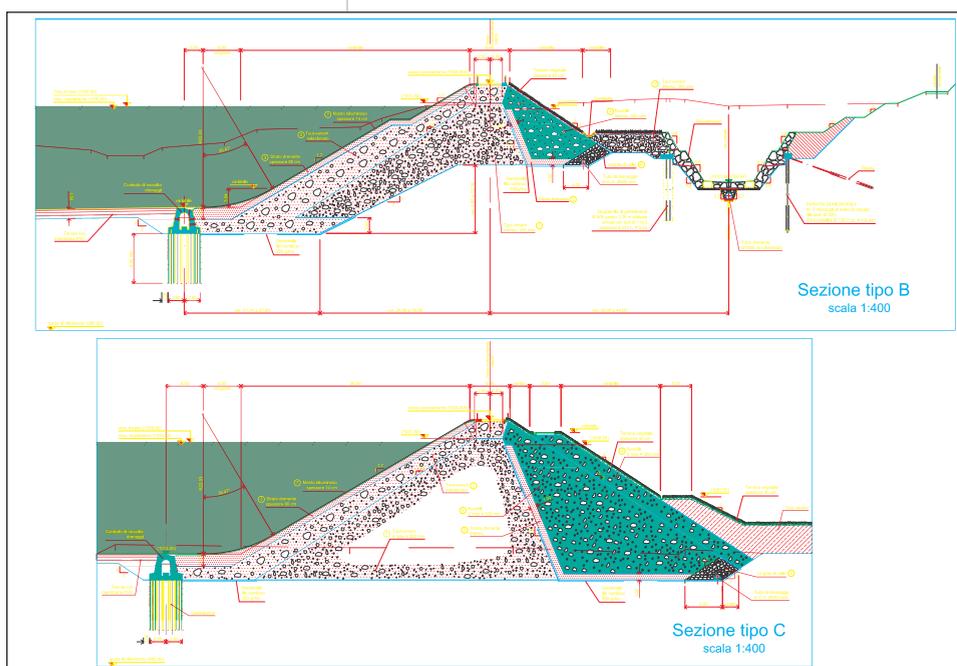


Figure 3

Val Clarea. Sections types B et C

Val Clarea. Typical cross sections B and C



- > la puissance nominale de chaque groupe est de 75 MW,
- > la vitesse de rotation est de 750 t/min,
- > le débit de la pompe est de 13 m³/s;
- deux transformateurs 15 kV/132 kV;
- un système de conduite-contrôle informatisé (Scada).

■ Géologie du site

L'intégralité du tracé est située sur le versant gauche de la vallée de Susa. Celui-ci rencontre deux unités géologiques distinctes : le massif d'Ambin et la zone des calcschistes piémontais. Le premier horizon est constitué principalement de roches métamorphiques : gneiss, micaschistes et amphibolites, le second de calcaires dolomitiques, quartzites, gypses et Carniole. Les phases répétées de déformation de la zone alpine ont tectoniquement compliqué les caractéristiques originelles

créant des alternances des lithotypes de ces deux horizons. La traversée ou les excavations de ces zones, souffrant de notables instabilités, a demandé l'emploi de traitements préventifs et de contrôles systématiques des déformées, principalement à cause de possibles glissements. Une attention particulière et un soin permanent ont été apportés pour la captation et le drainage des eaux des différentes nappes rencontrées, en accord avec les spécifications requises dans le décret VIA.

■ Le réservoir de régulation de Val Clarea

Choix de la solution optimum pour la réalisation du réservoir

La vallée fermée de Clarea dans la zone de l'ouvrage est formée par un puissant dépôt alluvionnaire (50 à 70 m d'épaisseur) posé sur le substratum. Dans le corps de ces alluvions sont présents des dépôts de moraine dont la majorité est sous forme de blocs. Sur les versants, des nappes détritiques d'épaisseur variable se raccordent avec les alluvions du fond mais le contact est à une cote sensiblement plus élevée que le niveau qui constitue aujourd'hui la « conque » naturelle.

Les versants rocheux sont très abrupts et ils émergent des couvertures détritiques à une cote de 150 à 200 m par rapport au fond de vallée.

Compte tenu des conditions géomorphologiques et de la reconstruction géologique de la vallée, les choix à suivre dans l'établissement du projet des ouvrages deviennent évidents.

Les considérations concernant la localisation topographique du réservoir et l'exigence de ne pas entailler le versant gauche prennent un caractère prioritaire.

Les conditions fonctionnelles de l'aménagement hydroélectrique fixent à environ 560 000 m³ le volume utile du bassin tandis que la cote maximale de régulation est fixée à 1 030,50 m s.m.

Autre point prévu dans l'avant-projet : le bassin doit être entièrement revêtu. La motivation principale de ce choix étant la nécessité, comme prévu par le décret VIA de ne pas « mêler » les eaux venant de la prise avec celles du bassin du rio Clarea.

L'ensemble de ces exigences a conduit à développer une solution basée sur des critères innovants par rapport à l'APS. Celle-ci doit prendre en compte la nécessité de résoudre efficacement le problème posé par la présence certaine de la nappe sous les structures d'imperméabilisation du réservoir et des possibles sous-pressions sur les dispositifs d'étanchéité superficielle en condition de bassin vide.

Une solution de réalisation du bassin hors du lit du rio Clarea a donc été adoptée, ce qui a permis de respec-



Photo 1

Val Clarea. Imperméabilisation des berges

Val Clarea. Bank waterproofing



Photo 2

Val Clarea. Jet grouting sous galerie de drainage

Val Clarea. Jet grouting under drainage gallery

ter cette exigence vis-à-vis des sous-pressions. Le tracé du rio Clarea est déplacé sur le versant gauche alors que le bassin est réalisé dans la partie centrale et à droite de la vallée. Les parements du bassin sont réalisés avec des pentes élevées pour des raisons d'optimisation du rapport déblais-remblais.

Le bassin est donc contenu à l'aval par un remblai d'une hauteur de 30 m, alors que suffisent, sur la partie gauche, une berge de faible hauteur et sur la partie amont un simple modelage du terrain.

Sur la rive droite la roche a été mise à nu; dans cette aire structurellement stable cela a permis d'obtenir un front adapté à l'implantation des différents ouvrages d'arrivée, de prise, et de décharges.

Le revêtement des berges construites du bassin est entièrement réalisé en conglomérat bitumineux en respect du critère habituel pour les bassins hors lit, à vidange et remplissage rapide. Ces parements présenteront une teinte grise typique des roches aux alentours. La partie sur roche au sud est revêtue de béton. L'imperméabilisation du fond du bassin est réalisée en membranes PVC et protégée par du géotextile recouvert de tout venant et d'une couche de béton maigre pour le rendre circulaire.

Dans la partie amont du réservoir, un écran étanche réalisé par injection protège le bassin d'éventuels flux de filtration du bassin du rio Clarea les dirigeant vers le fond du nouveau tracé de ce dernier.

Pour la galerie de dérivation de Pont Ventoux à Clarea, un élargissement de section dans les 136 m d'extrémité a été réalisé avec un double objectif :

- contribuer à l'augmentation de capacité;
- permettre de réaliser une chambre dédiée à l'ouvrage de décharge de surface.

Ce dernier ouvrage est constitué d'un seuil double de déversement installé dans une chambre souterraine perpendiculaire à la dérivation de Pont Ventoux.

La galerie de dérivation en pression (de Val Clarea à la centrale) contourne le bassin par l'amont suivant un tracé qui permet de la localiser entièrement dans la roche.

RÉSERVOIR DE RÉGULATION DE VAL CLAREA FICHE TECHNIQUE

Réservoir hors lit majeur du rio Clarea

- Niveau de régulation maximum : 1013,70 m s.m.
- Niveau du fond du réservoir : 1013 m s. m.
- Niveau de remplissage maximum : 1030,90 m s.m.
- Niveau du seuil évacuateur : 1030,60 m s.m.
- Cote de couronnement des berges : 134,35 m s.m.
- Volume utile de régulation : 563300 m³
- Volume mort : 9580 m³
- Volume de remplissage maximum : 591300 m³
- Débit maximum dérivable de la prise : 33 m³/s
- Débit total maximum ordinaire : 40 m³/s
- Débit total maximum exceptionnel : 48 m³/s

Évacuateur de secours en galerie

- Évacuateur à double seuil, développé total : 130 m
- Débit évacué au niveau de remplissage maximum : 40 m³/s

Décharge de fond

- Niveau de portail : 1009 m s.m.
- Niveau du seuil du batardeau : 1005 m s. m.
- Temps de vidange du réservoir : 8,5 heures

Galerie de dérivation

- Niveau de portail : 1009 m s.m.
- Niveau du seuil du batardeau : 1005 m s.m.
- Débit maximum dérivable : 34 m³/s

Caractéristiques géométriques du réservoir

- Hauteur maximum : 30 m
- Pente du parement interne :
 - > revêtement en conglomérat bitumineux : 1,7/1,0
 - > revêtement en béton : 1,0/1,0
- Pente du parement externe : 1,5/1,0
- Surface du revêtement bitumineux : 22300 m²
- Surface de revêtement béton : 11000 m²
- Surface du fond revêtu avec membrane PVC : 11700 m²

Volume du corps de barrage

- Tout venant : 176100 m³
- Tout venant sélectionné : 89300 m³
- Couche drainante : 51600 m³
- Enrochements pour accotement aval : 112000 m³

Nouveau lit du rio Clarea

- Débit de la crue de retour millénaire : 300 m³/s
- Débit de la crue de retour centenaire : 190 m³/s

Nota : le niveau de référence en Italie est m .s.m. soit mètre sur la mer

Les deux réservoirs de l'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux - Susa, en Italie

Photo 3

Val Clarea.
Terrassement
et enrochement
Val Clarea.
Earthworks
and rockfill



© Alex Béraud



© Alex Béraud

Photo 6

Val Clarea. Mise en eau
Val Clarea. First filling



© Alex Béraud

Photo 4

Val Clarea. Vue générale
Val Clarea. General view

Photo 5

Val Clarea. Vue
générale
Val Clarea.
General view



© Alex Béraud



Au final, la solution consistant à construire le bassin hors lit du rio Clarea a permis de :

- réaliser un bassin « suspendu » par rapport aux nappes adjacentes et qui n'a pas à réguler les crues maximales du rio Clarea ;
- assurer la séparation des eaux entre celles dérivées de Pont Ventoux (Dora Riparia) et celles du rio Clarea en respect du décret VIA ;
- minimiser l'impact environnemental du bassin ;
- paysager les pentes externes et les parties rocheuses en les aménageant avec des sentiers et des plantations.

INSTRUMENTATION ET MATÉRIELS (VAL CLAREA)

Instrumentation

- Tassomètres multipoints
- Cellules piézométriques
- Cellules de charge à cordes vibrantes
- Extensomètres et thermocouples installés dans la paroi rocheuse du versant droit

Matériels

- Pelles Liebherr 954, 964, 974
- 12 dumpers CAT 769D et 969D
- Rouleau vibrant lisse de 12 t
- Rouleau vibrant monté sur CAT 225 pour roulage des berges
- 70 camions de 28 t utiles
- Atelier de concassage avec principaux composants :
 - > un alimentateur vibrant 15 kW
 - > un crible primaire pour matériaux supérieurs à 300 mm
 - > un concasseur Primac 160
 - > un concasseur Ulisse 96 F
 - > un concasseur Brown-Lenox 118

Dates et ressources humaines

Les travaux de la digue ont débuté en septembre 2000 pour se terminer en septembre 2001.

L'équipe qui a réalisé ce chantier était composée de 120 personnes. Le chantier bénéficiait aussi de la logistique générale de l'aménagement.

Les méthodes

La défaillance d'un premier sous-traitant a contraint le chantier à organiser simultanément les travaux de terrassement, de concassage, de construction de la digue, de réalisation des écrans étanches, et d'excavation du nœud hydraulique en souterrain malgré l'exiguïté du site et son accès unique par un chemin de montagne rélargi. Le groupement Fougerolle Ballot - TP Tinnel qui a repris le chantier pratiquement au début des terrassements mais avec un important retard dû au départ du terrassier précédent a réussi ce challenge dans un délai qui a permis l'intervention des deux entreprises d'étanchéité des berges et du fond, à la date initialement prévue. En cas de retard, ces travaux d'étanchéité se décalaient d'un an à cause des conditions météorologiques particulièrement défavorables dans cette vallée.

Pendant qu'un atelier terrassait la rive droite du rio Clarea, mettant à nu la roche sur une hauteur importante, un autre atelier réalisait l'évacuation des matériaux excédentaires ou impropres à la construction de la digue, soit vers Susa soit vers la carrière du Paradis au mont Cenis. Un troisième atelier réalisait le concassage et la mise en œuvre des matériaux du corps de digue. Deux planches d'essais par type de matériaux ont été réalisées avant le début de la construction de la digue. Celles-ci avaient pour but de vérifier : les fuseaux granulométriques, les densités, la perméabilité, la pertinence des spécifications des hauteurs des couches et du nombre de passes des compacteurs.

■ Le barrage de Susa

Caractéristiques fonctionnelles du réservoir

La finalité du réservoir des gorges de Susa est double. Permettre le pompage en heures creuses vers le réservoir de Val Clarea et répartir dans la journée les eaux turbinées en heure de pointe en les rendant disponibles aux besoins des différentes concessions en aval. Cette dernière fonction, appelée « démodulation » des débits, est rendue possible par un système de galeries dédiées et de batardeaux qui assurent les débits de lâchements dans la Dora Riparia.

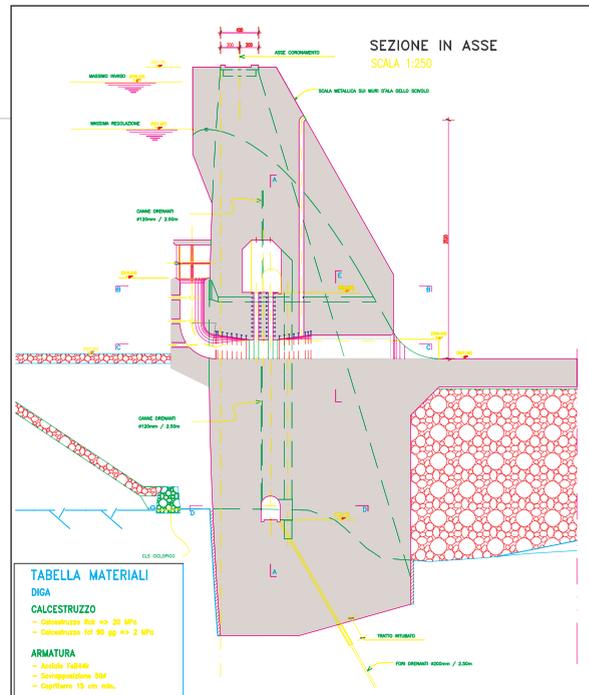


Figure 4
Susa. Coupe dans l'axe
Susa. Cross section
on centreline

Le schéma des différentes galeries permettant de répondre à ces deux fonctions est constitué :

- d'une galerie de restitution circulaire de diamètre 4,05 m qui débouche dans le bassin à une cote de 515,00 m s.m. en amont de l'avant-digue. Celle-ci constitue aussi la conduite de pompage selon le sens de circulation des eaux ;
- d'une galerie de démodulation de diamètre 4,05 m qui est reliée à la galerie de restitution à environ 200 m du portail aval et qui débouche à la cote 507 m s.m. en rive gauche de la Dora Riparia à la hauteur de la centrale AEM de Susa existante ;

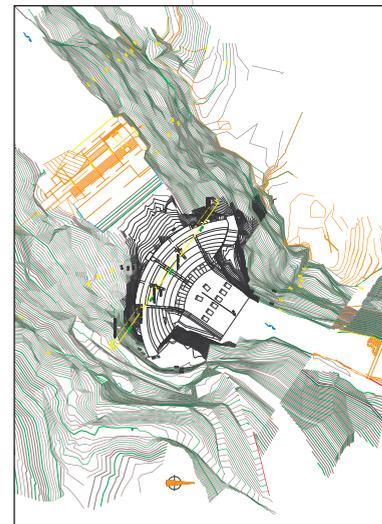


Figure 5
Susa. Vue en plan digue et avant-digue
Susa. Plan view of embankment and front embankment

FICHE TECHNIQUE - BARRAGE DE SUSA

Barrage

- Hauteur maximum de la digue par rapport au lit de la rivière : 27,20 ml
- Volume utile de régulation : 420000 m³
- Niveau maximum de régulation : 531,20 m s.m.
- Niveau minimum : 515,00 m s.m.
- Niveau du couronnement : 537,20 m s.m.
- Largeur du déversoir : 47,20 ml
- Débit maximal dimensionnant (crue millénaire) : 1 100 m³/s
- Volume total de béton : 53000 m³

Galerie de décharge de fond

- Longueur : 292 ml
- Section : fer à cheval
- Hauteur : 6,60 m

Les deux réservoirs de l'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux - Susa, en Italie

Photo 7

Susa. Avancement en mars 2002

Susa. Progress in March 2002



© Alex Béraud

- d'un ouvrage de restitution à la rivière situé en rive gauche pour les débits de la démodulation non transférés en rive droite;
- d'un siphon, raccordé à la démodulation, de diamètre 3 m sous le lit de la Dora Riparia qui alimente l'aménagement hydroélectrique Enel existant.

La capacité utile du réservoir, 420 000 m³ (spécification du décret VIA), permet la démodulation « parfaite » ce qui signifie que, nonobstant le fonctionnement de l'aménagement, il est possible à tout moment de relâcher aux gorges, à l'aval du barrage, un

INSTRUMENTATION ET MATÉRIELS UTILISÉS (SUSA)

Instrumentation

- 15 cellules de charge
- 3 cellules piézométriques (du SND)
- 18 extensomètres isolés ou sur joints
- 1 pendule droit (du SND)
- 4 manomètres
- 6 rosettes extensométriques
- 13 thermocouples

Nota : le SND est le Service national des digues en Italie

Matériel

- Grue : Potain MD 900 avec mât de 70 m, flèche de 50 ml et charge de 25 t à 50 ml
- Coffrages : 800 m² de coffrages avec consoles (CIFA)
- Blondin : charge 3 t, longueur 900 ml, dénivelée 140 m
- Benne de 6 m³
- 4 silobus de 6 m³
- 1 centrale à béton avec malaxeur de 3 m³, capacité 800 m³ jour et silos de stockage avec réserve d'une semaine

débit identique à celui capté au même instant à la prise d'eau de Pont Ventoux.

Sachant que le décret VIA a imposé de restituer à la rivière un débit de 1 m³/s à la traversée de Pont Ventoux, le modèle fonctionnel du barrage est conçu de façon à garantir la même restitution de 1 m³/s, augmentée des débits naturels des affluents de la Dora Riparia entre la traversée de Pont Ventoux et le barrage des gorges de Susa.

Choix du type de barrage

L'avant-projet prévoyait un barrage-poids mais au cours de la mise au point du projet d'exécution des impossibilités sont apparues. Ce type de barrage implique en phase de construction le coulage de plots indépendants et sans scellements des joints.

Dans le site du barrage de Susa les versants, et particulièrement celui de gauche, ont des pentes très élevées (65 à 70°) ce qui conduisait, pour la fondation des plots, à réaliser des terrassements, en redents très importants, qui affaiblissaient les appuis. Autre élément déterminant, la schistosité principale de la roche subhorizontale, en pente douce vers la rive gauche. De plus, elle comporte de nombreux systèmes de joints.

Pour respecter les conditions de stabilité, des précautions s'imposaient pour réaliser les plots isolés. Dans ce cas la structure se comporte comme un corps monolithique. Étant donné que le rapport corde sur hauteur est voisin de 1,5, l'orientation des sollicitations est variable mais avec une dominante de comportement à arcs horizontaux qui décharge les efforts sur les rives, sur une grande partie de la hauteur du barrage.

Cela signifie que la géométrie des gorges de Susa conduit inévitablement à prévoir une structure capable de développer au mieux l'effet arc. Cette conclusion est aussi confirmée par la géométrie longitudinale des versants qui tendent à se refermer en aval. Tout cela a conduit à choisir le type barrage-voûte poids.

Afin d'éviter d'autres terrassements dans les versants très resserrés du site, un évacuateur de crue installé en crête de barrage a complété ce choix.

Caractéristiques principales du réservoir et du barrage

L'ouvrage se trouve à environ un kilomètre de la zone urbaine de Susa, mais non visible par l'habitat. La hauteur de l'ouvrage par rapport au lit du fleuve est de 30 m. Son développé en crête est de 90 m environ et à la cote 537,20 m s.m. Le volume utile de régulation est de 420 000 m³. Dans ces conditions le bassin s'étend sur 1,1 km à l'amont. Le déversoir de crête composé de quatre seuils ayant un développement total de 47,20 m, ceux-ci se prolongent par des séparateurs qui



Photo 8

Susa. Travaux en cours dans le bassin de dissipation

Susa. Work in progress in the stilling basin



Photo 9

Susa. Vue amont

Susa. Upstream view

convergent vers un bassin de dissipation à l'aval, de type USBR III.

Le système de régulation comprend une galerie principale de décharge en rive gauche permettant la vidange rapide ainsi qu'une décharge de fond auxiliaire dans le corps de l'ouvrage. Une conduite avec vanne pilotée automatique, installée au centre du barrage, permet le « relâchement écologique » conforme au décret VIA. L'accessibilité au barrage est réalisée par une voie circulaire en rive gauche. Celle-ci part de la zone urbaine de Susa et rejoint, en galerie, le couronnement du barrage donnant accès au poste de garde. Dans sa partie finale cette galerie se divise en deux pour rejoindre, barrage vide, le sommet de l'avant digue afin de réaliser les opérations de curage, et rend possible l'accès aux portails des galeries de décharge de fond et de restitution.

Le réservoir

Le bassin de retenue a une surface en eau de 49 ha. Sa capacité maximale est de 470 000 m³.

Les cotes de régulations journalières sont :

- maximum 531, 20 m s.m.;
- minimum 515, 00 m s.m.

La surélévation maximum du niveau en cas de crue millénaire est de 5 m.

Compte tenu du fetch sur la retenue (longueur exposée au vent) qui est au barrage égal à 250 m étant donné la tortuosité des gorges, la semi-hauteur d'onde est de 0,10 m.

Le barrage

La hauteur totale de celui-ci est 50,70 m. La section verticale, dans l'axe du parement amont, est légèrement curviligne de façon à éviter les surplombs des sections latérales. Sur la face aval, la section dans l'axe est rectiligne (profil idéal) mais elle est masquée par le déversoir de crue. L'épaisseur au couronnement est de

4 m et de 18,50 m à la base. Le profil du barrage est modifié dans sa partie supérieure par l'insertion de l'évacuateur de crue en crête. Les formes de ce dernier, d'après le profil Creager, sont obtenues par des surépaisseurs variables du parement aval.

Fondation du barrage

Entièrement sur roche, elle est continue pour transmettre les sollicitations tridimensionnelles de la zone en élévation du corps de barrage de manière à les répartir le plus régulièrement possible sur le fond de fouille.

Les évacuations des matériaux alluvionnaires en déblais sont entièrement réalisées jusqu'à retrouver le lit fossile de la Dora Riparia, ce qui conduit à une sur-excavation d'environ 20 m de profondeur. Les protections des parois amont et aval de ces terrassements ont été réalisées par consolidation (jet grouting, béton projeté...).

La géologie du site est composée essentiellement de calcschistes avec une schistosité principale subhorizontale. Les discontinuités principales reconnues, comme toutes les autres moins importantes, sont fermées en profondeur et ouvertes superficiellement mais avec des valeurs négligeables, les rejets étant aussi très limités.

Galerie de décharge de fond

Cette galerie a servi de déviation provisoire en première phase de construction, elle a une section en fer à cheval de rayon 6,60 m, une cote d'entrée amont à 511 m s.m., une cote de sortie aval de 508 m s.m., sa longueur est de 280 m et sa pente maximum de 7,50 %. Le débit maximum qu'elle peut évacuer est de 320 m³/s.

Sa fermeture est réalisée par desatardeaux installés dans un puits situé à 192 m du portail, celui-ci débouchant dans la galerie d'accès au couronnement.

Les deux réservoirs de l'aménagement hydroélectrique de Pont Ventoux - Susa, en Italie



Photo 10
Susa. Vue générale aval avec relâchement écologique
Susa. General downstream view with water release for ecological purposes

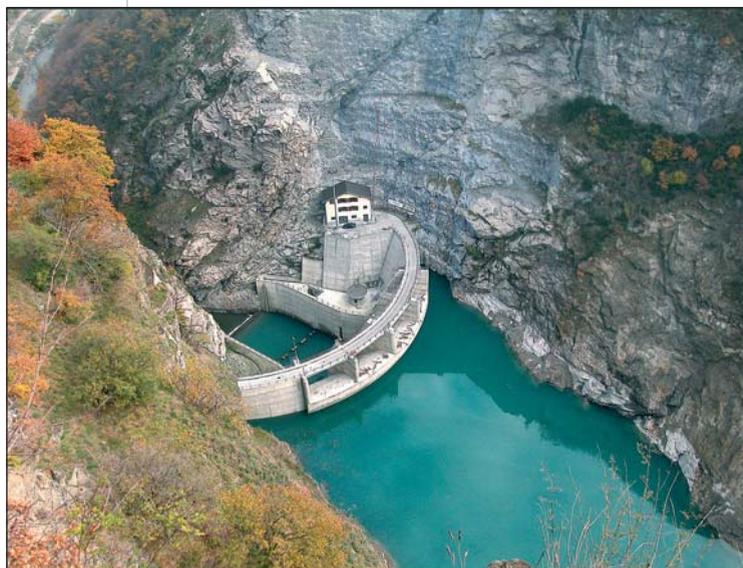


Photo 11
Susa. Vue générale rive droite
Susa. General view of right bank

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS (SUSA)

Bureaux d'études

- Dignes : Geotecna
- Galeries : Alpina
- Géologie : S.E.A.
- Géotechnique Rocksoil

Les principaux sous-traitants

- Groupement terrassement : Geo et Felsen (purge ordinaire) - Eurorok (purges avec techniques alpinistes) - F. Aldo (terrassements généraux de la digue)
- Jet grouting de fondation de l'avant-digue, l'écran étanche et les injections de collages des plots : SIPES

Dates et ressources humaines

Les travaux du barrage ont démarré en novembre 2001 pour se terminer en septembre 2002. Il faut noter qu'ils ont été interrompus pendant pratiquement un mois suite à une crue de la Dora Riparia classée crue cinq-centenaire qui a noyé une partie du chantier et principalement les galeries de restitution et de dérivation provisoires les comblant de limon, et détruit une partie des installations et du matériel.

L'équipe qui a réalisé ce chantier était composée de 52 ouvriers spécialisés et six personnes d'encadrement. Le chantier bénéficiait aussi de la logistique générale de l'aménagement. Pendant les coulages les horaires étaient aménagés en deux postes.

Les méthodes

Les terrassements de purges (91 000 m³) ont été réalisés depuis le haut des versants. L'accès n'existant pas, les matériels ont été approvisionnés par hélicoptères, ils sont restés « prisonniers » et n'ont pu quitter le chantier qu'une fois les terrassements entièrement réalisés jusqu'au lit du fleuve.

Une partie importante de ces purges, surtout sur le versant droit, a été réalisée avec emploi des techniques alpinistes, elles ont représenté environ 85 000 m³ de déblais. Toutes les zones le nécessitant ont été clouées par des boulons Ø 26 de 6 ml de long; sur le versant droit des tirants de 40 ml, de 40 et 70 t (trois ou cinq torons) ont été utiles. Arrivés au point bas les terrassements ont été approfondis sur une hauteur de 5 ml supplémentaires à cause de la découverte de « marmites » de cascades anciennes du fleuve non repérées par les sondages. Pour les bétonnages, la digue a été découpée en sept plots verticaux, les coulages étant effectués en décalé sur chacun de ceux-ci.

En même temps que les plots s'élevaient, les injections de consolidation des appuis étaient réalisées. Le béton était fabriqué sur place et acheminé par des silobus de 6 m³. La grue d'une capacité de 25 t à 50 t a été montée à 70 m afin que la flèche puisse tourner à 360° entre les versants des gorges. La vibration était effectuée par des ensembles de trois vibreurs à aiguilles de Ø 110 mm et longueur 800 mm montés sur un châssis porté par une pelle.

La mise en place du béton était effectuée au moyen d'un mini-bull. À chaque interface de coulage une conduite équipée de valve a été noyée dans le béton de façon à réaliser les injections de collage des plots. Celles-ci ont débuté un an après la fin des travaux lorsque les mesures réalisées par les sondes de températures noyées dans les plots ont indiqué les valeurs requises.

Les joints « verticaux » sont curvilignes sans boîte de

cisaillement. Les spécifications des traitements des reprises variaient en fonction des délais entre coulage des plots contigus.

Formules béton

Voici l'une des formules utilisée :

- sable 0/7 44 % : 919 kg/m³;
- gravier 5/15 09 % : 188 kg/m³;
- gravier 15/30 18 % : 376 kg/m³;
- cailloux 30/70 29 % : 606 kg/m³;
- ciment 32,5III/A : 200 kg/m³;
- eau efficace : 122 l/m³;
- rapport E/C : 0,61.

Ces formules donnaient des températures du béton au centre des plots égales à :

- 22,19° à 6 heures;
- 31,49° à 1 jour;
- 32,15° à 3 jours;
- 21,12° à 14 jours;
- 21,12° à 28 jours.

■ Conclusion

Ces deux réservoirs, de typologies différentes, sont un ensemble d'attentives planifications, d'engagements constants, de technologies de pointe, de solutions fiables. Ils ont été réalisés en faisant face à des situations difficiles d'exécution, mais aussi en modifiant sensiblement les projets de base, tout en respectant les délais impartis.

Les importantes contraintes environnementales, imposées par le décret VIA (évaluation de l'impact sur l'environnement) ont toutes été respectées, ce qui a permis de restituer les sites, au client et à la communauté de la haute vallée de Susa, dans les meilleures conditions à la satisfaction générale. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS (VAL CLAREA)

Bureaux d'études

- Digues : Geotecna
- Galeries : Alpina
- Géologie : S.E.A.
- Géotechnique Rocksoil

Les principaux sous-traitants

- Groupement terrassement/réalisation digue : TP Tinel et Fougerolle Ballot
- Terrassements annexes : Faure Srl
- Écrans étanches et jet grouting : Rodio
- Revêtements bitumineux : Strabag
- Imperméabilisation du fond de bassin en PVC : Prati

ABSTRACT

The two reservoirs of the Pont Ventoux - Val di Susa hydropower project in Italy

G. Carrara

The Pont Ventoux hydropower project is the largest such construction in Italy in recent years. It is a project worth 400 m euros, on a turnkey basis. It allows savings of 86,000 toe and a reduction in carbon dioxide emissions equivalent to 258,000 tonnes. Its two reservoirs, Val Clarea (top) and Susa (bottom) perform the functions of regulation and accumulation during service in the pumping phase. During construction, major changes in the basic plans were necessary to cope with geological and hydrogeological constraints, but also to comply with environmental requirements. To construct the Val Clarea rockfill-dam reservoir of capacity 530,000 cu. m, 2,000,000 cu. m of earth had to be moved. For the Susa Gorge reservoir of capacity 420,000 cu. m, an arch-gravity dam was built with 53,000 cu. m of concrete.

RESUMEN ESPAÑOL

Los dos depósitos de la estructura hidroeléctrica de Pont Ventoux - Susa, en Italia

G. Carrara

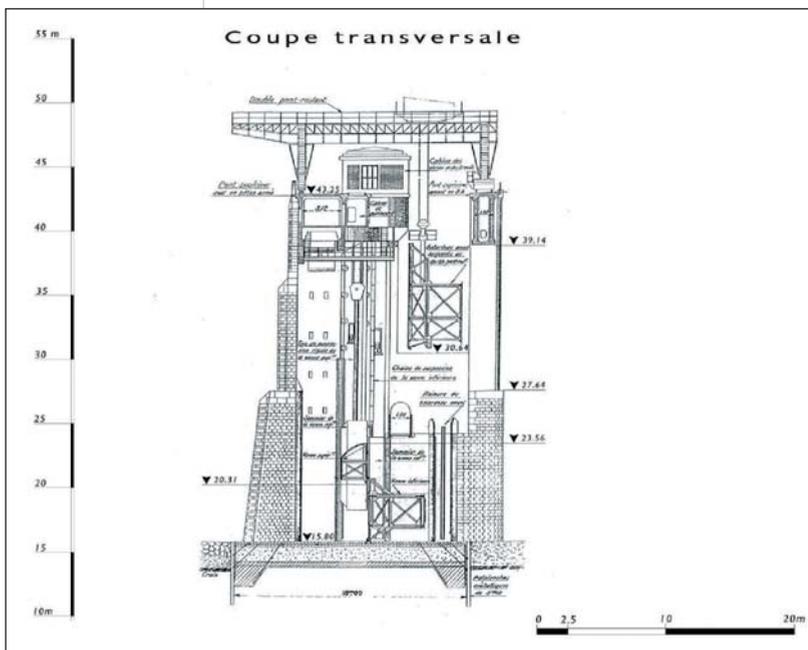
La estructura hidroeléctrica de Pont Ventoux es la más grande construida en Italia durante estos pasados años. Se trata de una obra de 400 millones de euros, clave en mano que permite conseguir un ahorro de 86000 TEP y una disminución de las emisiones de anhídrido carbónico equivalente a 258000 t. Sus dos depósitos, Val Clarea (parte alta) y Susa (parte baja) garantizan las funciones de regulación y de acumulación durante la explotación en fase de bombeo. En el momento de la construcción diversas importantes modificaciones de los proyectos de base fueron necesarias para hacer frente a los imperativos geológicos e hidrogeológicos, pero también para respetar las exigencias medioambientales. Para realizar el depósito en escollera de Val Clarea de una capacidad de 530000 m³, fue necesario un movimiento de tierra de 2000000 de m³. Para el depósito de las gargantas de Susa de una capacidad de 420000 m³ se ha construido una presa bóveda de 53000 m³ de hormigón.

La reconstruction



Photo 1
Ouvrage existant. Vue aval
Existing structure. Downstream view

Figure 1
Ouvrage existant.
Coupe type
Existing structure.
Typical cross section



Après plus de soixante-dix années de service, l'ouvrage de régulation du bief de la Seine, entre Suresnes et Chatou-Bougival, doit être remplacé par un nouveau barrage mobile, sous réserve des résultats de l'enquête publique en cours.

Le projet de reconstruction du barrage de Chatou comporte un barrage mobile, dont la bouchure est équipée de trois clapets manœu-

vrés à l'aide de vérins hydrauliques. Chaque passe peut être équipée de batardeaux flottants pour inspection et entretien. Une passerelle dégageant le tirant d'air de navigation relie la rive droite de Chatou à l'îlot central de l'écluse. Sur l'îlot central seront construits une passe à poissons à large spectre ainsi qu'un nouveau bâtiment technique de commande dans un aménagement paysager d'ensemble.

L'ouvrage existant sera désaffecté puis démonté pour dégager la voie d'eau aval, après mise en service du nouveau barrage mobile.

■ Le contexte hydrographique

Les crues de la Seine à Paris, suivies depuis 1733, s'observent entre décembre et mars. La crue maximum historique est la crue de 1910, donnée avec un débit de pointe de 2180 m³/s à 2405 m³/s (suivant les documents). Les crues récentes des années 2000 ont atteint les débits de 1510 m³/s (2001), 1475 m³/s (2000) et 1200 m³/s (2002 et 2003). Pour les diverses périodes de retour, les débits de pointe sont reportés dans le tableau I.

Le débit moyen est de 450 m³/s environ. Le débit moyen d'étiage est de 100 m³/s; le débit d'étiage minimum (1999-2004) a été de 70 m³/s en septembre 2003. Le bief aval au barrage de Suresnes comporte deux bras : le bras de Marly, régulé par le barrage de Bougival et le bras de Chatou, régulé pour le barrage de Chatou. Lorsque le débit de la Seine mesuré à Paris-Austerlitz est de 800 m³/s, il est admis que le débit, au barrage de Chatou, est de 550 m³/s sous la cote amont (+23.56) – IGN69. En période de crues, il est admis que les deux tiers du débit de la Seine passent dans le bras de Chatou.

Dans ce contexte, le débit d'effacement des vannes du barrage de Chatou se situe à 800/900 m³/s. La crue de mars 2001 (Q_p = 1510 m³/s) est passée sous la cote (+25.23) – IGN69 à Chatou.

TMR(ans)	2	5	10	50	100
QP(m ³ /s)	1000	1400	1790	2120	2400

Tableau I

Débits de pointe

Peak flows

du barrage de Chatou



Éric Boidy
Ingénieur spécialiste -
Chef de projet
Coyne et Bellier



Jean Costaz
Directeur des opérations
Coyne et Bellier

■ Les ouvrages existants

(photo 1 et figure 1)

Le barrage de Chatou, actuellement en fonction, a été construit en 1933 au PK (44) environ.

En 1964, la démolition de sa travée rive gauche laisse la place à la construction de l'écluse de navigation qui se déroule en 1965 et 1966. Le seuil amont de l'écluse à (+18.14) – IGN69 assure un mouillage de 5,42 m. Le sas de l'écluse a une largeur de 18 m pour une longueur de 185 m.

Les trois passes de largeur libre 30,50 m régulent, avec des vannes à double-corps, manœuvrées à partir du pont supérieur à (+40.50) – IGN69 à l'aide de chaînes de type Galle, le bief de Suresnes – Chatou-Bougival à la cote de retenue normale (+23.56) – IGN69.

Le radier à la cote (+15.80) – IGN69 a une longueur de 18 m et une épaisseur de 2 m. Les piles maçonnées ont une longueur de 20 m et une épaisseur de 4,50 m. Un batardeau amont, en une seule pièce, est manœuvré à l'aide d'un double pont transbordeur dont le chemin de roulement est installé sur le pont supérieur à la cote (+43.25) – IGN69. Aujourd'hui, le batardeau amont est stocké au droit de la passe rive droite où il repose sur des appuis fixes.

Une passerelle technique relie les deux rives à la cote (+24.30) – IGN69 environ. Cette passerelle est embarquée lors des mouvements verticaux des vannes, en période de crues.

■ Le contexte géologique

Dans le fleuve (sept sondages), le substratum de craie à silex est recouvert d'une épaisseur d'alluvions variable entre 0,50 m et 4,00 m. La cote du substratum de craie varie entre (+10.50) et (+14.60).

En rive droite (un sondage), une épaisseur de 10,50 m de remblais et alluvions repose sur le substratum de craie à silex qui se situe à la cote (+14.30) environ.

Sur l'îlot central (quatre sondages), entre barrage et écluse, une épaisseur de 12,50 m de remblais repose sur le substratum de craie à silex qui se situe entre les cotes (+15.10) et (+16.50).

En rive gauche (un sondage), le substratum de craie à silex se situe à la cote (+12.80) sous la fondation du mur de l'écluse.

Les caractéristiques pressiométriques

Les caractéristiques pressiométriques moyennes des faciès rencontrés sont les suivantes :

- les remblais (soixante-trois mesures). Module = 13 MPa ($EP_{max} = 35$ MPa). Pression limite = 0,7 MPa;
- les alluvions (dix-neuf mesures). Module = 8 MPa ($EP_{max} = 37$ MPa). Pression limite = 0,9 MPa;
- la craie (cent six mesures). Module = 72 MPa ($EP_{max} = 200$ MPa). Pression limite = 3,9 MPa.



Doc. Luc Weizmann Architecte

Le substratum de la craie

La craie a une teneur en eau variable entre 21 % et 31 % avec une densité saturée de 19 à 20 kN/m³. L'angle de frottement interne de la craie varie entre 38° et 42°.

La perméabilité équivalente de la craie, estimée à partir de trois essais de type lugeon, est de l'ordre de 0,7 à 1×10^{-6} m/s.

■ Le nouvel aménagement

(figures 2 à 5)

Les cotes hydrauliques principales de l'aménagement sont les suivantes :

- cote de retenue normale amont (+23.56) ;
- cote de retenue normale aval (+20.31) ;
- cote des plus hautes eaux connues (+27.74) ;
- cote des plus hautes eaux navigables (+25.37).

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Voies Navigables de France. Direction interrégionale du bassin de la Seine

Maître d'œuvre

Groupement : Coyne et Bellier - Spretec - Luc Weizmann, architecte

Figure 2

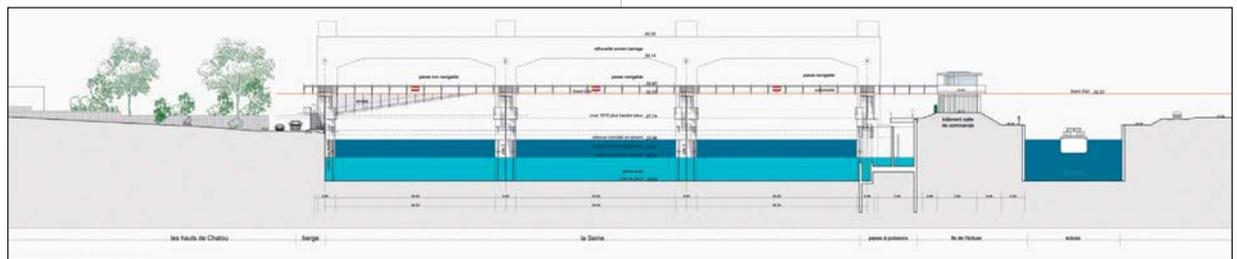
Nouvel aménagement.
Vue en plan

New development. Plan view

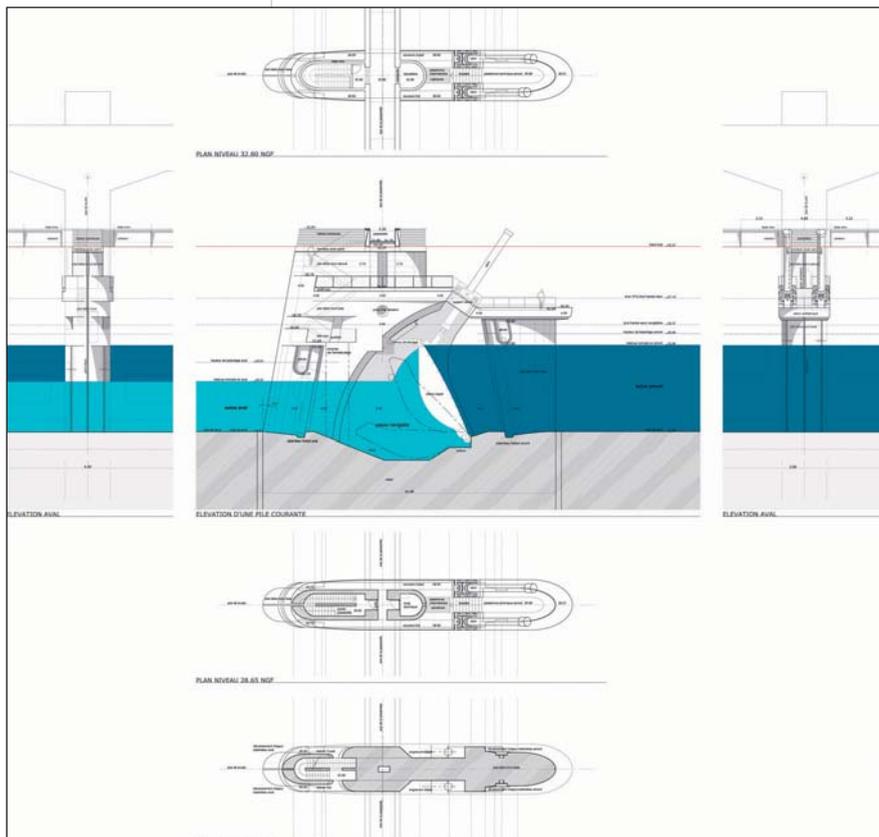
La reconstruction du barrage de Chatou

Figure 3

Nouvel aménagement.
Élévation aval
New development.
Downstream elevation



Doc. Luc Weizmann Architecte



Doc. Luc Weizmann Architecte

Figure 4

Nouvel aménagement. Coupe type
New development. Typical cross section



Doc. Luc Weizmann Architecte



Soit une hauteur de chute « normale » de 3,25 m dans une bouchure de 7,76 m de hauteur.

Le barrage mobile, implanté à l'amont de l'ouvrage existant comporte trois passes vannées de 30,50 m de largeur libre au-dessus d'un radier situé à la cote (+15.80), de 26 m de longueur. Les passes sont équipées de clapets de 32,50 m x 9 m manœuvrés par des vérins hydrauliques, mis en place sur la plate-forme technique située à la cote (+26.91). Un jeu de batardeaux flottants permet d'isoler une passe.

La passe rive gauche et la passe centrale sont navigables, en période de hautes eaux ; à ce titre, le gabarit de navigation sera dégagé sous la cote (+32.37). La passe rive droite ne comporte aucune contrainte de navigation.

Une passerelle, de largeur 2,20 m, reliant les deux culées de rives du barrage mobile est accessible depuis l'îlot entre l'écluse et le barrage, à partir du bâtiment de commande. Sur l'îlot, au droit de la culée rive gauche du barrage mobile, est aménagée une passe à poissons à bassins successifs avec fentes.

Un bâtiment de commande nouveau sur fondation profonde à la craie regroupera les commandes des barrages de Chatou, de Bougival et de Suresnes.

Les batardeaux de maintenance, de type batardeaux flottants seront stockés sur l'îlot, à l'amont du barrage, sur une aire, aménagée à cet effet.

Compte tenu du caractère très sensible du site où il s'implante, le projet a fait l'objet d'une recherche d'insertion paysagère, ainsi que d'un travail architectural soigné, dans le souci d'une cohérence entre fonctionnalités techniques et dessin de chacune des parties de l'ouvrage.

L'aménagement paysager du site et la mise en lumière des ouvrages hydrauliques et de la passerelle sont prévus, autour de l'aménagement des berges entre l'ouvrage ancien déconstruit et le nouveau barrage.

Figure 5

Nouvel aménagement. Vue d'artiste
New development. Artist's view

Le photomontage de la figure 5 donne une représentation des ouvrages vue d'aval depuis la berge rive droite, située au droit du parc de Chatou.

■ Les contraintes du programme de construction

Les contraintes d'exploitation du maître d'ouvrage se traduisent, au niveau du programme des travaux, par une interdiction des travaux en rivière du 1er décembre année (n), au 31 mars année (n + 1).

Les contraintes hydrauliques qui définissent le niveau de protection des travaux en rivière correspondent à un niveau maximum amont de la Seine à (+24.90). Les enceintes provisoires seront donc arasées à la cote (+25.50) pendant chacune des campagnes de travaux. Le programme de construction s'inscrit dans un délai total de trente-six mois.

L'ouvrage existant permettra d'assurer la gestion des périodes des crues de la Seine, au cours des travaux, à l'aide des vannes existantes. En conséquence, le chantier de déconstruction se déroulera une fois la construction du nouveau barrage terminée. ■

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

Génie civil

- Palplanches : 2200 t
- Déblais : 37 000 m³
- Béton :
 - > immergé : 5200 m³
 - > air libre : 16500 m³
- Pieux forés : 3 100 ml
- Enrochements : 1500 m³

Fournitures hydro-mécaniques

- Clapets (y/c batardeaux) : 885 t
- Passerelle : 130 t
- Bâtiment : 90 m³

ABSTRACT Reconstruction of the Chatou gated weir

E. Boidy, J. Costaz

After more than seventy years of operation, the gated structure which monitors the Seine forebay, between Suresnes and Chatou-Bougival, has to be replaced by a new gated weir, subject to the administrative « Enquête Publique » under process.

The project of Refurbishment of Chatou dam comprises a gated-weir dam, with three flap gates, monitored by hydraulic jacks. Floating stoplogs are provided for maintenance operations. A foot-bridge, launched over the navigation headroom connects the Chatou right bank to the navigation lock central island. On the central island, a large spectrum fish-pass will be built, and a new technical operating building inside a global landscaping.

The existing gated structure will be dismantled, after commissioning of the new gated weir, to reopen the downstream navigation channel.

RESUMEN ESPAÑOL Reconstrucción de la presa de Chatou

E. Boidy y J. Costaz

Después de setenta años de servicio, la obra de regulación del tramo de canal entre dos esclusas del río Sena, entre las ciudades de Suresnes y Chatou-Bougival, se debe reemplazar por una nueva presa móvil, con la oportuna reserva de los resultados de la encuesta pública actualmente en curso.

El proyecto de reconstrucción de la presa de Chatou incluye una presa móvil, cuya embocadura va dotada de tres válvulas operadas por medio de gatos hidráulicos. Cada vano se puede equipar de obturadores flotantes para inspección y mantenimiento. Una pasarela que no obstaculiza la altura libre de navegación pone en comunicación el margen derecho de Chatou con el islote central de la esclusa. Se construirán en el islote central un paso de pesas de amplio espectro así como un nuevo edificio técnico de control en una ordenación paisajística de conjunto.

La obra existente será clausurada y desmontada a continuación para permitir el paso libre a la vía navegable aguas abajo, tras la entrada en servicio de la nueva presa móvil.

Confortement du

Le barrage du Vêrut est un barrage-poids arqué en maçonnerie construit entre 1889 et 1891. Son profil de type « Delocre » est caractéristique de l'époque et présente des faiblesses vis-à-vis des critères de stabilité couramment admis aujourd'hui. Des études menées en 1992 ont montré que ce barrage devait être conforté par l'aval et la capacité de son évacuateur augmentée.

L'article décrit les travaux qui se sont déroulés d'avril 2004 à mars 2005 et résume les résultats de suivi de la mise en eau, en établissant les liens entre les calculs et les valeurs données par les instruments d'auscultation installés dans l'ouvrage pendant sa réhabilitation. Les travaux préparatoires ont consisté en une vidange de la retenue, un dragage des sédiments, une excavation des matériaux sous la recharge aval, de la démolition. Les travaux de remblai ont consisté en la pose d'un géotextile sur le fond de fouille, la pose d'une couche drainante sur le géotextile et contre le barrage en maçonnerie et la mise en place de la recharge en enrochements. Les travaux de béton ont consisté en la construction d'une chambre des vannes et d'un évacuateur de crues. Des travaux spéciaux d'ancrages, de rejointoiement du barrage en maçonnerie ont également eu lieu.

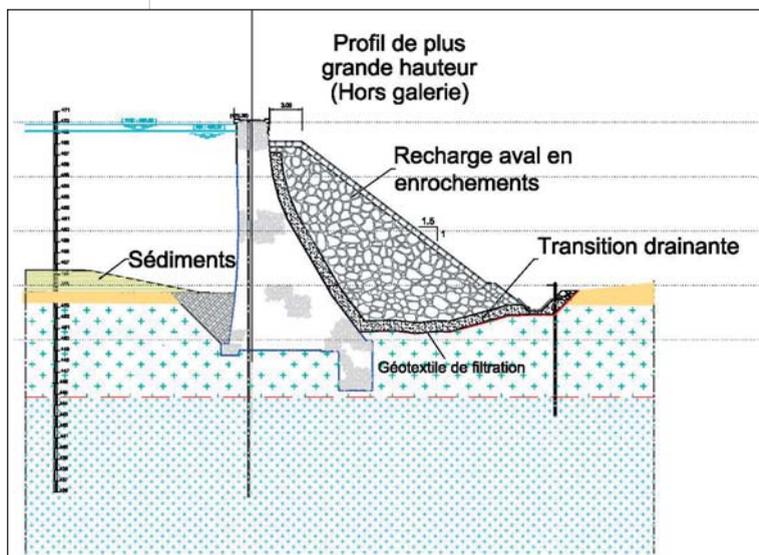


Figure 1

Coupe type du confortement du barrage du Vêrut
Typical cross section of consolidation of the Vêrut Dam

■ Présentation du barrage

Le barrage du Vêrut constitue un réservoir d'eau pour l'alimentation de la ville de Saint-Galmier (Loire - 42), située 2,5 km en contrebas de l'ouvrage.

Le barrage a été construit en 1889-1891 par les Ponts et Chaussées de la Loire.

En 1995, une étude de stabilité du barrage montrait un niveau de sous-pression très élevé en rive gauche, ne permettant pas de respecter les critères de stabilité aujourd'hui en vigueur. Entre 1995 et 1999, l'ouvrage a été mis en sécurité en abaissant le niveau d'eau dans la retenue. Une étude hydrologique et hydraulique a conclu au sous-dimensionnement de l'évacuateur de crues du barrage.

Enfin, Sogreah a réalisé des études détaillées qui ont conduit à un confortement du barrage en maçonnerie par un remblai aval ainsi qu'à un recalibrage de l'évacuateur de crues. Des calculs « aux différences finies » ont été réalisés avec le logiciel FLAC 2D afin de déterminer les déplacements et contraintes dans l'ouvrage en maçonnerie conforté par un remblai aval (figure 1).

■ Caractéristiques techniques du barrage existant

Caractéristiques du barrage

Le barrage du Vêrut est un barrage-poids légèrement arqué. Les caractéristiques principales du barrage sont les suivantes : hauteur maximum au-dessus des fondations : 21,00 m, longueur en crête : 103 m, largeur en crête : 2,90 m, fruit du parement aval : variable de 0 à 90 % en pied d'ouvrage, fruit du parement amont : variable de 0 à 11 % en pied d'ouvrage.

L'ouvrage est équipé d'un évacuateur de crues latéral à seuil libre en rive gauche. Cet évacuateur de crues traverse le barrage en maçonnerie via un pertuis. La capacité de l'évacuateur de crues est de 10 m³/s.

Le barrage comprend également deux conduites (une de prise d'eau et une de vidange de fond) de diamètre 400 mm le traversant en pied. Ces conduites débouchent dans une chambre des vannes accolée au pied aval du barrage.

■ Nature des travaux de confortement

Vidange et dragage de la retenue

Les premiers travaux ont consisté en une vidange de la retenue. L'épaisseur de vase s'est révélée être d'environ 4,00 m en fond de retenue au droit du barrage. La

barrage du Vêrut

Xavier Ducos
Chef de projet
Sogreah

conduite de vidange a été bloquée lors de la vidange de la retenue. La fin de la vidange a été réalisée par pompage au-dessus de la crête du barrage existant. Une antenne en enrochements a été réalisée en amont du barrage afin de pouvoir curer un volume d'environ 2000 m³ au droit du barrage (photo 1).

Travaux de terrassement et de démolition

La recharge en enrochements du barrage du Vêrut est posée sur une fondation composée de granite altéré. Plusieurs zones présentent un faciès de rocher broyé, le long des discontinuités amont-aval à pendage subvertical. La plus étendue (2 m de largeur) traverse toute la fouille, en rive gauche, au-dessus d'un rognon de rocher sain. On retrouve également des joints de la même famille dans le fond de vallée. Ils sont fermés, intensément arénisés et garnis d'une argile rouge très plastique (épaisseur de 1 à 5 cm) (photo 2).

L'altération du rocher est très marquée en rive droite. Elle a conduit à un niveau d'excavation inférieur de 2 m maximum à celui de l'assise du barrage en maçonnerie. Le talus dégagé a été traité en réalisant une paroi (béton projeté) ancrée le long du talus de la fouille, dans le prolongement du parement aval du barrage. Cette paroi est elle-même confortée par l'action de la recharge aval.

Des travaux de démolition ont également été nécessaires en aval du barrage; ils ont concerné la chambre des vannes en maçonnerie au pied du barrage et la station de traitement des eaux en aval rive droite.

Mise en place d'un remblai en enrochement

Un géotextile de filtration Bidim F70 est posé sur la fondation.

Une couche drainante de granulométrie 8/40 mm et d'épaisseur minimale sur pointe 70 cm recouvre le géotextile. Ce matériau est ensuite recouvert par le matériau constituant le corps de la recharge. La granulométrie de ce matériau est 0/400 mm. Le matériau drainant 8/40 sert également de transition entre la maçonnerie du barrage et la recharge en enrochements (épaisseur de 1,00 m) (photo 3).

Ce matériau 8/40 mm est de la pierre concassée et criblée (amphibolite) à 8 mm. La planche d'essai montre que ce matériau mis en place a de bonnes caractéristiques de drainage (perméabilité évaluée à 10⁻³ m/s). Le module mesuré à la plaque est inférieur à 150 MPa (correspondant à six passes de compacteur V3, aucun tassement du matériau n'étant alors mesuré).

La recharge aval située derrière le parement aval du barrage est constituée d'enrochement (amphibolite)



Photo 1
Antenne
en enrochements. Curage
de la retenue
*Antenna in rockfill.
Cleaning the reservoir*



Photo 2
Zone broyée
dans la faille rive gauche
et zone altérée sur plate-
forme rive droite
*Crushed area in fault on
left bank and weathered
area on platform on right
bank*



Photo 3
Mise en place
du géotextile, réglage
et compactage
de la couche
de transition
et de l'enrochement
*Laying geotextile,
grading and compaction
of the capping layer
and the rockfill*

Confortement du barrage du Vêrut

Photo 4
Montée des remblais
Raising backfill



Photo 6
Construction du coursier
de l'évacuateur de crues
Construction of the spillway
chute

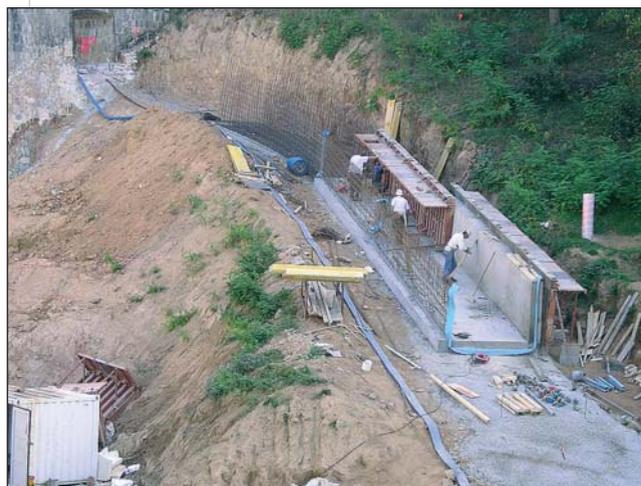


Photo 5
Construction de la chambre des vannes
Construction of the valve house

5,00 m correspondant à la zone de marnage. Les travaux ont consisté en un repiquage des joints, puis un calfeutrage des joints avec un mortier et liant hydrofuge.

Réfection de l'étanchéité de la crête

Les travaux sur la crête du barrage ont consisté en des travaux de rejointoiement et d'installation de barbacanes.

Réalisation d'une galerie et d'une nouvelle chambre des vannes

La chambre des vannes est localisée au pied aval du barrage en maçonnerie (à l'emplacement de l'ancienne chambre des vannes). Il s'agit d'une structure en béton armé de type cadre. Cette structure est encastree dans le barrage en maçonnerie au niveau des voiles et du toit de la chambre des vannes.

La chambre des vannes est assise sur une épaisseur métrique de remblai drainant 8/40.

Cette chambre des vannes s'étend en rive droite comme en rive gauche sur quelques mètres le long du parement. Ces deux antennes permettront le cas échéant de réaliser un drainage de la fondation du barrage (photo 5).

Recalibrage de l'évacuateur de crues

L'évacuateur de crues est une structure en béton armé de type cadre ouvert en forme de « U ». Cet évacuateur est constitué de trois parties distinctes : le déversoir en amont du barrage maçonnerie existant, la traversée du barrage en maçonnerie, le coursier aval avec le bassin de dissipation.

de 0/400. Ce matériau est mis en œuvre par couche de 55 cm, avec six passes de compacteur V3. Les résultats des essais à la plaque donnent un module moyen de 67 MPa. Le contrôle quotidien est également assuré par la méthode du Q/S; la moyenne des résultats est de 0,077 pour un objectif de 0,09.

Le compactage est un compactage dynamique pour les couches inférieures du remblai. Seules les couches des 2,50 m supérieures n'ont été compactées que statiquement, notamment en raison des vibrations induites sur le barrage en maçonnerie et également de l'encombrement des engins de compactage sur la largeur réduite en haut du remblai (photo 4).

La calcite présente sur le parement aval du barrage a également été grattée pour éviter que le parement ne devienne étanche et la couche drainante inutile.

Les travaux de remblai ont été réalisés avec un rendement moyen d'environ 2500 m³/mois (10000 m³ mis en place).

Réfection de l'étanchéité du parement amont

Les travaux de rejointoiement des joints du parement amont du barrage ont été réalisés sur environ 50 % de la surface comprenant une bande d'une hauteur de

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
Ville de Saint-Galmier

Maître d'œuvre
Sogreah Consultant

Entreprises
DTP Terrassement - Brunel - Pyramid

Coût des travaux : 1,1 M€

Figure 2

Nouveau dispositif d'auscultation. Profil type
New monitoring system. Typical profile

Le déversoir amont ainsi que le coursier aval sont ancrés dans la fondation rocheuse (ancrages de diamètre 20 mm, longueur 3,00 m, ratio de un ancrage par 6 m²). Le déversoir amont est constitué d'un seul bloc d'environ 19 m de long; seul un joint de dilatation équipé de waterstop est placé en amont immédiat du barrage en maçonnerie.

Le pertuis existant dans le barrage en maçonnerie est agrandi par approfondissement du radier d'environ 40 cm. Le découpage du radier est réalisé à la scie. Une étanchéité des parois latérales a été réalisée avec un mortier + liant hydrofuge. Un nouveau radier en béton armé a été réalisé; il est également ancré dans la maçonnerie de l'ancien barrage en maçonnerie.

Le coursier aval et le bassin de dissipation sont constitués de plots en béton armé d'une longueur d'environ 12 m. Ces plots sont séparés par des joints de dilatation équipés d'un joint waterstop. Tous les plots sont ancrés dans la fondation rocheuse (ancrages de diamètre 20 mm, longueur 3,00 m, ratio de un ancrage par 6 m²) (photo 6).

Le béton utilisé a une résistance moyenne de 43 MPa, pour un dosage en ciment de 350 kg/m³, un diamètre maximum d'agrégats de 25 mm. Le ciment est de type CEMI 52.5 PM-ES.

Les essais d'arrachement sur les ancrages ont donné un effort d'arrachement moyen de 220 KN, soit un coefficient de frottement $q_s = 0,26$ MPa correspondant à un ancrage, en partie dans du granite altéré et en partie dans du granite sain.

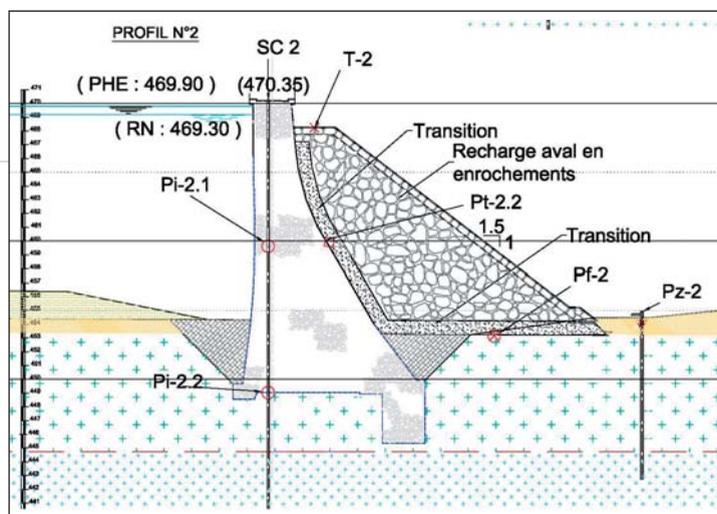
Des essais sur le coulis des ancrages ont été conduits. Le dosage du coulis est à 400 kg de ciment par mètre cube de coulis. Les résistances à la compression à 7 jours sont en moyenne de 25 MPa.

Le volume de béton de l'évacuateur de crues et de la chambre des vannes est d'environ 500 m³.

Réhabilitation des équipements électromécaniques de la vidange de fond et de la prise d'eau

Les équipements électromécaniques existants (vannes, crépines, conduites) ont été remplacés par de nouveaux équipements. Des conduites de diamètre 350 mm ont été placées dans les conduites existantes de diamètre 400 mm pour la traversée du barrage en maçonnerie. L'étanchéité entre chaque nouvelle et ancienne conduite est réalisée par une injection et par un bouchon amont réalisé en béton (avec adjuvant hydrofuge). L'injection est réalisée avec un coulis de ciment classique; il s'agit uniquement d'un remplissage entre les deux conduites et aucune mise en pression n'est réalisée.

Deux nouvelles vannes de diamètre 350 mm ont été installées sur chacune des deux conduites précitées.



Nouveau dispositif d'auscultation

Le nouveau dispositif d'auscultation est constitué de :

- 6 cellules de pression interstitielles disposées dans la maçonnerie du barrage; un niveau en fondation et un niveau intermédiaire en maçonnerie;
- 3 cellules de pression interstitielles en fondation pied aval du barrage;
- 3 cellules de pression totales posées entre le parement aval en maçonnerie et le remblai;
- 3 puits de décharge (lus en piézomètres) en pied aval de recharge;
- des repères de tassements (figure 2).

Résultats d'auscultation après remise en eau du barrage

La mise en eau du barrage s'est déroulée sur une année (mars 2005-mai 2006). Les résultats peuvent être résumés comme suit :

- a) Les niveaux piézométriques dans le corps du barrage en maçonnerie sont nettement inférieurs au niveau d'eau de la retenue, preuve d'une bonne étanchéité de la maçonnerie.
- b) Les capteurs de fondation rive droite et en centre de vallée indiquent une piézométrie faible; le capteur rive gauche, très proche de la retenue amont, montre un niveau très légèrement inférieur à celui de la retenue. La recharge aval a été réalisée pour répondre à cette forte piézométrie en fondation rive gauche.
- c) Le niveau piézométrique en pied aval du barrage en maçonnerie est bas et réagit très peu au niveau de la retenue, signe d'une bonne étanchéité de l'ensemble du barrage et de sa fondation.
- d) Le niveau piézométrique en pied aval de la recharge en enrochements est donné par des puits de décharge lus en piézomètres (puits de décharge non-débitants). Le niveau piézométrique réagit très peu au niveau de la retenue et le niveau reste par ailleurs très en dessous du niveau de retenue.

Confortement du barrage du Vêrut

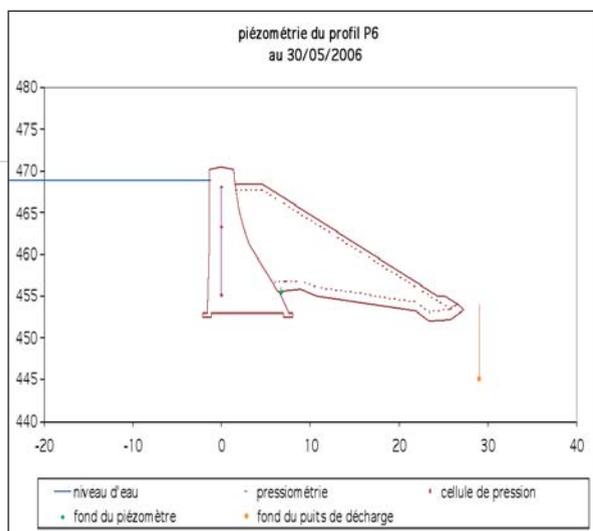


Figure 3
Évolution amont-aval de la piézométrie
Upstream/downstream evolution
of piezometry



Photo 7
Vue de la recharge aval et du coursier
View of the downstream shoulder and spillway chute

L'évolution de la piézométrie en rive gauche est montrée sur la figure 3.

e) L'évolution des pressions totales est mesurée par les cellules de pression totales placées à l'interface parement aval du barrage en maçonnerie et remblai aval. Les lectures des cellules de pression permettent de calculer les effets de poussée-butée générée par le remblai aval sur l'ouvrage en maçonnerie.

Les valeurs des coefficients de poussée butée sont de : 0,69 pour PT1 (rive droite), 0,61 pour PT2 (centre) et 0,51 pour PT3 (rive gauche). Ces valeurs de coefficient confirment le bon comportement de l'ensemble remblai-maçonnerie. Ces valeurs correspondent aux valeurs obtenues par le calcul avec le logiciel FLAC, se situant entre 0,68 et 0,49.

Ces valeurs correspondent également aux valeurs mesurées sur des ouvrages similaires tels que le barrage de Joux en France (Congrès des grands barrages, Q59-R14 volume 5) (photo 7).

ABSTRACT

Consolidation of the Vêrut Dam

X. Ducos

The Vêrut Dam is a masonry gravity dam which has been built between 1889 and 1891.

Its « Delocre » profile type is characteristic of that time, and presents weakness regarding stability criteria used nowadays. Studies carried out in 1992 have shown that this dam should be reinforced with downstream backfill and the capacity of its spillway increased.

The article describes site works which have been performed from April 2004 to March 2005, and summarizes results of the impounding monitoring by establishing relations between calculations and data given by auscultation instruments installed in the dam during its rehabilitation. Preliminary works have consisted in the reservoir emptying, sediments dredging, excavation of material below the downstream backfilling, and demolition. Backfilling works have consisted in placing a geotextile on the rock, placing a layer of drain material on top of the geotextile and against the masonry dam and placing the downstream rockfill material. Concrete works have consisted in the construction of a gates chamber and a spillway. Specialized works like anchorages, upstream face repointing have also been performed.

RESUMEN ESPAÑOL

Consolidación de la presa sobre el río Vêrut

X. Ducos

La presa sobre el río Vêrut corresponde a una presa de gravedad curvilínea en mampostería construida entre 1889 y 1891. Su perfil de tipo « Delocre » presenta todas las características de la época y muestra diversos puntos débiles por lo que respecta a los criterios de estabilidad corrientemente admitidos hoy en día. Diversos estudios llevados a cabo en 1992 han demostrado que esta presa se debería consolidar aguas abajo y aumentar la capacidad de su desagüe.

Se describen en el presente artículo los trabajos que se desarrollaron entre abril de 2004 y marzo de 2005 y se recapitulan los resultados de seguimiento de la etapa de llenado, al establecer los enlaces entre los cálculos y los valores indicados por los instrumentos de auscultación instalados en la obra durante su rehabilitación. Los trabajos preparatorios han consistido en un vaciado del embalse, un dragado de los sedimentos, una excavación de los materiales bajo la zona resistente de la presa, de la demolición. Los trabajos de terraplenado han consistido en el tendido de un geotextil sobre el fondo de excavación, el tendido de una capa de drenaje sobre el geotextil y contra la presa en mampostería así como la realización del respaldo de escolleras. Los trabajos de hormigón han consistido en la construcción de una cámara de válvulas y de un aliviadero de crecidas. También se han ejecutado diversos trabajos especiales de anclajes, de nuevas juntas de la presa en mampostería.

Port des Sables d'Olonne : un élévateur à bateaux de 500 t sur la Cabaude



Jacques Garrissou
Directeur de projet
Balineau SA

Le Conseil Général de la Vendée dote le port des Sables d'Olonne d'un élévateur à bateaux d'une capacité de 500 t. Ce projet nécessite un profond réaménagement du port de la Cabaude. Les travaux comprennent principalement la construction de la darse, permettant la sortie des bateaux, et d'un terre-plein de 12500 m² pouvant accueillir une dizaine de navires. Ils font appel à des disciplines multiples traitées en entreprise générale : des travaux maritimes classiques comportant dragage, déroctage, palplanches, palpieux, pieux métalliques; des travaux spéciaux tels que traitement des sols par inclusions rigides, tirants et micropieux; des terrassements, de la démolition, du génie civil, de la chaussée, un réseau d'assainissement avec station de traitement, un réseau d'alimentation électrique. Ils font appel à des moyens nautiques et à des moyens terrestres.

C'est avec impatience que les professionnels de la mer attendent le nouvel élévateur à bateaux dont le port des Sables d'Olonne doit s'équiper et qui sera opérationnel en février 2007.

Ce sera un monumental portique de 28 m de long, 20 m de large et 20 m de haut qui permettra de hisser des bateaux de 500 t dans le secteur de la Cabaude.

L'équipement actuel permet la mise à sec de quatre navires au moyen d'une cale de halage comportant deux lignes dont une est limitée à 190 t et l'autre à 170 t. Cet ensemble, construit en 1973, ne correspond plus aux exigences actuelles, tant par sa capacité de levage que par le nombre de bateaux pouvant être sortis simultanément.

Pour cette raison, le Conseil Général de la Vendée a



Photo 1

Dragage et déroctage à partir d'un ponton
Dredging and rock excavation from a floating dock

décidé la construction d'un outil moderne qui pourra sortir des bateaux de 500 t et qui permettra de recevoir une dizaine de navires sur un terre-plein de 12 500 m². Les travaux de génie civil ont été confiés au groupement d'entreprises Balineau - Strap. La construction de l'élévateur proprement dit, qui fait partie d'un lot séparé, revient à l'entreprise Noell Reggiane.

L'investissement global représente 14,7 millions d'euros, financé à 60 % par le Conseil Général de la Vendée. Dans ce montant, les travaux de génie civil comptent pour 9,5 millions d'euros.

■ Des travaux en deux temps

L'extension du futur terre-plein venant en lieu et place de la cale de halage actuelle, il fallait, pour ne pas interrompre la mise à sec des bateaux, décomposer les travaux en deux phases indépendantes, l'exploitation de la cale devant continuer jusqu'à ce que l'élévateur soit en service à l'issue de la première phase.



Photo 2

Pose des poutres
préfabriquées
sur les pieux
*Placing prefabricated
girders on the piles*



Photo 3

La darse de l'élévateur
terminée avec ses deux
estacades
*The completed lift dock
with its two jetties*

Port des Sables d'Olonne : un élévateur à bateaux de 500 t sur la Cabaude



Photo 4
Battage d'un pieu au mouton hydraulique
Pile driving by hydraulic hammer



Photo 8
Plate-forme à un stade provisoire permettant le maintien de la circulation
Platform at a provisional stage allowing traffic to be maintained

Photo 5

Forage de l'ancrage d'un pieu au trépan émulseur
Drilling a pile anchorage with an emulsion drilling bit



Photo 6
Le terre-plein à aménager
The open storage area to be developed



Photo 7

Atelier d'inclusions rigides
Rigid inclusions plant



L'opération a commencé courant février 2006 par le déroctage dans le bassin à flot, à la cote - 1,50 (cote marine), de la zone d'accès jusqu'à la darse. Ces travaux ont été effectués au moyen d'un ponton équipé d'une pelle à bras long de 20 m et d'un brise-roche hydraulique. Les matériaux extraits étaient évacués en mer par chaland fendable.

Les deux chemins de roulement de la darse sont constitués de deux grosses poutres en béton fortement armé, de 40 m de long, 5 m de large et 2 m de hauteur; elles sont fondées sur 24 pieux de diamètre 813 mm, ancrés dans les micascistes. En bout de darse, une importante galerie technique permet de faire transiter l'ensemble des réseaux existants et à venir.

Le terre-plein, qui doit permettre la circulation d'une charge roulante de 750 t, reçoit une chaussée lourde assise sur 1800 inclusions rigides réparties suivant un maillage de 2,40 m. La chaussée proprement dite comporte une couche de 0,80 m de grave ciment surmontée d'une dalle en béton armé de 0,16 m.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Inclusions : 1850 u
- Terre-plein : 12500 m²
- Chaussée lourde : 10500 m²
- Grave ciment : 9000 m³
- Béton : 5200 m³
- Armatures : 330 t
- Remblais : 40000 m³
- Déblais : 9000 m³
- Déroctage : 3000 m³
- Dragage : 5000 m³
- Fourniture de tirants, palplanches et tubes : 795 t
- Démolition de béton et maçonnerie : 1200 m³
- Clous et micropieux : 115 u



Photo 9

Station de traitement des eaux
Water treatment plant

Une des difficultés pendant la réalisation du terre-plein était d'assurer la continuité de la circulation à travers le chantier pour desservir le port de la Cabaude.

Le ceinturage du terre-plein du côté du bassin à marée est assuré par un rideau mixte de palplanches et de palpieux ancré par des tirants passifs. Ce rideau est couronné par une poutre en béton armé pour former un quai d'environ 195 m de long.

Les eaux pluviales du terre-plein et les eaux de lavage de la zone de carénage sont collectées dans un caniveau périphérique. Elles sont traitées dans une station de traitement avant d'être évacuées dans le bassin à marée.

Les travaux de la première phase se sont terminés fin novembre 2006. Ils seront suivis par la phase 2 qui commencera courant février 2007, période à laquelle l'élévateur devrait être mis en service. Cette deuxième phase comprendra essentiellement les travaux de démolition de la cale de halage et des installations existantes, la continuation du rideau mixte, le remblaiement de la cale et la réalisation de la chaussée lourde sur une surface d'environ 8000 m².

L'ensemble des travaux devrait être achevé après l'été 2007. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Conseil Général de la Vendée

Maître d'œuvre

Service Maritime du Conseil Général

Assistant technique au maître d'œuvre

BCEOM

Groupement d'entreprises

Balineau SA (mandataire) - Strap

Sous-traitants

- Béton armé : GTM Sud-Ouest
- Micropieux : Temsol
- Assainissement : DLE
- Armatures : SAS
- Dallage : Planitech
- Électricité : Allez

ABSTRACT *Sables d'Olonne Port : a 500-tonne boat lift on La Cabaude*

J. Garrissou

The "Conseil général" (County Council) of the Vendée region is equipping Sables d'Olonne Port with a boat lift of capacity 500 tonnes. This project requires thorough revamping of La Cabaude Port. The works chiefly consist of construction of the dock, allowing exit for boats, and a 12,500 sq. m open area able to receive about ten ships. They involve numerous techniques employed by the main contractor : conventional maritime works comprising dredging, rock excavation, sheet piling, piling sections and steel piles; special works such as soil treatment by rigid inclusions, tension members and micropiles; earthworks, demolition, civil engineering, roadworks, a sewerage network with treatment station, and an electric power supply network. Both sea-based equipment and land-based equipment are used for the works.

RESUMEN ESPAÑOL *Puerto marítimo de Les Sables d'Olonne : un elevador para barcos de 500 toneladas sobre La Cabaude*

J. Garrissou

La diputación provincial del departamento de Vendée construye en el puerto marítimo de Les Sables d'Olonne un elevador de barcos de una capacidad de 500 t. Este proyecto precisa una importante reordenación del puerto marítimo de la Cabaude. Los trabajos incluyen fundamentalmente la construcción de la dársena, que permite la salida al mar de los barcos, y de una explanada de 12 500 m² que pueda recibir a unos diez buques. Estos trabajos recurren a disciplinas múltiples ejecutadas por empresas contratantes : trabajos marítimos convencionales que incluyen dragado, excavación en roca, tablestacas, pilotes metálicos; diversos trabajos específicos como por ejemplo el tratamiento de suelos mediante inclusiones rígidas, tirantes y micropilotes; movimientos de tierra, demolición, ingeniería civil, pavimentos, una red de saneamiento con estación de tratamiento, un red de alimentación eléctrica. Estos trabajos recurren a diversos medios náuticos así como medios terrestres.

La Ciotat : la pêche aux fondations

Dans le cadre du réaménagement des chantiers navals de la Ciotat, Spie Fondations est intervenue dans la reconstruction des sols d'une plate-forme maritime.

Les caractéristiques environnementales difficiles du site, les lourds efforts à faire supporter aux futures structures et les tolérances rigoureuses d'exécution, constituaient un véritable défi.

Pour réaliser plusieurs centaines de micropieux dans ces conditions, Spie Fondations a déployé des méthodes et technologies de pointe spécialement adaptées au projet, en faisant preuve d'une grande réactivité et de fortes capacités d'innovation.

■ Un projet de reconquête économique

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la reconversion et de la valorisation du site et des équipements industriels du chantier naval de La Ciotat après sa fermeture.

Le premier objectif économique du site de la Ciotat est de susciter l'émergence d'un pôle multicompetences de façon à présenter sur le marché du yachting et face à ses concurrents espagnols et italiens une offre aussi complète que possible.

Son second objectif, au moins aussi important que le premier, est de se mettre en situation de pouvoir capter toutes les gammes du marché, quelles que soient les tailles des navires. Il était donc indispensable pour la viabilité économique et le développement du domaine d'industries et d'activités maritimes de la Ciotat de procéder à la construction de l'ascenseur à bateaux et de la plate-forme méga-yacht.

L'enjeu de ce nouvel équipement est naturellement de pouvoir amener à terre, dans des conditions de coûts et de délais optimisées, les yachts de 40 à 80 m.

Une convention a été signée entre l'ensemble des collectivités territoriales et un partenaire industriel

« Monaco marine » pour l'aménagement d'une plate-forme de maintenance et de réparation de grands yachts sur le terre-plein du Sahara.

Cette plate-forme méga-yacht sera composée :

- d'une plate-forme élévatrice pour sortir de l'eau des navires pouvant aller jusqu'à 80 m de longueur et 2000 t de poids total;
- d'un chariot de transfert qui, placé sous les navires, permettra, en roulant sur des rails, de transférer les bateaux depuis la plate-forme élévatrice jusqu'à un poste de travail à sec;
- de 17 postes de travail à sec desservis par le chariot de transfert;
- d'un grand hall de peinture et de bureaux.

■ Des travaux de grande envergure

Le Conseil général des Bouches-du-Rhône (CG 13) est le propriétaire du port de la Ciotat et des chantiers navals. Il a délégué à la SEMIDEP Ciotat la maîtrise d'ouvrage d'une opération d'aménagement dans le port, à savoir la reconstruction des sols d'une partie de la plate-forme dite du Sahara, dans le cadre du développement du pôle de haute plaisance.

Le groupement d'entreprise ETPO - Spie Fondations - DTP Terrassement a été retenu pour la reconstruction des sols de la plate-forme du Sahara.

Les travaux de Spie Fondations ont consisté à réaliser les micropieux de fondations des longrines équipées d'un rail sur lesquelles circuleront les chariots de transfert de bateaux (photo 1). Il s'agit de micropieux de type II au sens du DTU n° 13.2, leur armature étant constituée par un tube métallique scellé dans le substratum au moyen d'un coulis de ciment.

■ Un contexte d'exécution difficile

La surface du terrain est située à une cote comprise entre +1.90 et +2.30 NGF environ. Le site de la plate-forme du Sahara a fait l'objet de diverses études et reconnaissances dans le cadre de projets d'aménagement envisagés par le CG 13.

Ces investigations ont mis en évidence les trois formations suivantes, du haut vers le bas (figure 1) :

Figure 1

Coupe type du projet présentant les différents horizons géologiques traversés par les micropieux

Typical cross section of the project showing the various geological horizons passed through by the micropiles

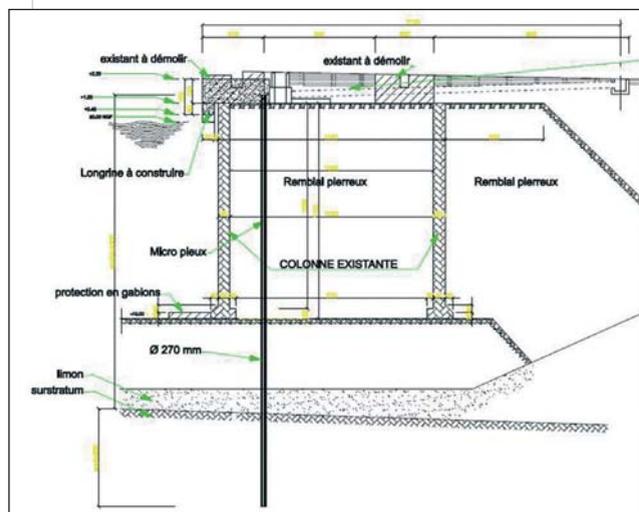


Photo 1

Vue d'ensemble du chantier (deux Fundex, grue d'équipement des micropieux)

General view of the construction site (two Fundex machines, micropile outfitting crane)

bateaux de luxe spéciales



Jean-Baptiste Le Gall
Ingénieur d'affaire
au Service injections
Spie Fondations

- des remblais d'aménagement du site, très hétérogènes et d'épaisseur variable;
- des sables fins correspondant aux anciens fonds marins, d'épaisseur variable;
- le substratum rocheux, associant brèches et grès marneux, rencontré à une cote variable et pouvant être altéré en tête.

La nappe d'eau sous le terre-plein du Sahara est rencontrée vers 2 m de profondeur, soit à une cote voisine de la cote + 0.1 NGF correspondant au niveau moyen de la mer. Elle peut fluctuer en fonction des conditions astronomiques (marée) mais aussi et surtout en fonction des conditions climatologiques (pression atmosphérique, vent, houle...) ainsi que des conditions pluviométriques au droit de la plate-forme.

La reconstruction des sols a pour but, au droit des longrines supportant les rails du chariot de transfert, de :

- garantir la portance des longrines; la cote prévisionnelle d'assise des longrines est de +1.00 NGF;
- minimiser les tassements différentiels sous les charges d'exploitation (roulage, stockage) à une valeur inférieure à 2 pour 1000 (tassement différentiel maximum admissible); les points de détermination de ces tassements différentiels peuvent être situés sur le même rail mais aussi sur des rails voisins;
- minimiser les tassements absolus instantanés sous chargement à 1 mm dans toutes les directions au droit de tout joint éventuel de rail.

Les tolérances d'implantation étaient rigoureuses, la tête du micropieu devant s'inscrire dans un cercle de 2 cm de diamètre. Ce faible excentrement admissible est essentiel compte tenu de la dimension de la longrine et de la charge qui circule dessus, 200 t par essieu, pouvant de ce fait générer des moments importants en tête de micropieu en cas d'excentrement excessif.

Par ailleurs, le rapport des essais pressiométriques menés sur le site a donné, pour les horizons de remblais d'aménagement, des modules pressiométriques très variables (de 20 MPa à < 1 MPa). Les rapports Em/pl déterminés placeraient ces matériaux dans les états normalement à sous-consolidés. De ce fait, la justification des micropieux en flexion composée nous a obligés à mettre en œuvre des tubes extérieurs de diamètre 273,0 mm et d'épaisseur 10,0 mm et à l'intérieur des tubes de diamètre 101,6 mm et d'épaisseur 12,5 mm. Les efforts horizontaux sollicitant le micropieu transiteront depuis la platine liée au tubage vers la poutre par le biais des calottes sphériques (mâle-femelle) (photo 2).

La difficulté majeure a résidé dans l'exécution des forages de gros diamètre pour micropieux au travers des remblais d'apport de granulométrie pluridécimétrique à métrique mis en place par le passé pour constituer la plate-forme gagnée sur la mer.

Ce type de forage a nécessité le recours au marteau fond de trou sous protection d'un tubage à l'avancement.

■ La technologie au service du forage

Dans un premier temps, il a été procédé au décapage et au terrassement de la plate-forme jusqu'à la cote +1.00 NGF sur une largeur de 18 m environ correspondant à l'emprise des longrines et des appuis (terrassement dans l'axe de la voie). Les micropieux ont alors été réalisés depuis la plate-forme à +1.00 NGF, avec une arase de l'armature à +1.50 NGF (qui ultérieurement sera noyée dans la longrine).



Photo 2
Vue des platines de tête des micropieux sous voies
View of the micropile head plates under tracks

Le système Advantis® permet d'exécuter des forages stables et équilibrés au travers de formations non consolidées composées d'alternance de terrains et de blocs de roches comme c'est le cas dans le projet de la Ciotat.

Il s'agit d'une technologie de pointe en comparaison avec les méthodes de forage à l'aide d'outils excentriques.

Le fonctionnement réside sur l'ouverture de deux à quatre ailettes connectées au marteau fond de trou.

Les tubages extérieurs perdus, entraînés par le marteau fond de trou, serviront également de protection contre la corrosion et participeront à la raideur de l'équipement dans son ensemble, raideur importante compte tenu des très faibles déformations admises. Ce tubage améliore également la résistance au flambement et évite le risque de forte surconsommation de produits d'injection dans le corps du remblai.

La Ciotat : la pêche aux bateaux de luxe passe par les fondations spéciales



Photo 3
Atelier de forage Fundex
Fundex drilling equipment

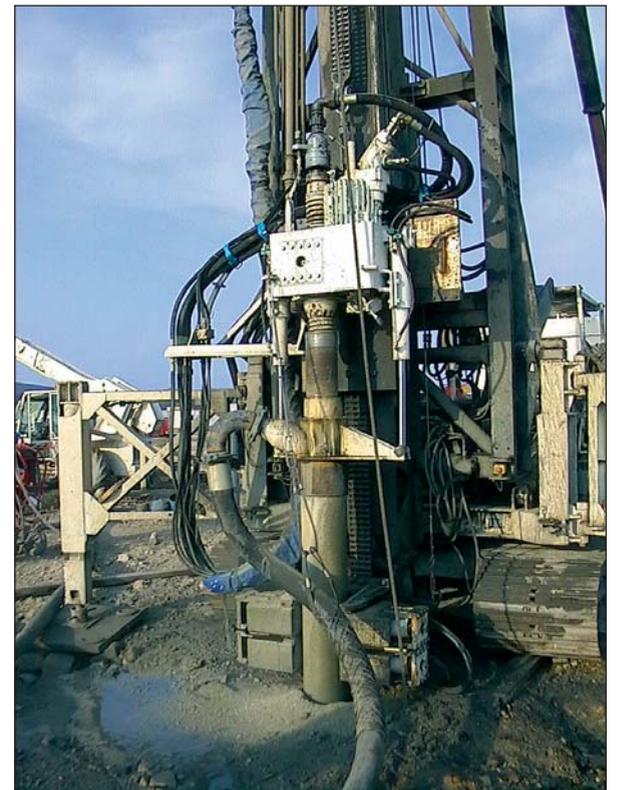


Photo 5
Détail de la tête de rotation avec son système de récupération des cuttings
Detail of the slewing head with its cutting recovery system

Photo 4
Mise en place des tubages extérieurs par la pelle Kobelco SK 300
Placing outer tubing with the Kobelco SK 300 shovel



► **L'innovation matérielle pour une exécution plus précise et plus rapide**

La mise en œuvre de ce système a nécessité, pour en exploiter le meilleur potentiel, d'utiliser des machines équipées de flèches longues afin de réduire au maximum les opérations de manutention de tiges. La longueur de la flèche permet en effet d'assurer le gabarit nécessaire pour la mise en place des tubes d'une seule pièce, ce qui supprime les doubles manutentions tiges-tubes nécessaires dans le cas d'une flèche courte.

C'est là que sont intervenus nos experts travaux et du dépôt pour innover, adapter ou transformer le matériel ad hoc afin de relever un tel défi technique. Dans le cas envisagé, ce sont les Fundex de type F11 et F12 (photo 3) qui ont subi un lifting total, de même que la pelle Kobelco (photo 4) qui a été équipée d'un bras mécanisé d'alimentation des tubes, façon pince à sucre, qui permet d'approvisionner les machines de forage en tubes d'éléments de 8 m de longueur.

Compte tenu des contraintes environnementales liées à la proximité de l'eau, et la technique du marteau fond de trou générant beaucoup de poussière, il a été mis au point un casque de récupération des déblais de forage canalisant la propagation des spoils (photo 5). Les grosses foreuses ont été utilisées pour la mise en place des tubages perdus. Le forage était ensuite appro-



Photo 6

Réalisation de la partie scellée du micropieu avec la foreuse CMV 3000

Execution of the embedded part of the micropile with the CMV 3000 drilling machine

fondi sur la hauteur du scellement du micropieu, au marteau fond de trou dans le substratum, par une foreuse classique, une CMV 3000 sur ce chantier (photo 6).

Le train de tige était descendu à la grue jusqu'à la base du tubage afin de gagner du temps.

Le forage, sur la hauteur du scellement, était d'un diamètre identique, mais sans entraînement du tubage.

Le micropieu était mis en place à la grue ou à l'aide du treuil de la Fundex.

Après séchage, les petites rehausses de tête des micropieux étaient démontées et une platine rotule était vissée dessus avant coulage de la longrine.

■ Un bilan positif

Le chantier s'est révélé difficile mais cette fois encore, Spie Fondations a tenu ses engagements à la grande satisfaction du client qui reconnaît la bonne maîtrise technique de l'entreprise face aux difficultés rencontrées. L'expertise et la réactivité des équipes de Spie Fondations ont en effet permis de réaliser plus de 500 micropieux dans les délais prévus. ■

ABSTRACT

La Ciotat : special foundations needed to attract luxury boats

J.-B. Le Gall

As part of the rehabilitation of the La Ciotat shipyards, Spie Fondations was involved in reconstruction of the foundations of an offshore platform. The difficult environmental characteristics of the site, the major forces to be withstood by the future structures and the stringent work tolerances constituted a real challenge.

To construct several hundred micropiles under these conditions, Spie Fondations deployed cutting-edge methods and technologies specially adapted to the project, showing great reactivity and major capability for innovation.

RESUMEN ESPAÑOL

La Ciotat : lograr la llegada de barcos de lujo pasa por los cimientos especiales

J.-B. Le Gall

Situándose en el marco de la reestructuración de los astilleros de La Ciotat, Spie Fondations ha actuado en la reconstrucción de los suelos de una plataforma marítima. Las difíciles características medioambientales del emplazamiento, los importantes esfuerzos que deberán soportar las futuras estructuras y las rigurosas tolerancias de ejecución, han constituido un verdadero reto.

Para realizar varios centenares de micropilotes en semejantes condiciones, Spie Fondations ha desplegado diversos métodos y tecnologías punteras especialmente adaptadas para el proyecto, demostrando además una gran reactividad así como importantes capacidades de innovación.

Monaco - Avant-port

Préfabrication des caissons

Dans le cadre de l'extension de l'avant-port de Monaco, Bouygues TP et SAIPEM réalisent 17 caissons destinés à la création de quais le long des digues nord et sud, du quai Louis II et d'un mouillage immergé. La production de ces caissons s'effectue sur une plate-forme située dans le Port Autonome de Marseille. La ligne de préfabrication, composée de trois stations de travail, a été spécialement conçue pour une production en série bien que les caissons présentent entre eux des différences sensibles. Les éléments préfabriqués sont déplacés de station en station, puis sur la plate-forme de mise à l'eau par ripage à l'aide de vérins longue course. La mise à l'eau s'effectue à partir d'une plate-forme suspendue à des vérins faibles courses installés en tête de pieux. Les caissons sont alors remorqués jusqu'au site de pose où parqués provisoirement à proximité pour d'ultimes finitions ou dans l'attente d'une fenêtre météo favorable.

■ Présentation du projet

Suite à un appel d'offres du 28 mai 2004 émis par le Service des Travaux publics de la Principauté de Monaco, le groupement Saipem SA – Bouygues TP a été désigné comme adjudicataire du marché lot n° 2 gros œuvre équipements portuaires de l'extension du port de la Condamine - Réalisation de l'avant-port. Rempporté sur la base d'une variante, le projet consiste en :

- l'installation de quais en caissons préfabriqués en béton armé (14 unités) le long des digues nord et sud (côté avant-port) ainsi que le long du quai Louis II;
- un rehaussement du fond marin dans l'avant-port par la réalisation d'un merlon immergé entre la digue nord et la contre-jetée. Ce merlon, constitué de trois caissons préfabriqués, sera surmonté de trois corps-morts d'amarrage.
- un quai en retour des digues nord et sud par des blocs de quai préfabriqués;
- l'installation de deux postes complets d'amarrage de méga yachts (100 et 110 m de long).

La préfabrication des caissons est réalisée dans le Port Autonome de Marseille, à proximité de la forme 10.

Le Service des Travaux publics de la Principauté de Monaco a confié la maîtrise d'œuvre à Setec TPI (structure) et Acri-IN (structure et hydraulique). Le contrôle technique est assuré par le bureau Véritas.

Le délai de réalisation est de 23 mois (photo 1).

■ Études des caissons

Les études, réalisées en interne, ont porté sur :

- la mécanique des sols, quai Louis II fondé dans une pente existante sur pieux de 1400 mm battus au toit du rocher, la stabilité locale et globale des digues nord et sud;
- l'hydraulique, en s'appuyant sur des essais en canal afin de valider les critères de design, notamment les coefficients de réflexion dans l'avant-port;
- la structure des caissons, pendant les phasages de construction, le remorquage et en service.

Les principales quantités sont :

- béton caissons : 12 230 m³;
 - armatures pour caissons : 2 350 t;
 - charpente métallique pour caissons Merlon : 130 t.
- Les caissons préfabriqués à Marseille se décomposent comme suit :
- quai Louis II : 4 caissons (L = 41,20 m);
 - quai digue nord : 4 caissons (L = 33 m et 36,30 m) + 1 caisson musoir (L = 37 m);
 - quai digue sud : 3 caissons (L = 33 m et 16,20 m) + 1 caisson musoir (L = 37 m);
 - jonction digue nord/quai Louis II : 1 caisson (L = 12 m);

Photo 1

Avant-port de Monaco. Localisation des travaux
Outer harbour of Monaco. Work location

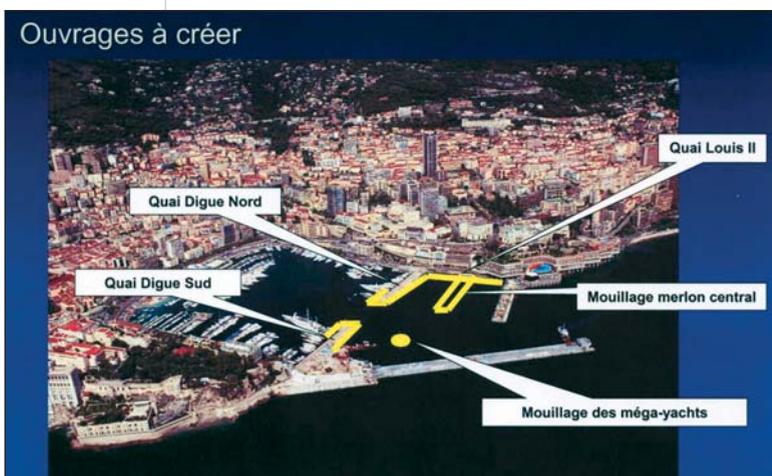
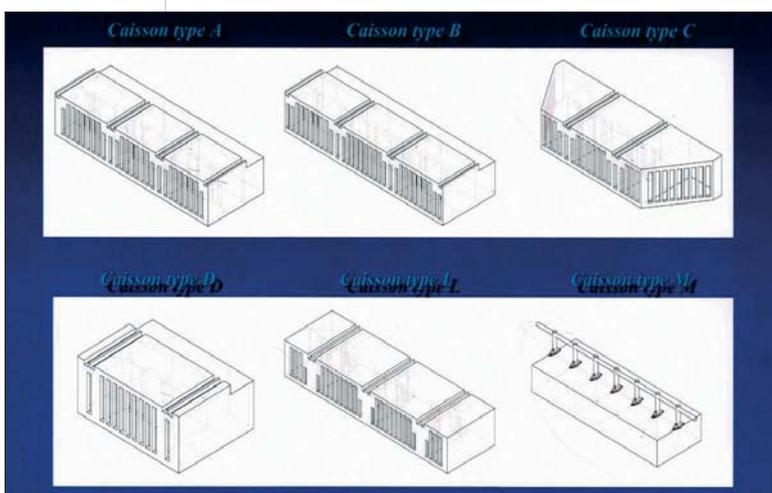


Figure 1

Type de caissons à réaliser
Type of caissons to be constructed



de la Condamine

Christian Brondeau
Responsable
des méthodes
Bouygues TP

Pierre Billet
Responsable
des travaux
de la préfabrication
Bouygues TP

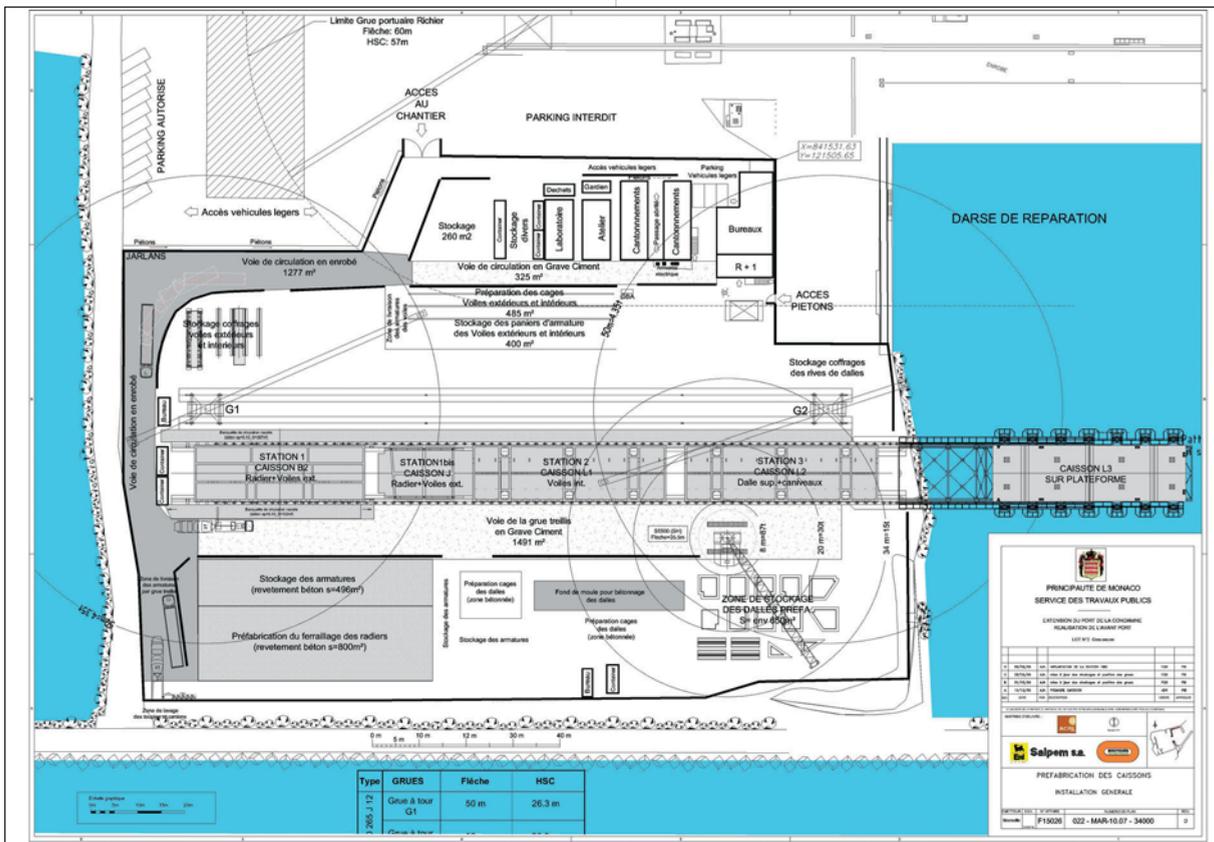


Figure 2
Plan général des installations
General layout of the facilities

- merlon central : 3 caissons immergés (L = 34,30 m).
Largeur des caissons : 12 m.
Hauteur des caissons : 6 m (caissons immergés) et 7,50 m (autres caissons).
La protection cathodique des caissons est assurée par des anodes sacrificielles en aluminium (figure 1).

■ Installations de chantier au port autonome (PAM)

Situées à proximité de la forme 10 du PAM, les installations comprennent :

- une ligne de préfabrication des caissons couverte par deux grues à tour circulant sur une voie commune ;
- une aire de préfabrication des dalles de couverture des caissons ;
- une aire de pré-assemblage des armatures de radier des caissons ;
- une aire de stockage des coffrages ;
- une aire de préparation des armatures des voiles ;
- les bureaux, cantonnement, atelier, magasin, laboratoire.

La ligne de préfabrication terrestre est prolongée en mer par une estacade fixe, puis par une plate-forme permettant la mise à l'eau des caissons.

En complément des grues à tour, une grue sur chenille assure toutes les manutentions des dalles préfabriquées



Photo 2
Vue générale du chantier
General view of the site

de couverture des caissons ainsi que la pose des armatures préfabriquées des radiers sur le fond de moule (figure 2 et photo 2).

■ Description de la ligne de préfabrication

D'une longueur de 150 m environ, fondée sur colonnes ballastées, la ligne de préfabrication est constituée de deux longrines béton de section 2,00 m x 2,00 m

Monaco - Avant-port de la Condamine. Préfabrication des caissons

Photo 3

Ligne de préfabrication -
Vue générale des trois stations
*Prefabrication line - General
view of the three work stations*

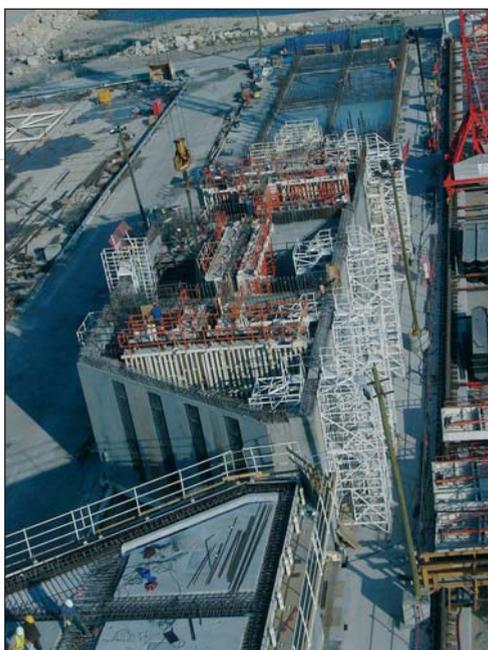


Photo 4

Pose d'une cage d'armature
de radier en station 1
*Placing a foundation raft
reinforcement cage in station 1*



Photo 5

Caisson Louis II en station 1
Louis II caisson in station 1



recouvertes d'une tôle inox sur toute la longueur. Elle comprend trois stations de travail, chacune d'elles correspondant aux travaux suivants :

- station 1 : construction du radier et des voiles périphériques;
- station 2 : construction des voiles intérieurs;
- station 3 : construction de la couverture et pose des appareils de remorquage (photo 3).

Fond de moule

Le fond de moule, d'une surface adaptée au coulage du plus long caisson, est entièrement métallique (tôle de 6 mm d'épaisseur) et fixe.

Il est équipé d'un système d'injection d'air utilisé comme aide au décoffrage (levage du caisson) et d'un réseau de clés (négatif) type clés de conjugaison de voussoirs préfabriqués.

Les clés obtenues en positif sur le caisson améliorent son blocage dans le ballast d'assise.

Longrines de ripage

Les deux longrines font partie intégrante du fond de moule de la station 1. Leur prolongement en mer au-delà de la station 3 par deux poutres métalliques fixées en tête de pieux constitue l'estacade.

Les poutres de ripage sont équipées de points d'ancrage (axes noyés) permettant l'accrochage des vérins de traction des caissons. Cette fonctionnalité est obtenue le long de l'estacade et de la plate-forme de mise à l'eau par un double profilé dont l'écartement est réalisé par les axes d'ancrage des vérins.

En station 1, des niches sont aménagées dans les longrines béton pour recevoir des vérins de levage (fourniture Enerpac) permettant de soulever de quelques centimètres le caisson afin d'interposer les appuis glissants (néoprène téfloné) entre le radier et les longrines en vue du ripage (levage synchronisé).

■ Description des modes opératoires

Radier

Pour les caissons de grande longueur, le ferrailage est préfabriqué en trois plots de 12 m x 13 m de 12 t mis en place à l'aide d'une grue sur chenille de 160 t, le coffrage périphérique du radier étant installé. Les aciers en attente pour les voiles intérieurs sont mis en place en 2^e phase, puis les coffrages talonnettes d'amorces de voiles.

Le béton (198 m³ pour le caisson Louis II) est mis en œuvre à l'aide d'une pompe sur porteur (photo 4).



Photo 6
Caisson Jarlan
Jarlan caisson

Voiles

Principe de coffrage

L'analyse des différentes géométries des caissons, associée à une réalisation des voiles par plots, a conduit à définir une surface optimisée de coffrages composés de panneaux en nombre et longueur différente par module.

La nomenclature comprend des coffrages intérieur-extérieur, des éléments d'angle intérieur-extérieur, des noyaux, des clés.

Les coffrages intérieurs intègrent la présence ou non de corbeau en tête de voile, corbeau pouvant être horizontal, incliné selon la pente de la couverture, à surface horizontale ou inclinée.

Des éléments d'angle « droit » ou « gauche » permettent la réalisation des amorces des voiles intérieurs. Les panneaux de hauteur 6,90 m sont équipés d'un seul plancher de travail en tête et d'un seul niveau de tiges intermédiaires situées à 2,30 m de la base.

Les coffrages intérieurs sont placés en premier et sont donc équipés de stabilisateurs, les panneaux extérieurs étant amenés en dernier pour fermer le coffrage (maintien par grue à tour).

Principe de ferrailage

Livré sur site coupé façonné, le ferrailage des voiles est fait en place, les aciers de poteaux Jarlan étant pour leur part préfabriqués. Le ferrailage des poutres de couronnement des ouvertures Jarlan et des corbeaux est également fait en place (photos 5 et 6).

Voiles périphériques

(Station 1 - Épaisseur 40 cm)

Le voile arrière, côté terre, est un voile plein pourvu ou non de trémies et réalisé en deux plots. Le voile frontal, côté mer, équipé d'une série d'ouvertures dites Jarlan destinées à absorber l'énergie de la houle, est réalisé en deux plots. Les voiles en retour (12 m de long) sont réalisés en un seul plot.

Toutes ces ouvertures sont coffrées par des caissons métalliques fixés au coffrage intérieur. Ils restent en place jusqu'à la pose des caissons dans l'avant-port de Monaco.

Voiles intérieurs

(Station 2 - Épaisseur 40 cm, 32,5 cm)

Les voiles intérieurs sont réalisés selon le même principe, par plot, en utilisant une série de panneaux de coffrage dédiés à la station 2.

Les plots incluant une paire de voiles mobilisent des coffrages noyaux manutentionnés à l'aide de la grue sur chenille.



Photo 7
Dalles de couverture
Cover slabs



Photo 8
Pose des dalles de couverture en station 3
Placing cover slabs in station 3



Photo 9
Vue partielle de la couverture avant clavage des dalles
Partial view of the covering before keying the slabs

Couverture

La couverture des caissons est constituée de dalles préfabriquées pleine hauteur, intégrant entre autres des chenaux de drainage entraînant des surépaisseurs en sous-face de dalles. Des caniveaux, dalles en forme de té renversé, sont également préfabriqués.

Les dalles préfabriquées (25 t à 35 t) sont mises en place à l'aide de la grue sur chenille de 160 t de capacité.

Le clavage des dalles s'effectue en trois plots (photos 7, 8 et 9).

Monaco - Avant-port de la Condamine. Préfabrication des caissons

Photo 10

Système de ripage
des caissons
*Caisson skidding
system*



Photo 11

Accostage
d'un caisson Louis II
sur la plate-forme
de mise à l'eau
*Docking a Louis II
caisson
on the launching
platform*



■ Système de ripage

Les caissons (maximum 2400 t) sont déplacés par ripage, de station en station, puis transférés sur la plateforme de mise à l'eau à l'aide de deux vérins de traction de capacité 112 t à 700 bars (fourniture Enerpac). Ils sont pilotés par une centrale à deux débits afin d'envoyer la même quantité d'huile dans chaque vérin, synchronisant ainsi les rentrées de tiges, donc les déplacements qui sont contrôlés en temps réel par des afficheurs digitaux.

Un système informatique paramétré permet un monitoring permanent des informations relatives aux déplacements et pressions, notamment les écarts.

La course des vérins est de 2000 mm, la longueur totale tige rentrée est de 2910 mm.

Les vérins sont équipés de capteur de position permettant de contrôler la course via les afficheurs digitaux (photo 10).

Le système de ripage est placé latéralement par rapport au caisson, la tige des vérins étant brochée à une attache fixée au caisson, à hauteur du radier. L'arrière des vérins est connecté à un sabot en appui sur la longrine béton de ripage sur lequel s'articule une pince actionnée par un vérin hydraulique.

La pince, en position rabattue, s'appuie sur un axe ancré dans la longrine de ripage.

Le déplacement d'un caisson s'effectue selon le cycle suivant :

- ouverture de la pince ;
- sortie de tige du vérin de traction ;
- fermeture de la pince sur le nouvel axe ancré dans la longrine de ripage ;
- mise en charge progressive de l'attelage de traction ;
- rentrée de tige du vérin longue course, le caisson se déplace ;
- déchargement de l'attelage pour dégager la pince, le cycle pouvant reprendre.

Une poutre de guidage est installée à l'avant et à l'arrière du caisson pour le guider pendant les déplacements.

Photo 12

Immersion d'un caisson Louis II
Submersion of a Louis II caisson

■ Système de mise à l'eau

La plate-forme de mise à l'eau est constituée d'un plateau suspendu par barres à des vérins en appui sur des chevêtres fixés en tête de pieux.

Le système se décompose comme suit :

- 14 pieux Ø 1000 mm en E36, espacés de 6,00 m sur deux files;
- contreventement en pied de pieux par portiques en E36;
- 1 plateau mobile sur sept paires de HEB 1000 porteurs;
- 4 barres de suspension par pieu;
- 2 vérins hydrauliques par barre;
- 1 étage de vérins équilibreurs par pieu;
- 1 centrale hydraulique de pilotage.

Les équipements hydrauliques, les barres de suspension

et la procédure de mise à l'eau ont été étudiés et fournis par la société Royam (photos 11 et 12).

La plate-forme de mise à l'eau est éclissée à l'estacade par barres Ø 50 mm tendues à 80 t pour permettre l'accostage du caisson.

Pendant la phase de chargement, la distribution progressive des charges par pieu est contrôlée et ajustée si nécessaire. Le tirant d'eau des caissons est de 5 m environ, le poids variant de 1000 t à 2500 t.

La société SPAM (groupe Bourbon) effectue le remorquage des caissons jusque dans la forme 10 en vue de terminer la pose des équipements avant le départ pour Monaco. La durée de remorquage est d'environ 50 heures (remorqueur de 2500 CV), les caissons étant ballastés pour contrôler la gîte. La durée de remorquage rend nécessaire un suivi de la couverture météo (photos 13 et 14).

Photo 13

Préparation du remorquage d'un caisson Louis II
Preparation for towing a Louis II caisson



Photo 14

Mise en place d'un caisson Louis II dans l'avant-port
de Monaco

Placing a Louis II caisson in the outer harbour of Monaco

Monaco - Avant-port de la Condamine. Préfabrication des caissons

Conclusion

Ce chantier de préfabrication de caissons voit son originalité dans la diversité des éléments à construire en série. En effet, on peut dégager cinq grandes familles qui ont nécessité la mise au point de procédures de réalisation et une organisation des postes de travail très tendues pour que ce nouveau challenge soit une réussite.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Client

Service des Travaux publics de la Principauté de Monaco

Maître d'œuvre

- Setec TPI (structure)
- Acri-IN (structure et hydraulique)
- Contrôle technique : Bureau Véritas

Entreprise :

Groupe Saipem SA - Bouygues TP

Sous-traitant :

- Royam (équipements hydrauliques pour la mise à l'eau)
- SPAM (remorquage des caissons)

Délai d'exécution : 23 mois

ABSTRACT

Monaco - Outer harbour of La Condamine. Prefabrication of caissons

Ch. Brondeau, P. Billet

In order to comply with the extension of the capacity of the Avant Port of Monaco, Bouygues TP and SAIPEM are currently producing 17 precast concrete caissons to be installed along the existing North and South dyke of the Quai Louis II and a new immersed mooring. The precasting yard is located in the Port Autonome de Marseille. The precasting line, made of 3 working bays, has been especially designed for a serially production although differences between the caissons to be built are existing. The precast units are shifted from station to station and then on the elevator by sliding using long stroke jacks. The elevator is hung by short stroke jacks installed on top of piles and used to lower the platform supporting the caisson until it is floating. Then, it is towed to Monaco or placed in stand-by position next to the mobile platform for further last finitions or awaiting a favourable towing window.

RESUMEN ESPAÑOL

Mónaco - Puerto marítimo de La Condamine. Prefabricación de los cajones

Ch. Brondeau y P. Billet

En el marco de la ampliación del antepuerto de Mónaco, Bouygues TP realiza 17 cajones destinados a la creación de muelles a lo largo de los diques norte y sur, del muelle Louis II et de un ancladero sumergido. La producción de estos cajones se efectúa sobre una plataforma ubicada en el Puerto Autónomo de Marsella. La línea de prefabricación, formadas por tres estaciones de trabajo, se ha diseñado especialmente para una producción en serie pese a que los cajones presentan diferencias sensibles entre ellos. Los elementos prefabricados se desplazan de estación en estación, y a continuación sobre la plataforma de botado mediante deslizamiento por medio de gatos de largo recorrido. El botado se efectúa a partir de una plataforma suspendida por gatos de reducido recorrido instalados en cabeza de pilotes. Los cajones se remolcan hasta el emplazamiento de instalación o almacenamiento de forma provisional a proximidad para recibir los últimos acabados o en espera de un intervalo meteorológico favorable.

Cure de jouvence pour le barrage belge de Butgenbach

Les barrages en béton à voûtes multiples, dont il existe une centaine d'exemplaires en Europe, se sont révélés sensibles aux agressions par les agents climatiques. Très élancés donc exposés aux intempéries et à l'eau du réservoir, la plupart d'entre eux sont aujourd'hui affectés de vieillissement, par lente dégradation du béton par dissolution du ciment, voire parfois par le jeu de réactions chimiques complexes. Des solutions innovantes mettant en œuvre des produits nouveaux permettent désormais d'améliorer grandement la sécurité et la pérennité de ces barrages, dont les plus anciens sont octogénaires. Le barrage de Butgenbach en Belgique, affecté par un phénomène d'alcali-réaction, vient d'être muni d'un complexe d'étanchement et de drainage superficiels qui le protège désormais et lui a rendu une nouvelle jeunesse.

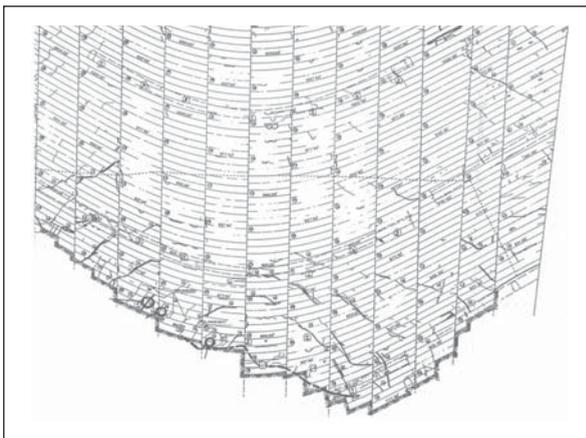
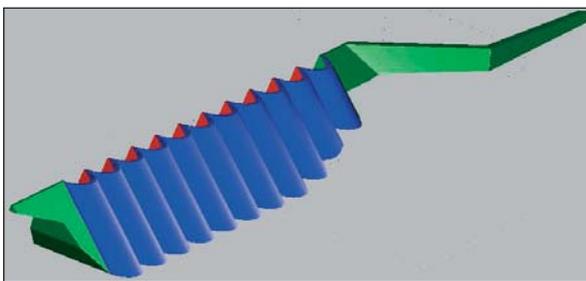
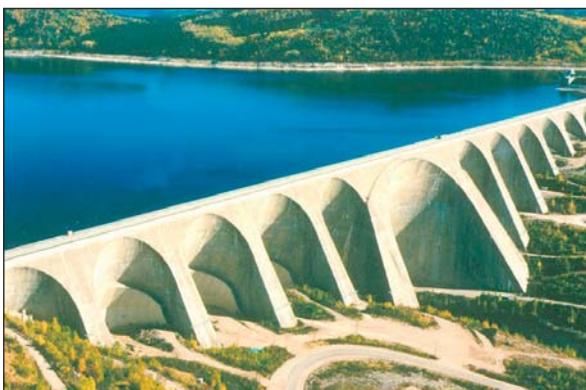
■ Les barrages à voûtes multiples

Les barrages à voûtes multiples ont connu leur heure de gloire au cours de la première moitié du vingtième siècle, à une époque où le béton était cher et la main-d'œuvre bon marché : on cherchait alors à minimiser la matière, au prix d'une complexité de formes donc de réalisation. Il en est résulté des ouvrages élégants, dont les fonctions sont exprimées explicitement dans leur géométrie. Bien représentée dans toute l'Europe (Pannecière, Les Pradeaux, Mazeud en France), la technique a trouvé son apogée, en France, avec le barrage de Grandval (H = 88 m, 1959) et au Canada avec le barrage de Daniel Johnson, record du monde avec une hauteur de 220 m (1976) (photo 1).

La structure d'un barrage à voûtes multiples est modulaire et relativement simple dans le principe : un certain nombre de contreforts, en forme de troncs de prisme, reçoivent la poussée de voûtes, en général cylindriques et inclinées. La portée modérée (10 à 20 m) de celles-ci permet de limiter leur épaisseur à quelques décimètres. Le béton est peu armé, car les formes sont définies de telle façon que les efforts principaux se traduisent par des compressions. Les seules armatures essentielles sont placées sur l'arête amont des contreforts, où elles ont à lutter contre des phénomènes de fracturation hydraulique (figure 1).

■ Les pathologies des barrages à voûtes multiples

Dans les faits, ces barrages dont les plus anciens sont octogénaires se sont plutôt bien comportés et leur principe de base s'est trouvé validé par l'expérience, du moins pendant les premières décennies de leur existence. Quelques défauts de comportement ont été observés de façon générique, notamment l'apparition de fissures plongeantes en pied des voûtes. Les moyens de modélisation numérique (dont ne disposaient pas les concepteurs de l'époque) ont permis de comprendre qu'elles résultent de l'encastrement de la base des voûtes à leur base (contraintes en pied de voûte) (figure 2).



Alain Carrère
Directeur Scientifique
Coyne et Bellier



Christine Noret-Duchêne
Ingénieur principal,
responsable du pôle
« Réhabilitation
d'ouvrages »
Coyne et Bellier

Photo 1

Le barrage Daniel-Johnson au Canada
Daniel-Johnson Dam in Canada

Figure 1

Géométrie d'un barrage à voûtes multiples
Shape of a multiple-arch dam

Figure 2

Fissures plongeantes en pied aval de voûte
Plunging cracks at the downstream base of an arch

Cure de jouvence pour le barrage belge de Butgenbach

Figure 3

La stabilité
des barrages poids
Stability of gravity dams

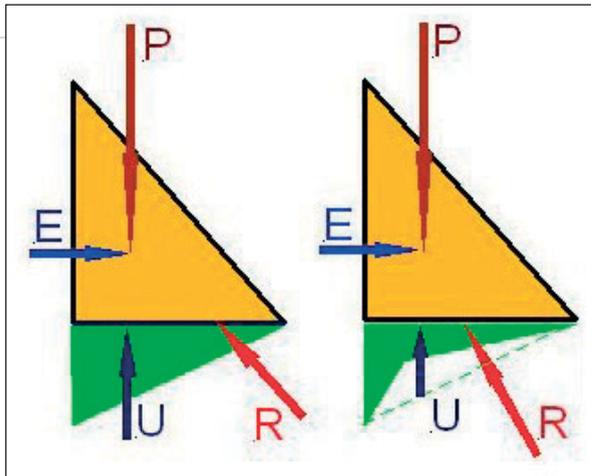


Photo 2

Le barrage de Butgenbach
Butgenbach Dam



Mais c'est leur vieillissement qui maintenant pose problème à leurs maîtres d'ouvrage, car leurs structures élancées se trouvent plus exposées que d'autres formes aux agressions externes de toutes natures :

- effets thermiques saisonniers : les contreforts, jouant comme de véritables ailettes thermiques en contact avec l'air ambiant, se dilatent et se contractent avec les saisons et constituent, en quelque sorte, des supports mobiles pour les voûtes qui, elles, sont au contact avec l'eau du réservoir, à température pratiquement constante. Il en résulte des efforts internes alternés, notamment à l'interface voûte-contrefort, qui favorisent la fissuration à la longue, et donc l'endommagement du béton ;
- effets chimiques favorisés par la présence de l'eau au contact, et en particulier la formation de sels ou gels gonflants à l'intérieur du béton (ettringite, gels de silice), dans certains cas de compositions chimiques critiques des constituants (ciment, agrégats) ;
- enfin la percolation de l'eau dans tous les défauts du béton (joints, fissures, nids de cailloux) qui entraînent la dissolution en place des carbonates et leur déposition ultérieure sous forme de calcite.

Les concepteurs de ces barrages étaient bien conscients de cette fragilité vis-à-vis de l'eau du réservoir et ont en général muni leurs ouvrages d'une couche protectrice étanche. La plupart du temps, il s'agissait d'une couche de gunite légèrement armée, elle-même recouverte d'un enduit à base de bitume, parfois armé d'une toile. Ces étanchéités n'ont pas résisté aux effets du temps, en raison de leur extrême rigidité et fragilité, et n'ont donc pas joué durablement leur rôle protecteur.

■ Le gonflement des bétons par alcali-réaction

D'une façon générale, la percolation de l'eau à travers un massif de béton ou de maçonnerie provoque une lente dégradation de ces matériaux, généralement par dissolution du ciment. Dans les vieux barrages en maçonnerie du XIX^e siècle, la résistance des mortiers dont une partie de la chaux a disparu est significativement réduite, de même que la masse volumique qui est un des facteurs principaux de leur stabilité.

D'autres réactions chimiques plus complexes affectent parfois les bétons laissés en permanence au contact de l'eau. L'alcali-réaction résulte de l'attaque de la silice mal cristallisée contenue dans certains granulats par les hydroxydes alcalins du ciment ; il se forme des silicates alcalins plus volumineux, sous forme de gels. Ceux-ci commencent par occuper les vides présents dans tout béton, ce qui laisse l'ouvrage apparemment intact pendant plusieurs années. La poursuite de la réaction entraîne alors une fissuration à échelle de plus en plus grande, ce qui se manifeste d'abord par un gonflement du béton, mais peut aller jusqu'à sa déstructuration complète. Ce phénomène est susceptible d'affecter toutes les structures en contact permanent avec l'eau, dès lors que les granulats et le ciment contiennent les composants incompatibles.

■ Effet de l'eau sur la stabilité des ouvrages d'extrémité

Les extrémités des barrages à voûtes multiples sont toujours des sections de type poids. Elles sont de ce fait moins sensibles aux agents extérieurs, mais leur stabilité dépend fortement du régime des percolations à travers leur corps et leur fondation proche.

D'une façon conventionnelle, on évalue le bilan des forces exercées sur une section horizontale courante du barrage, tant à travers son corps qu'au contact de la fondation. La résultante effectivement exercée R est la somme vectorielle du poids P de la partie supérieure, de la poussée de l'eau du réservoir E au-dessus de la section, et de la résultante U de la sous-pression. En l'ab-

sence de tout organe particulier d'étanchement ou de drainage, on suppose que la pression décroît de façon linéaire de l'amont à l'aval, si bien que tous calculs faits pour un barrage de profil triangulaire, ce sont environ 40 % de l'effet stabilisateur du poids qui se trouvent ainsi neutralisés par la sous-pression. La pression de l'eau dans le corps des barrages poids réduit donc fortement leur stabilité. Un système combiné d'étanchement et de drainage, placé de préférence dans la partie amont du barrage, réduit partiellement l'effet négatif de la force U (figure 3).

■ La démarche de réhabilitation d'un barrage à voûtes multiples

Le projet de réhabilitation d'un barrage à voûtes multiples est toujours un cas d'espèce, qui doit être conçu en prenant en considération toutes les faiblesses de la structure.

Lorsqu'un barrage à voûtes multiples a été bien dimensionné, sa réhabilitation peut se résumer au remplacement de l'étanchéité d'origine par un organe plus efficace. Il existe aujourd'hui des moyens de maintenir réellement au sec les bétons des voûtes. Le procédé le plus satisfaisant de ce point de vue est l'application d'un complexe étanchéité-drainage sur la totalité du parement amont. Mis au point d'abord sur des barrages poids, il dispose aujourd'hui d'un retour d'expériences de plusieurs décennies dans toutes les conditions d'environnement.

Il est nécessaire, dans la plupart des cas, de combiner un tel traitement avec celui de la fondation proche, de façon à assurer la continuité nécessaire de l'étanchement et du drainage.

Par ailleurs, lorsque les dégradations de la structure sont trop avancées ou que celle-ci n'a pas été convenablement dimensionnée, des dispositions particulières de renforcement doivent être prévues. On peut citer, entre autres, le renforcement de l'encastrement de la base des voûtes, ou encore l'installation de butons de contreventement entre les contreforts, reconnus aujourd'hui pour avoir un effet bénéfique sur la résistance parasismique.

■ L'exemple du barrage de Butgenbach

Le barrage de Butgenbach sur la Warche, situé dans les Ardennes belges à une cinquantaine de kilomètres au sud-est de Liège, fait partie du parc hydroélectrique d'Electrabel. Ce barrage à voûtes multiples, de 27 m de haut sur fondation et de 210 m de long, est constitué de 11 voûtes minces inclinées à 50° de 12 m de portée



Photo 3

Fissures verticales dans les voûtes
Vertical cracks in the arches

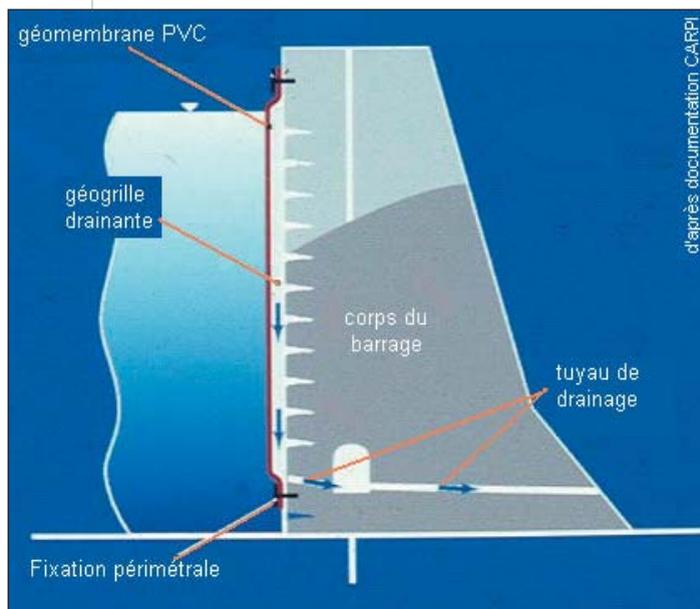
appuyées sur des contreforts, et de deux culées poids aux extrémités. Il a été construit de 1929 à 1932, sur plans italiens. C'est un ouvrage bien représentatif des conceptions de cette époque (photo 2).

L'ouvrage a dès l'origine été protégé des infiltrations d'eau par une couche de gunite armée, mais celle-ci s'était fortement fissurée et décollée en partie supérieure et ne jouait plus depuis longtemps aucun rôle effectif, ce dont témoignait l'importance des dépôts de calcite sur les faces aval. Le béton des structures principales se trouvait donc en permanence au contact d'une eau relativement agressive.

Le béton utilisé pour construire le barrage est constitué avec des granulats de provenance locale et un ciment Portland artificiel normal. Il n'était pas d'usage, à l'époque, de vérifier la compatibilité chimique du ciment et des granulats, ce qui est systématique aujourd'hui et conduit, en cas de doute, à préférer recourir à des ciments de laitier.

Diverses dégradations sont apparues au fil du temps. Les voûtes ont notamment été affectées par plusieurs familles de fissures, soulignées par d'abondants dépôts de calcite (figure 1). Parmi celles-ci, une famille de fissures verticales (ou plus exactement parallèles à l'axe des voûtes, de part et d'autre de celui-ci) est apparue de façon systématique et tout à fait inhabituelle. Leur origine peut être attribuée à la géométrie même des voûtes, mais c'est l'apparition d'un phénomène de gonflement du béton qui les a aggravées. Celui-ci a eu pour effet d'allonger les arcs, et d'accentuer des efforts internes de flexion, précisément là où sont apparues les fissures parallèles. D'autres symptômes de gonflement des bétons apparaissent notamment dans les bétons de crête ou de second œuvre sur lesquels les traces caractéristiques de l'alcali-réaction sont observables (photo 3).

Cure de jouvence pour le barrage belge de Butgenbach



d'après documentation CARPI

Figure 4
Étanchement et drainage superficiels par géomembrane
Surface sealing and drainage by geomembrane barrier



Par ailleurs, les deux extrémités du barrage sont constituées de sections gravitaires massives. Le béton qui les constitue est moins dégradé que celui des voûtes, mais l'absence de tout organe de drainage laissait une incertitude quant à leur degré de stabilité. Il était donc souhaitable d'améliorer les conditions de transit des eaux d'infiltration.

■ **La double solution : un procédé d'étanchement et de drainage superficiels**

La pathologie que présentait le barrage de Butgenbach conduisait à vouloir le mettre à l'abri des infiltrations de l'eau du réservoir. La technologie mise en œuvre à l'origine par les concepteurs, qui consistait à appliquer sur toute la surface une couche de gunite (mortier de ciment fortement dosé, armé de métal déployé et mis en œuvre par projection), procurait effectivement une bonne étanchéité initiale, mais ne pouvait résister au temps, la gunite étant trop peu résiliente pour résister aux déformations imposées par son support, aux variations de température et aux agressions météoriques. Elle s'était fissurée et décollée de son support sur sa moitié supérieure, n'assurant plus à celui-ci aucune protection efficace.

De nombreuses tentatives d'étanchement par divers produits ont été essayées dans le passé sur de nombreux barrages. Les résultats se sont toujours révélés peu durables, les produits rapportés se décollant rapi-



Photo 4
Détail de la mise en œuvre du dispositif d'étanchement
Detail of placing of the sealing system

dement, généralement par apparition de bulles dues à la pression de vapeur d'eau présente dans le support. Il a fallu renoncer à coller les produits sur le béton, et donc les fixer mécaniquement, pour enfin atteindre un résultat efficace et durable.

Pour cet ouvrage septuagénaire, la solution résidait donc dans la fixation sur le parement amont d'un complexe capable d'assurer à la fois l'étanchement et le drainage, technique relativement récente qui comprend une membrane d'étanchéité, et un dispositif

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage et maître d'œuvre

Electrabel

Concepteur du projet et assistant au maître d'ouvrage

Coyne et Bellier

Entreprises

- Carpi SA (Suisse)
- Wust (Belgique)

de drainage intégral interposé entre la membrane étanche et le parement du barrage.

La membrane d'étanchéité est un géocomposite constitué d'une membrane en PVC, d'épaisseur 2,5 mm, stabilisée aux UV, thermosoudée en usine sur un géotextile antipoinçonnant non tissé de 500 g/m². La géomembrane est fixée mécaniquement sur le parement au moyen de profilés métalliques qui permettent en outre, sa mise en tension pour éviter la formation de plis. Une fixation périmétrale assure l'étanchéité sur le pourtour de la surface traitée.

Le dispositif de drainage est composé d'un géodrain en PEHD à haute capacité drainante, qui a pour fonction d'acheminer les éventuelles eaux d'infiltration ou de condensation en pied de voûte, de forages à travers le barrage en partie basse pour évacuer l'eau et des événements en partie haute, qui assurent la dissipation des pressions de vapeur d'eau. Les profilés de fixation de la géomembrane participent également au drainage. Les forages permettent un contrôle visuel permanent de l'efficacité du système au pied aval de l'ouvrage.

La géomembrane n'est recouverte par aucun dispositif de protection, l'expérience ayant démontré qu'elle résiste bien aux agressions extérieures.

La mise en œuvre d'un tel dispositif doit généralement être complétée par un traitement de la fondation au pied amont du barrage, de manière à assurer la continuité de l'étanchement vers le bas. Un tel traitement n'était pas requis dans le cas présent, le barrage étant appuyé sur d'épais massifs de béton de bonne qualité qui n'étaient pas affectés par les dégradations constatées en élévation (figure 4).

■ Les travaux au barrage de Butgenbach

Bien qu'il ait été possible en principe de réaliser les travaux d'étanchement par voie subaquatique, il a été choisi de les effectuer à sec, après vidange complète du lac dont le niveau a été maintenu bas pendant les cinq mois de l'été 2004.

Les travaux ont été confiés aux entreprises Wust (Belgique) pour les travaux généraux, et Carpi (Suisse-Italie), spécialisée dans l'étanchement des barrages et bénéficiant d'une expérience mondiale. Le chantier a progressé voûte par voûte de la rive droite vers la rive gauche, avec la succession des opérations suivantes : démolition de la gunite défectueuse, pose des échafaudages, préparation de la surface amont, pose des profilés de fixation, puis du géodrain, puis pose et tensionnement de la géomembrane, dépose des échafaudages, perforation des drains et pose de la fixation périmétrale (photo 4).

Les travaux ont été complétés par le drainage de la



Photo 5

Vue en cours
de chantier

View in the course
of site work

fondation des culées de rive et la pose de piézomètres sous la culée rive droite pour y contrôler les sous-pressions.

La vidange a également été mise à profit pour faire une réhabilitation complète des organes hydromécaniques, pièces fixes et mobiles de la prise d'eau et de la vidange de fond qui étaient d'origine.

Le chantier a fait l'objet d'un accompagnement environnemental particulièrement réfléchi et suivi. Le programme d'actions, défini en concertation avec les autorités locales et les acteurs socio-économiques concernés, a comporté une sauvegarde de la population piscicole du lac, la mise en place d'un système de piégeage des sédiments, et un accompagnement touristique avec visites guidées du chantier. La cote de la retenue a retrouvé son niveau normal en fin d'année. Le coût de l'opération a respecté l'enveloppe budgétaire prévue de 1,6 million d'euros, auxquels il convient d'ajouter les actions d'accompagnement et le manque de production hydroélectrique, estimés à 15 % environ (photo 5).

■ Conclusion

Le suivi des instruments d'auscultation du dispositif d'étanchéité, depuis la remontée du plan d'eau, montre que le système est efficace, puisque les débits

Cure de jouvence pour le barrage belge de Butgenbach

de fuite récoltés dans les drains sont quasi nuls. Une des principales qualités du système adopté est précisément de fournir un moyen de contrôle permanent de son efficacité, ce qu'aucun autre dispositif concurrent ne permet. Un tel résultat ne peut toutefois être obtenu que si la mise en œuvre est confiée à des spécialistes, surtout dans le cas de géométries complexes comme à Butgenbach. La durée de vie de l'étanchéité est estimée par expérience à quelques décennies. Le béton des voûtes du barrage est maintenant à l'abri de l'eau et le phénomène de gonflement devrait s'épuiser rapidement, tandis que la stabilité des culées d'extrémité, étanchées à l'amont et équipées de nouveaux drains au pied aval, est désormais garantie. ■

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Démolitions : 1 800 m²
- Membrane d'étanchéité : 4 720 m²

ABSTRACT *A facelift for Butgenbach Dam in Belgium*

A. Carrère, Ch. Noret-Duchêne

Multiple-arch concrete dams, of which there are about one hundred in Europe, have proved sensitive to attack by climatic agents. Very slender, hence exposed to atmospheric conditions and the reservoir water, most of them are now affected by ageing, by a gradual deterioration of the concrete through dissolution of the cement, or even sometimes by the effects of complex chemical reactions. Innovative solutions using new products now make it possible to greatly improve the safety and service life of such dams, the oldest of which are eighty years old. Butgenbach Dam in Belgium, affected by alkali-aggregate reaction, was recently provided with a surface sealing and drainage membrane which now protects it and has given it a new lease of life.

RESUMEN ESPAÑOL *Rejuvenecimiento de la presa belga de Butgenbach*

A. Carrère y Ch. Noret-Duchêne

Las presas de hormigón de bóvedas múltiples, de las cuales existe un centenar de ejemplares en Europa, han demostrado mucha sensibilidad a las agresiones por los agentes climáticos. Sumamente elanzados y por consiguiente expuestos a las intemperies y al agua del estanque, la mayor parte de estas presas se ven actualmente afectadas por el envejecimiento, debido a la lenta degradación del hormigón por disolución del cemento, e incluso a veces debido a las interacciones químicas complejas. Diversas soluciones innovadoras que utilizan nuevos productos que permiten de ahora en adelante mejorar ampliamente la seguridad y la perennidad de estas presas, cuyas más antiguas tienen unos ochenta años. La presa de Butgenbach en Bélgica, que se ve afectada por un fenómeno de alcali-reacción, acaba de ser dotada de un complejo de hermeticidad y de drenaje superficiales que garantizan su protección y la ha permitido volver a recuperar su juventud.

Chantier naval du port de Dubai, projet Safina. Construction d'une cale de mise à flot



Nick Kolin
Project Manager
Soletanche Bachy

David Laird
Project Manager
Dubai Drydocks

Conception et construction, sur un important chantier naval du port de Dubai, d'une cale de mise à flot pour bateaux de 250000 t, sorte d'ascenseur à bateau entre le niveau de la mer et celui du chantier au-dessus du niveau de la mer.

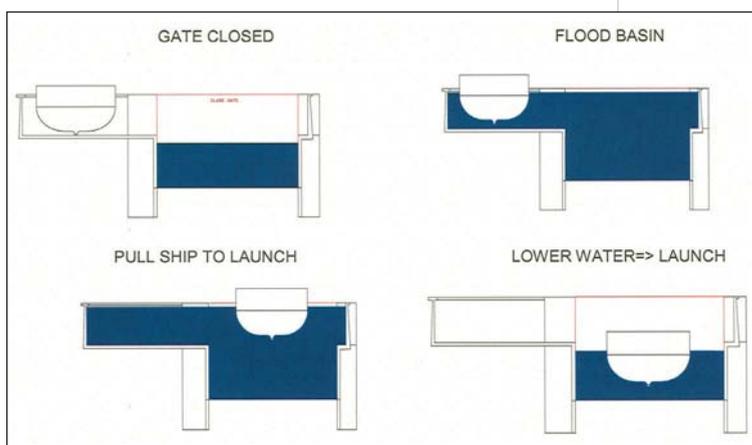
Cet ouvrage, dans la construction duquel interviennent plusieurs technologies du sol et notamment des parois moulées, a été entièrement réalisé en entreprise générale par Solétanche Bachy dans le cadre d'un contrat de conception et construction.

Le chantier naval Dubai Drydocks augmente ses capacités, déjà considérables, par la mise en service d'une cale de mise à flot pour des navires de 250000 dwt (deadweight ton) en construction ou en réparation.

■ Le principe de la cale de mise à flot

Le dispositif le plus rustique pour tirer un bateau hors de l'eau et l'y remettre ensuite est la cale de halage (« slipway ») qui est un plan incliné équipé d'un treuil. Une cale de mise à flot (« launching facility ») est un ouvrage original, sorte d'ascenseur à bateau hydraulique permettant une translation horizontale et une translation verticale, dont l'usage s'apparente à celui d'une forme de radoub (« dry dock ») mais avec un fonctionnement hydraulique opposé (figure 1).

Tandis que la forme de radoub fournit une aire de travail temporairement à sec au-dessous du niveau de la mer, la cale de mise à flot, quant à elle, dessert un chantier sur une plate-forme établie au-dessus du niveau de la mer.



Prenons le cas d'un bateau qui sort d'une cale de mise à flot. En inondant temporairement la plate-forme de transfert on met le bateau en flottaison, ce qui permet sa translation jusqu'à la darse adjacente fermée par une porte.

On laisse ensuite baisser le niveau d'eau dans la darse pour l'amener au niveau de la mer et on ouvre la porte. Dans le cas de la forme de radoub il faut pomper pour vider. Dans le cas de la cale de mise à flot il faut pomper pour remplir.

■ Description générale

L'ouvrage comprend les éléments suivants (figure 2) :

- la plate-forme de transfert, de 70 m de large par 170 m de long, est établie au-dessus du niveau de la mer, au même niveau que le chantier;
- la darse, de 65 m de large par 135 m de long, creusée à la cote - 6,50 m, est adjacente à la plate-forme de transfert et s'ouvre sur la mer par un seuil encadré par deux piédroits. Les côtés de la darse sont réalisés en parois moulées qui servent de fondation aux bajoyers élevés jusqu'à la cote +10 m;
- les piédroits de 25 m x 8 m et 28 m x 12 m et la dalle de seuil, en béton armé, qui constituent le support de la porte étanche ouvrant sur la mer. Le seuil est calé 6 m au-dessous du niveau de la mer. Dans le seuil et dans les piédroits est encastrée une lame d'acier inoxydable pour l'étanchéité de la porte;
- la plate-forme de quai de dimension 27 m x 59 m qui abrite la station de pompage faisant partie de la fourniture;

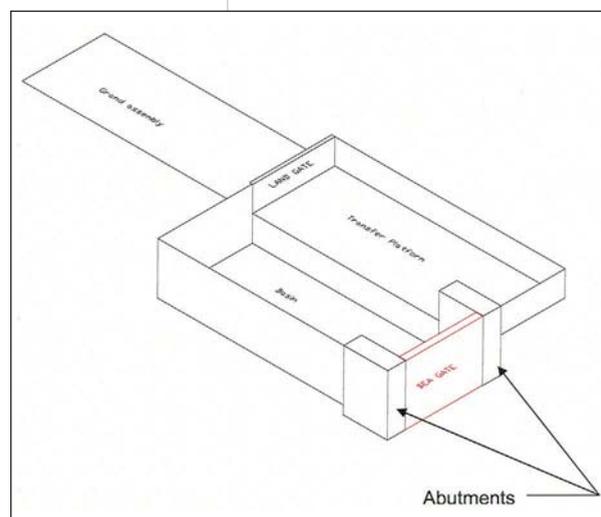


Figure 2
Schéma fonctionnel de l'ouvrage définissant ses principaux éléments
Block diagram of the structure defining its main components

Figure 1
Principe de la cale de mise à flot
Schematic of the wet dock

Chantier naval du port de Dubai, projet Safina. Construction d'une cale de mise à flot

Photo 1

- a) État des lieux en août 2005.
- b) Remblaiement en cours en novembre 2005
- a) Review of existing situation in August 2005.
- b) Backfilling in progress in November 2005



- deux portes : une porte-caisson côté mer, une porte modulaire côté terre;
- deux ducs d'Albe.

■ Les étapes de la conception

L'appel d'offres sur le principe de la conception-construction a été établi par Royal Haskonings. La solution suggérée comportait, pour la darse, une enceinte en palplanches et, pour l'ensemble formé par le seuil et les piédroits, un massif de béton armé réalisé à l'abri d'un batardeau en palplanches également.

Solétanche Bachy a présenté une solution variante dans laquelle les palplanches étaient remplacées par des parois moulées. Cette solution présentait

l'intérêt d'être moins coûteuse et plus rapide à exécuter.

Les parois moulées constituaient les fondations du bajoyer de 5 m de haut dans lequel sont ancrés les bollards et les cabestans utilisés pour manœuvrer les bateaux sur la plate-forme de transfert.

■ La construction

Pour réaliser les parois moulées, il a fallu d'abord construire une plate-forme de travail qui a nécessité la mise en place de 300 000 m³ de remblai avec un compactage sur l'emprise des structures à construire (photos 1a et 1b).

Le remblai a été apporté par voie terrestre et des enrochements ont été posés avec des moyens nautiques afin de les contenir dans la zone des travaux.

Les parois moulées ont été exécutées avec un atelier à benne et un atelier hydrofraise (photos 2 et 3).

C'est également depuis la surface de la plate-forme de travail sur remblai qu'ont été réalisés les parois moulées et les pieux pour la dalle de seuil et pour le système de vidange (photo 4).

Les palplanches ont été connectées sur des serrures scellées dans la paroi moulée de manière à assurer un raccordement étanche entre les deux types de structure du batardeau (photos 5 et 6).

Les étaitements ont été installés par paire, l'un au-dessous de l'autre, en utilisant des liernes d'une seule pièce (photo 7).

La mise à sec pour l'excavation a été réalisée au moyen de dix puits filtrants profonds.

Des connecteurs ont été posés sur les barres verticales des parois moulées du seuil afin de ne pas gêner l'excavation avec des armatures en attente. La réalisation du génie civil a suivi.



Photo 2

Réalisation des parois moulées et autres travaux

Execution of diaphragm walls and other works



Photo 3
 Mise en place de la cage d'armature d'un panneau en T
Placing the reinforcement cage for a tee-panel

La plate-forme de quai a été réalisée avec un rideau de palplanches raccordé au quai existant et au piédroit du côté Est. C'est avec des tirants en acier à haute limite élastique Ø 63 mm que les palplanches ont été reliées à la paroi moulée.

Les barres ont été placées à l'intérieur de fourreaux en PVC Ø 300 mm de manière à les protéger des charges intempestives dues au tassement du remblai. Elles étaient suspendues sous une structure provisoire pendant le remblaiement et le compactage de la couche de remblai correspondante. Cette structure de suspension était déposée dès lors que le remblai avait atteint les fourreaux (photo 8).

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Paroi moulée : 17 000 m²
- Béton : 36 000 m³
- Acier : 4 000 t
- Palplanches, liernes et butons : 1 300 t
- Pieux CFA et LDA : 500 u



Photo 4
 Réalisation des pieux
Execution of piles



Photo 5
 Construction des ducs d'Albe
Construction of mooring posts



Photo 6
 Batardeau en palplanches en construction
Sheet piling lock gate undergoing construction



Photo 7
 Construction du seuil
Construction of the weir



Photo 8
 Tirants du batardeau du quai dans leurs fourreaux
Tension members of the dock lock gate in their sleeves

Chantier naval du port de Dubai, projet Safina. Construction d'une cale de mise à flot



Photo 9

Partie de l'excavation réalisée par voie terrestre

Part of excavation executed by land-based equipment

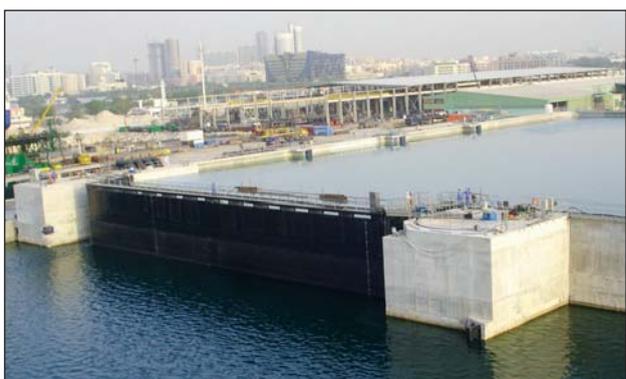


Photo 10

Résultat final

End result

► Enfin a été réalisé le dragage à l'intérieur de la darse et à l'extérieur jusqu'aux enrochements. Pour gagner du temps, l'excavation a été réalisée partiellement par voie terrestre et par dragage dans la darse pendant le dragage de la porte d'accès à la mer (photo 9).

Le résultat final donne entière satisfaction (photo 10). Cet ouvrage illustre l'avantage pour les maîtres d'ouvrage de lancer des appels d'offres qui ouvrent la possibilité aux candidats de présenter des variantes mettant en œuvre les spécialités qu'ils maîtrisent. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
Dubai Drydocks

Maître d'œuvre
Royal Haskoning

Conception et construction
Soletanche Bachy en groupement avec NSCC

ABSTRACT

Dubai Port shipyard, Safina project. Construction of a wet dock

N. Kolin, D. Laird

Design and construction, on a large shipyard in Dubai Port, of a wet dock for ships of 250,000 tonnes, a sort of boat lift between sea level and the level of the shipyard above sea level.

This project, for the construction of which several foundation technologies are involved, in particular diaphragm walls, was carried out entirely by the main contractor Solétanche Bachy within the framework of a Design and Build contract.

RESUMEN ESPAÑOL

Astilleros del puerto marítimo de Dubai, proyecto Safina. Construcción de un dique de botado

N. Kolin y D. Laird

Establecimiento del concepto y construcción, en un importante astillero del puerto marítimo de Dubai, de un dique de botado para barcos de 250 000 toneladas, género de ascensor para barcos entre el nivel del mar y el del astillero por encima del nivel del mar.

Esta obra, para la construcción del cual intervienen varias tecnologías del suelo y particularmente de las pantallas continuas, se ha ejecutado en su totalidad por la empresa contratante Solétanche Bachy en el marco de un contrato de establecimiento de concepto y construcción.

Moma Sands Jetty, au Mozambique : 405 m dans l'océan Indien depuis une côte désertique



Rob Marsden
Managing Director
Dura Soletanche Bachy
(Pty) Ltd.

La construction d'une importante estacade en mer est en soi une aventure technique intéressante qui requiert une grande technicité, un savoir-faire éprouvé et une organisation parfaite.

Sur ce chantier, dans le cadre d'un développement minier au Mozambique, la difficulté a été considérablement corsée par des conditions d'isolement extrême. Elle a été surmontée au prix d'une logistique à la hauteur du problème et des risques, digne d'une opération militaire.

Outre la beauté sauvage des paysages, il faut admirer l'audace de l'ouvrage réalisé, les moyens imposants qui ont été mis en œuvre et la qualité du résultat.

■ Présentation du chantier

Nous sommes ici au Mozambique, où opère, comme dans d'autres pays de l'Afrique Australe et depuis son siège de Johannesburg en République d'Afrique du Sud, l'entreprise générale de travaux et technologies du sol Dura Soletanche Bachy.

Dans cette région extrêmement isolée au nord du Mozambique, la société minière et d'exploration irlandaise Kenmare Resources Plc développe un projet dénommé Moma Heavy Mineral Sands pour la production l'ilménite, de zircon et de rutile. De l'ilménite et du rutile est extrait le dioxyde de titane TiO_2 utilisé notamment comme pigment blanc.

Ce projet bénéficie d'un financement par la Banque Mondiale. Il comprend la construction d'un convoyeur vers la haute mer supporté dans sa partie marine par une estacade de 405 m de long appelée Moma Sands Jetty (photo 1).

La construction de cet ouvrage a été confiée à l'entreprise principale Group Five qui a sous-traité à Dura Soletanche Bachy la mise en œuvre des pieux. Ces deux entreprises sont basées en République d'Afrique du Sud.

La solution de base reposait sur un principe de travées d'une portée de 42 m reposant sur des pieux réalisés à partir de barges, mais c'est sur une variante de conception et de réalisation que Dura Soletanche Bachy et Group Five ont remporté le marché, variante basée sur une solution déjà expérimentée avec succès pour le pont de Chirundu sur le Zambèze.

La variante comporte 95 pieux métalliques de 610 mm de diamètre pour l'estacade et de 1200 mm pour les ducs d'Albe d'accostage et d'amarrage. Les appuis de l'estacade sont mis en place à partir du rivage selon la

méthode de progression qui porte en anglais le nom de « leap-frogging » que l'on peut traduire par « saute-mouton » à condition de ne pas être trop pointilleux sur les espèces animales. En termes plus prosaïques, la machine de pieux avance sur les pieux déjà installés, à 16 m au-dessus du niveau de la mer (photo 2).



Photo 1

L'estacade à 16 m au-dessus du niveau de la mer

The jetty 16 metres above sea level

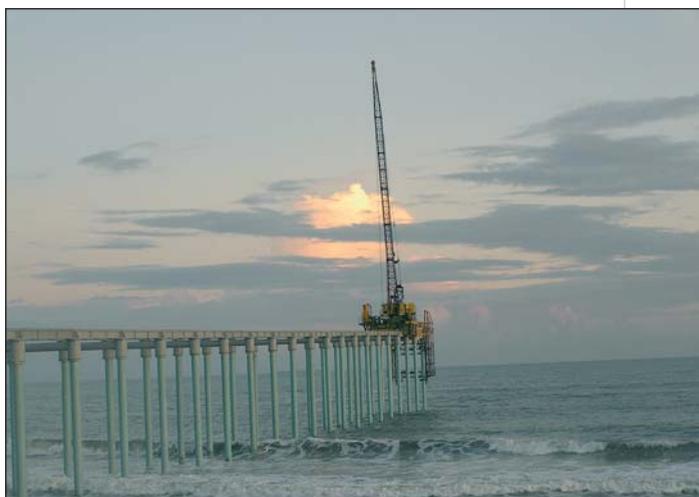


Photo 2

L'océan Indien, côté grand large

The Indian Ocean, view facing the high seas

■ Préparation et organisation

Le chantier est situé loin de tout, dans une région très reculée de la côte du canal du Mozambique, à 240 km au sud de la ville de Nampula et 440 km au sud-ouest du port de Nacala. Ceci a posé des problèmes de logistique inhabituels, même en Afrique, qu'il a fallu surmonter.

Nampula n'offre que des ressources très limitées en termes de services d'approvisionnement tant pour les matériaux que pour les matériels. Quant à la liaison routière entre Nampula et Moma, si elle peut être qualifiée de correcte sur les 100 premiers kilomètres, elle est franchement mauvaise sur les 100 km suivants et passe à exécrable sur les 40 derniers kilomètres avant Moma. Le voyage prend 5 heures à l'aller et autant au retour.

Moma Sands Jetty, au Mozambique : 405 m dans l'océan Indien depuis une côte désertique



Photo 3

Installations
de chantier

Construction
plant



Photo 4

La grue RB 61 montée sur bogies, le vibrofonneur PTC 50, le chariot de transport de personnel

The RB 61 crane mounted on bogies, the PTC 50 vibratory driver and the personnel transport truck



L'éloignement du site a conduit à élaborer une logistique capable de faire face aux scénarios les plus improbables. Le personnel a été géré par rotation d'équipes transportées par avion depuis l'Afrique du Sud et hébergées en base vie. C'est avec la plus grande prévoyance que les matériels et les méthodes ont été choisis, incluant un grand stock de pièces détachées, un atelier très bien équipé et le nécessaire pour effectuer toutes les réparations possibles.

Pour couronner le tout, la région, outre son haut risque cyclonique et sismique, est connue comme un foyer de paludisme cérébral.

■ Construction

Les tubes pour les pieux ont été approvisionnés depuis l'Afrique du Sud par bateau puis par route en longueurs de 12 m. Ils ont été raboutés par soudure sur place pour former des éléments jusqu'à 36 m de long. Le matériel spécialisé de Dura Soletanche Bachy a été acheminé également par voie maritime et terrestre.

L'atelier de soudure et de fabrication ainsi que les autres installations de chantier ont été implantés sur les dunes (photo 3). Une grue sur rails a été montée, conforme aux spécifications pour le transport des personnes (photo 4) et des pieux (photo 5). C'est au moyen d'une grue RB38 puis de chariots sur rail que les tubes étaient manutentionnés depuis l'aire de soudure jusqu'à la grue sur rail en position sur l'estacade. Le levage des pieux, leur mise en place et leur vibrofonçage étaient effectués au moyen de cette grue RB61 montée sur bogies et équipée d'une flèche de 42 m.

Pour le fonçage on a eu recours à un vibreur PTC 50 et à un marteau à chute libre de 6 t. Les tubes étaient d'une seule pièce soudée, d'une longueur allant jusqu'à



Photo 5

Transport des pieux à pied d'œuvre

Transporting piles to the site

36 m. Les pieux étaient mis en place par couples et chaque couple était relié en tête au précédent par une travée de tablier boulonnée puis injectée (photos 6 et 7). Ce travail était organisé par cycles de 48 heures et un pas de progression de 9 m. Il s'est déroulé ainsi jusqu'au couple de pieux numéro 46.

Au total, ce sont 95 pieux de 610 mm de diamètre qui ont été ainsi mis en place pour l'estacade et le module de chargement, auxquels s'ajoutent six pieux de 1200 mm pour les ducs d'Albe.

C'est bien grâce à la variante imaginée par Dura Soletanche Bachy et surtout à l'organisation rigou-

Photo 6

Guide de battage pour un couple de pieux

Pile driving guide for a pair of piles



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur d'estacade : 405 m
- Pieux Ø 610 mm : 95 u
- Pieux Ø 1200 mm pour ducs d'Albe : 6 u
- Longueur vibrofoncée : 3500 m



Photo 7

Les travées formant le tablier
The spans forming the deck

reuse qu'elle a mis en œuvre que les travaux ont pu être menés à bien en échappant aux aléas normaux des travaux à la mer (photo 8). Le résultat a été satisfaisant sur tous les plans : qualité irréprochable, parfaite sécurité, délais tenus, budget respecté. ■



Photo 8

Intérêt du « leap-frogging » par rapport au travail sur barge, lorsque la mer est formée
Advantages of "leapfrogging" by comparison with barge-based work, in rough seas

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Kenmare Resources Plc

Maître d'œuvre

Multiplex Bateman Joint Venture

Entreprise principale

Group Five Ltd

Sous-traitant fondations spéciales

Dura Soletanche Bachy (Pty) Ltd

ABSTRACT Moma Sands Jetty, in Mozambique : 405 metres from a deserted coast in the Indian Ocean

R. Marsden

The construction of a large jetty at sea is in itself an interesting technical adventure which requires great technical expertise, proven know-how and perfect organisation.

On this project, as part of mining development in Mozambique, the difficulty was considerably aggravated by the conditions of extreme isolation. It was overcome by means of logistics worthy of a military campaign, adequate to cope with the problems and risks.

Apart from the unspoilt beauty of the landscapes, what is admirable is the boldness of the structure built, the impressive facilities employed and the quality of the result.

RESUMEN ESPAÑOL Moma Sands Jetty, en Mozambique : 405 m en el océano indio desde una costa desértica

R. Marsden

La construcción de un importante embarcadero en el mar representa por sí misma una interesante aventura técnica que requiere una gran técnica, unos conocimientos técnicos demostrados y una perfecta organización.

Para esta obra, en el marco de un desarrollo de las minas en Mozambique, la dificultad se ha ampliado de forma considerable debido a las condiciones de aislamiento extremo. Tal dificultad se ha podido superar mediante la debida logística del problema y de los riesgos, del mismo modo como para una operación militar.

Además de la belleza salvaje de los paisajes, cabe admirar la audacia de la obra realizada, los colosales medios que fueron implementados así como la calidad del resultado.

EMCC : tournant pour des métiers

Dans les travaux maritimes et fluviaux, les domaines d'application changent davantage que les métiers, mais depuis les années 1990, l'évolution de la réglementation et le poids croissant de l'environnement impactent directement l'activité. Illustration avec deux chantiers récents : l'émissaire de rejet en mer des effluents de l'usine de traitement des eaux des Sables d'Olonne, réalisé par EMCC (VINCI Construction France), et la construction d'un casier de confinement pour les sédiments de dragage du port, à Cherbourg, réalisé par TPC (VINCI Construction France) avec EMCC.

À travers ses quatre initiales, apparues sur le marché des travaux maritimes et fluviaux en 1972, EMCC – s'en souvient-on ? – rappelle l'histoire beaucoup plus ancienne des deux entreprises qui lui ont donné le jour en fusionnant cette année-là : Morillon Corvol, fondée en 1885 par Victor Morillon et Eugène Corvol pour exploiter les sablières de la Seine, qui très tôt s'est intéressée aux travaux publics, et l'entreprise Courbot, spécialisée dans le battage de palplanches, dont l'histoire épouse le parcours d'Henri Courbot, son fondateur, né en 1902.

Cette filiation marque aujourd'hui encore la société de sa forte empreinte, puisque son activité, organisée en grande façade ouest (de Dunkerque à Bayonne, y compris les Antilles et Mayotte) et grande façade Est (Meuse, Moselle, versant rhénan, liaison Rhin-Rhône, Rhône-Saône et littoral méditerranéen), se partage pour l'essentiel entre dragage-déroctage et génie civil portuaire d'une part, deux métiers qui représentent chacun 40 % du chiffre d'affaires, et les travaux subaquatiques et travaux spéciaux, liés à des évolutions plus récentes du marché d'autre part. « Cette conjonction de métiers et le parc matériel de l'entreprise, qui compte plus de 200 unités, sont la force de l'entreprise, et si l'activité n'a guère changé depuis 100 ans, elle s'est appliquée au fil du temps à des objets très différents, avec des techniques très renouvelées, car il y a loin de la lunette et du théodolite employés en 1983 pour le chantier de l'émissaire de Concarneau aux systèmes DGPS qui équipent aujourd'hui nos bâtiments », explique Patrick Belgeulle, le directeur général adjoint d'EMCC, qui a fait ses débuts dans l'entreprise en 1973 et n'a rien oublié des chantiers qu'il a supervisés.

Grandes vagues de travaux

Après avoir installé des conduites d'alimentation en eau et des câbles électriques entre le continent et les îles du littoral, l'entreprise a ainsi travaillé à l'amélioration des accès des ports de pêche, afin que les bateaux puissent y accéder et rester à quai quelles que soient les conditions de marée. Les années précédant la construction du tunnel sous la Manche ont été par la suite une grande époque de construction des terminaux ro-ro (roll on - roll off), suivie par la vague des aménagements des ports de plaisance. Dans le domaine des télécommunications, à la fin des années 1990, l'entreprise a pris part à l'aménagement des réseaux de fibres optiques dans le lit des fleuves, et aujourd'hui, les problématiques auxquelles elle doit répondre sont les rejets d'effluents des usines de traitement des eaux, avec l'aménagement d'émissaires de grande longueur, et les conséquences de la loi sur l'eau, en vigueur depuis déjà 15 ans, puisque les sédiments de dragage ne peuvent plus être clapés au large mais doivent être analysés, et pour ceux qui se révèlent pollués, notamment par les hydrocarbures et les métaux lourds, gérés comme des déchets. Ainsi s'explique l'intégration récente de la société Extract, une entreprise spécialisée dans le traitement des sédiments de dragage ou de curage, avec laquelle EMCC a réalisé en deux phases 2002 puis 2003 le dragage du bassin d'armement des Chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire, puis en 2004 celui du port de plaisance de Vannes. « Mais en l'absence d'enjeu industriel ou touristique, comme c'était le cas pour ces deux chantiers, le coût de telles opérations reste souvent hors de portée des maîtres d'ouvrage et les contraint, soit à ajourner les travaux, soit à recourir à des solutions provisoires, souligne Patrick Belgeulle. À Cherbourg, le dragage de l'avant-port et du bassin à flot est ainsi resté à l'état de projet pendant plus de six ans, et à Port-en-Bessin (Calvados), 25 000 m³ de sédiments pollués issus du dragage du bassin amont du port resteront confinés sur un terrain appartenant à la ville... en attendant qu'une solution définitive puisse être trouvée. »



Photo 1

Sables d'Olonne. Beau temps exceptionnel dans l'anse du Vieux-Moulin où trois unités d'EMCC sont au mouillage : le ponton Ar Menez, qui procède au dragage de la souille (à dr.), la plate-forme auto-élevatrice de minage (au centre) et un multicat de servitude (à g.)

Sables d'Olonne. Exceptionally fine weather in Vieux-Moulin cove where three EMCC units are at anchorage : the Ar Menez floating dock, performing dredging of the trench (right), the self-jacking blasting platform (centre) and a multicat support vessel (left)

environnemental centenaires

La recherche de zones chahutées

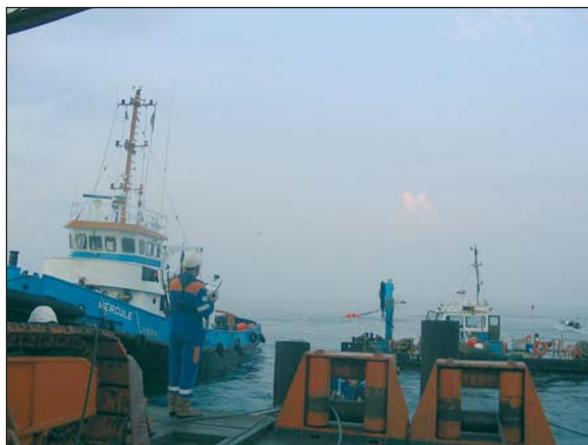
Les émissaires de rejet des usines de traitement des eaux usées sont de longue date une des spécialités d'EMCC, qui a réalisé ceux de Concarneau, Carnac, Lanilis, La Baule, Courseulles-sur-Mer, Dinard, Saint-Malo, La Turballe, Ploemeur; sur sa façade Est ceux de Montpellier et de Calvi, en Méditerranée; et dernièrement celui des Sables d'Olonne. Là aussi, en un peu plus de 20 ans, les problématiques – et les techniques mises en œuvre – ont fortement évolué, car il s'agit à présent d'aller rejeter les effluents à 1 000 ou 2 000 m au large dans des zones « chahutées », pour éviter leur retour à la côte et favoriser leur brassage avec les eaux marines. « Dans ce type d'opération, qui fait l'objet de concours, le cahier des charges est généralement réduit au minimum : point de raccordement à tel endroit et point d'arrivée à tel autre, et EMCC s'appuie sur son bureau d'études pour proposer des solutions qui, à plus de 10 m de profondeur sous eau, doivent être aussi rigoureusement conçues et réalisées que des canalisations terrestres. On y rencontre tous les profils (dunes, falaises, etc.) et tous les faciès géologiques, poursuit Patrick Belgeulle, et l'on doit franchir la zone de marnage et intervenir à proximité du rivage en mettant en œuvre toutes les techniques maritimes – minage, déroctage, ouverture de souille à la pelle, dragage, rideaux de palplanches, travaux de plongée, etc. – dans des secteurs de houle et de déferlement de vagues, des conditions où il faut se battre avec les éléments, ce qui explique qu'on ne trouve que des passionnés dans nos métiers. »

Favorisant au départ des canalisations en acier habillées de béton mises en place par tirage depuis le rivage (émissaire de Ploemeur, en 1998) ou à partir d'une barge maritime (émissaire de La Turballe, en 2003), etc., EMCC s'est adapté à une offre produit qui s'est considérablement renouvelée avec l'arrivée sur le marché de canalisations en PEHD de grande longueur venues de Norvège. « Pipe Life, le fabricant, est un industriel capable de produire des tronçons de 450 m de long dans des diamètres de 800 à 1 000 mm, qui sont acheminés par remorquage. C'est une technique aujourd'hui maîtrisée, qui garantit la tenue dans le temps des émissaires, et nous l'avons mise en place pour la première fois à Montpellier, pour l'émissaire de l'usine des eaux usées de la Céreireide (11 000 m) en 2003 puis à La Baule (1 300 m, en 2004), avant de l'employer à nouveau aux Sables d'Olonne. »

■ Émissaire des Sables d'Olonne : une solution inédite au tunnelier

Dans la commune de Château-d'Olonne, après 10 km de course terrestre, l'émissaire de la Step des Sables d'Olonne débouche dans l'anse du Vieux-Moulin, une

portion de zone rocheuse régulièrement battue par les vents et les tempêtes et agitée par de violents courants traversiers, d'autant plus inhospitalière que la faible profondeur du plateau rocheux, à l'approche du rivage, favorise la formation de vagues déferlantes peu compatibles avec l'exécution d'un chantier maritime.



« En variante de la solution de base, qui prévoyait un creusement au tunnelier sur 150 m pour franchir la zone de marnage et de déferlement, EMCC a proposé de prolonger la galerie sur 620 m, indique Mickaël Morvan, le responsable du projet, ce qui permettait de déboucher en mer à une distance et à une profondeur suffisantes pour pouvoir travailler en sécurité avec le matériel maritime. Au-delà de ce point, l'offre prévoyait la mise en place d'un émissaire en PEHD de 900 mm de diamètre sur près de 950 m de long, et c'est la solution qui a été choisie. »

Après l'attribution du marché, en juillet 2005, EMCC reçoit l'ordre de service des travaux à la mi-janvier 2006. Tandis que l'émissaire est commandé chez Pipe Life, en Norvège, commence sur place, à partir d'un puits terrassé sur le rivage, le percement de la galerie à l'aide d'un microtunnelier Bessac de 1 850 mm de diamètre (diamètre fini de la galerie : 1 400 mm). De son

Patrick Belgeulle
Directeur général
adjoint
EMCC (VINCI
Construction France)

Jérôme Lefrançois
Directeur d'exploitation
TPC (VINCI Construction
France)

Mickaël Morvan
Ingénieur travaux -
Responsable du chantier
de l'émissaire
des Sables d'Olonne
EMCC

Photo 2

Sables d'Olonne. Acheminés depuis la Norvège, les trois tronçons de l'émissaire, longs de 310 m, arrivent dans l'estuaire de la Loire au début de l'été 2006

Sables d'Olonne. Conveyed from Norway, the three outfall sewer sections, 310 metres long, arrive in the Loire estuary in the early summer of 2006

Photo 3

Sables d'Olonne. 11 septembre 2006. Au terme d'un trajet de 75 milles depuis Saint-Nazaire, l'émissaire, remorqué par l'Hercule, arrive à destination. De nombreux bâtiments d'EMCC sont présents pour procéder à la manœuvre

Sables d'Olonne. 11 September 2006. Following a journey of 75 nautical miles from Saint-Nazaire, the outfall sewer, towed by the Hercules, arrives at its destination. Numerous EMCC vessels are present to carry out manoeuvring

EMCC : tournant environnemental pour des métiers centenaires



côté, EMCC met en chantier à la mi-avril la fouille du raccordement en mer galerie-émissaire, où doit prendre place une pièce de jonction en réduction 1400/900 mm conçue par le bureau d'études d'EMCC. La plate-forme auto-élevatrice de minage est ainsi la première unité d'EMCC à intervenir dans l'anse du Vieux-Moulin, pour réaliser dans le sous-sol rocheux par des fonds de 12 m sous le niveau des basses mers, la fouille de 3 m de large et de 1 à 5 m de hauteur de coupe, qui doit recevoir les premiers mètres de l'émissaire. À partir de juin, le relais est pris par le ponton Ar Menez et sa grue treillis de 120 t, qui terrasse la souille à la benne preneuse dans la zone minée puis dans les terrains sableux. Enfin, deux pieux de 25 m sont fon-



Photo 4

Sables d'Olonne. Au droit du point de raccordement, où deux pieux de repérage et de guidage ont été foncés, l'appareillage de lest en béton est prêt pour l'immersion de la conduite

Sables d'Olonne. At the level of the connection point, where two locating and guidance piles have been driven, the concrete ballast apparatus is ready for submersion of the pipe



Photo 5

Sables d'Olonne. Par 10 m de fond, c'est bien sûr un plongeur d'EMCC qui assure le raccordement de l'émissaire sur la pièce de liaison à la galerie souterraine

Sables d'Olonne. In water 10 metres deep, it is of course an EMCC diver who connects the outfall sewer to the underground gallery link part

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS : ÉMISSAIRE DES SABLES D'OLONNE

Maître d'ouvrage

Communauté de communes des Olonnes

Maître d'œuvre

Bureau d'études Payry

Pilote

Direction départementale de l'Équipement

Groupement attributaire

EMCC (mandataire) (galerie au tunnelier)

cés au débouché de la galerie, pour faciliter les opérations ultérieures de mise en place.

Jamais contre vents et marées

Pendant ce temps, les trois tronçons de 310 m de l'émissaire, livrés à Saint-Nazaire, reçoivent leurs anneaux de lestage en béton et sont raccordés, début août, par une équipe de la société Pipe Life dépêchée sur place pour souder les tronçons entre eux et raccorder aux extrémités les pièces de bridage destinées au diffuseur (côté océan) et au raccordement côté innel. « Tout était donc prêt pour la mise en place, raconte Mickaël Morvan... sauf la météo. Et comme les travaux maritimes ne s'exécutent jamais contre vents et marées, il a fallu attendre un créneau favorable jusqu'au 10 septembre. » Le jour venu, le 11 septembre, acheminée depuis Saint-Nazaire, à 75 milles marins de là par le remorqueur Hercule escorté par le Deauville, un multicat de fort tonnage d'EMCC, la canalisation est présentée dès 7h30 du matin, et après une ultime interruption, pour attendre que cessent les courants traversiers liés à la marée descendante, l'immersion complète de l'émissaire est achevée à 15h00. Il ne restait plus dès lors qu'à remblayer la souille et à mettre en place sur l'émissaire les 79 matelas de lestage en béton (6 t) destinés à le protéger et à le maintenir d'une part et à réaliser le raccordement avec la galerie forcée d'autre part.



Photo 6

Sables d'Olonne. Après l'immersion et le remblaiement de la souille, 79 matelas en béton sont mis en place sur la canalisation pour assurer sa protection et son maintien

Sables d'Olonne. Following submersion and backfilling of the trench, 79 concrete mattresses are put in place on the pipeline to provide protection and support for it

■ Cherbourg : un confinement utilitaire pour les sédiments du port

À la solution de traitement des sédiments pollués de l'avant-port et du bassin à flot, qui n'avaient pas été dragués depuis respectivement 1968 et 1974, le port de Cherbourg a préféré celle du confinement. Les 35000 m³ de matériaux extraits par EMCC seront ainsi stockés dans un casier étanche d'environ 250 x 60 m, et après remplissage et tassement celui-ci formera un terre-plein de 2,08 ha dans la partie sud de la darse des Mielles, dans la petite rade du port, qui pourra être utilisé comme zone supplémentaire de parking fret.

Lancé en mars 2006 avec les travaux proprement maritimes, le chantier a d'abord consisté, pour EMCC, à réaliser les dragages et déroctages préalables de l'emprise du corps de digue, à la cote - 8 C.M., avant d'y claper les enrochements nécessaires au buttage de l'ouvrage. Après quoi ont pu entrer en scène les équipes de TPC (mandataire) pour l'exécution de la digue d'enclôture, qu'elles ont réalisé en travail posté, y compris la nuit et en s'adaptant aux marées pour tenir un délai très serré. Les terrassements ont été effectués à partir du côté ouest de la darse et en différentes phases correspondant à la mise en place des matériaux du corps de digue et de sa carapace côté mer. Constituée pour



partie, comme le soubassement du casier, des déblais du chantier de contournement routier Est de la ville, le corps de la digue est protégé côté mer par une couche d'enrochement (éléments de 1 à 3 t) recouvrant une couche filtre, l'une et l'autre étant réalisées avec des matériaux extraits en partie des carrières de TPC. Une particularité d'exécution tenait à la grande hauteur de la digue (de - 5 à 7,80 C.M.) et à des tolérances de mise en place des matériaux n'excédant pas 10 cm. Intervenant à l'aveugle sous l'eau, les différentes pelles et grues mobiles ont donc été équipées de systèmes DGPS, afin que les opérateurs puissent visualiser sur

Photo 7

Cherbourg. Travaillant sous l'eau à grande profondeur et sans visibilité, les engins de TPC exécutant la digue d'enclôture étaient équipés de systèmes GPS permettant aux opérateurs de visualiser la position de leur outil par rapport au profil théorique de l'ouvrage

Cherbourg. Working underwater at a great depth and with no visibility, the TPC machinery executing the enclosing breakwater was equipped with GPS systems allowing the operators to view the position of their machines relative to the theoretical profile of the structure

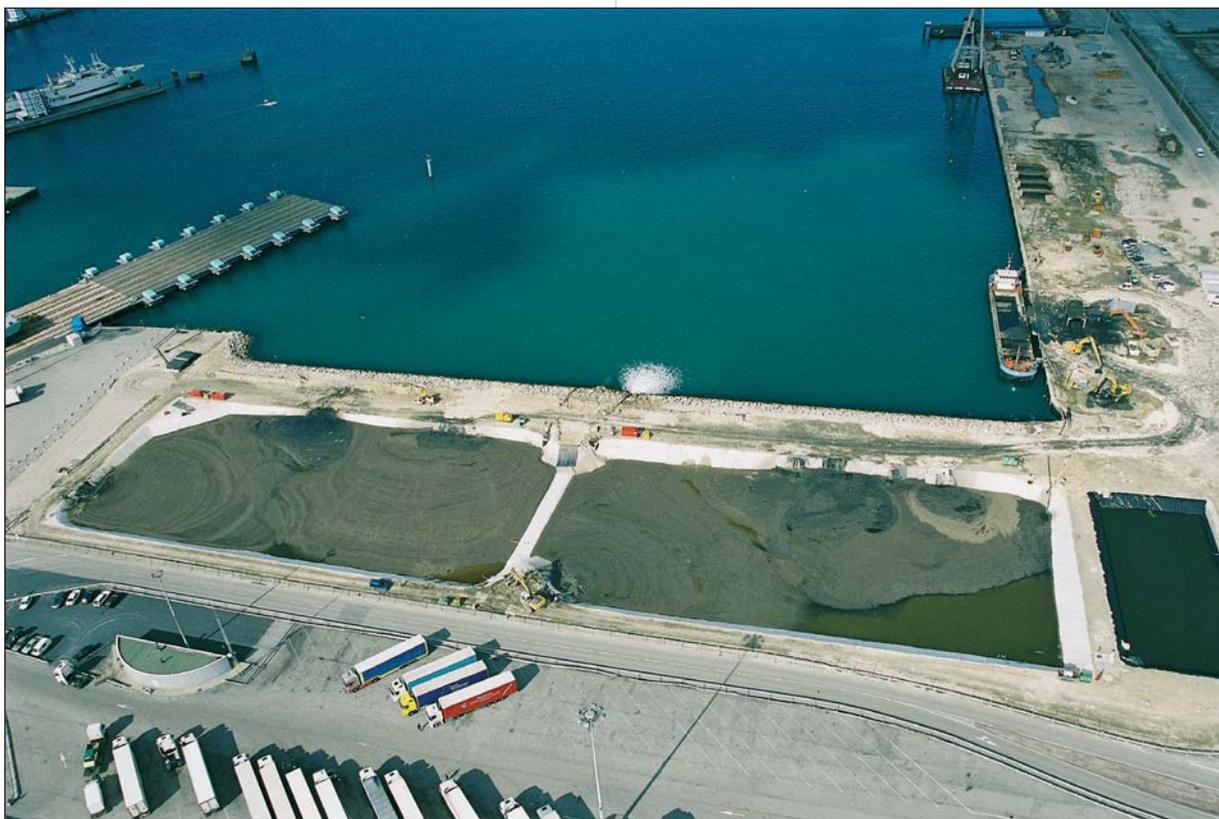


Photo 8

Cherbourg. Le casier de confinement en cours de remplissage. Acheminés depuis le site de dragage par la barge amarrée au quai à droite, les boues sont transportées par camions bennes jusqu'aux points de déversement dans les casiers. Sur la droite, le bassin de décantation où sont traitées les eaux d'essorage des sédiments

Cherbourg. The containment bin being filled. Conveyed from the dredging site by the barge moored to the quay on the right, the sludges are transported by skip trucks to the points of discharge into the bins. On the right, the settling tank in which the waters from sediment dewatering are treated

EMCC : tournant environnemental pour des métiers centenaires

Photo 9

Cherbourg. La mise en place de l'émissaire d'eaux pluviales de 1000 mm à un niveau inférieur à ce qui était prévu a dû se faire par flottaison puis coulage en interrompant le terrassement de la digue

Cherbourg. Laying of the 1000 mm rainwater outlet at a lower-than-planned level had to be performed by floating and then sinking it, interrupting earthworks on the breakwater



Des récifs artificiels pour repeupler les fonds marins

Affectée par la montée en force de l'enjeu environnemental, l'activité globale d'EMCC s'est aussi enrichie de nouvelles facettes liées à la protection active de l'environnement, tels le traitement des sédiments de dragage pollués, les barrages fluviaux flottants pour la récupération des déchets dérivants et, depuis 2003, la fabrication et la mise en place de récifs artificiels. De forme parallélépipédique, ces massifs de béton percés d'alvéoles dont les plus grands mesurent 10 m de haut (60 t) sont immergés dans des zones interdites à la pêche et sont petit à petit investis par la flore et la faune marine, favorisant la reproduction des poissons et la régénération du milieu naturel. Très répandus sur les côtes du Portugal, ces récifs artificiels ont été mis en place à titre expérimental en 2003 sur les côtes de l'île d'Yeu et du Croisic et font l'objet d'un suivi scientifique par le bureau d'études In Vivo. Deux projets d'aménagement, à Fécamp et à Marseille, sont en cours d'étude.

CHERBOURG : LES INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Ministère des Transports, de l'Équipement du Tourisme et de la Mer

Maître d'œuvre

Direction départementale de l'Équipement, subdivision maritime de Cherbourg

Groupeur attributaire

TPC (mandataire), EMCC et Marc SA



écran la position de leur outil (benne preneuse ou godet) par rapport au profil théorique de la digue.

D'autre part, TPC a été particulièrement perturbé par des arrivées d'eau de mer conséquentes à l'intérieur du casier et nécessitant la mise en place de moyens de pompage puissants (5 x 1000 m³/h) pour « essayer » de travailler à sec.

Surprise au pied du quai

Autre difficulté ou plutôt aléa du chantier, le groupement devait prolonger dans l'emprise des nouveaux casiers quatre canalisations d'eaux pluviales en béton : une de diamètre 1000 mm, une de 2400 mm, une de 800 mm et une autre de 600 mm.

Lorsque TPC a dégagé le pied du quai, il est apparu que deux des canalisations débouchaient 1 m plus bas que prévu, ce qui rendait impossible l'installation de ces canalisations (600 et 800 mm) par des moyens classiques et obligeait le groupement à suspendre le terrassement de la digue. Assemblée à terre et obstruée à chacune de ses extrémités, c'est finalement une conduite en PEHD Ø 1000 qui a été amenée par flottaison à l'aplomb de sa position définitive puis immergée, par la méthode dite du serpent, pour se substituer aux deux canalisations béton prévues.

La fermeture de la digue étant assurée, l'aménagement du casier étanche a pu commencer, avec la mise en place de la géomembrane étanche et d'un système de récupération des eaux d'essorage des sédiments. Captées par un réseau de drains inséré dans un lit de



Photo 10

Cherbourg. Séparé en deux par la conduite d'eaux pluviales de 2500 mm, le casier de confinement est équipé dans sa partie ouest de la géomembrane étanche où va être mis en place le système de drainage horizontal des sédiments

Cherbourg. Divided in two by the 2500 mm rainwater pipe, the western part of the containment bin is fitted with the watertight geomembrane barrier on which the horizontal sediment drainage system will be set up

sable recouvert d'un géotextile perméable, ces eaux seront pompées et acheminées vers un bassin de décantation, côté Est, équipé d'un séparateur d'hydrocarbures, avant d'être rejetées en mer.

Au terme du remplissage, vers la fin janvier 2007, un second système de drainage, par drains verticaux à mèche cette fois, sera installé puis 4 m de déblais seront mis en œuvre en préchargement sur les sédiments. Une fois consolidé, le terre-plein devrait recevoir un premier revêtement au seuil de l'été 2008. ■

CHERBOURG : LES CHIFFRES DU CHANTIER

- Dragage de souille de digue : 60 000 m³
- Déroctage de la souille : 4 500 m³
- Tout-venant : 450 000 t
- Enrochement et filtre : 48 000 t
- Géomembrane : 1,8 ha
- Sable : 60 000 t
- Drains à mèche (drainage vertical) : 14 000 m
- Délai de réalisation : 51 semaines (y compris les 15 semaines de la phase de préchargement)
- Montant du marché : 8,8 M€ (TTC)

ABSTRACT EMCC : historic environmental turning point for ancient work practices

P. Belgeulle, J. Lefrançois, M. Morvan

In maritime and river works, the fields of application change more than work practices, but since the 1990s, changing regulations and the growing importance of environmental concerns have been directly impacting activity. Illustration with two recent projects : the outfall sewer discharging into the sea the effluents from the Sables d'Olonne water treatment plant, executed by EMCC (VINCI Construction France), and the construction of a containment bin for port dredging sediments, in Cherbourg, executed by TPC (VINCI Construction France) with EMCC.

RESUMEN ESPAÑOL EMCC : reestructuración medioambiental para actividades profesionales centenarias

P. Belgeulle, J. Lefrançois y M. Morvan

Al tratarse de los trabajos marítimos y fluviales, los campos de aplicación cambian muy a menudo que las profesiones, pero desde los años 1990, la evolución de la normativa y la importancia cada vez mayor del medio ambiente tienen un impacto directo sobre la actividad. Ilustración con dos obras recientes : el emisario submarino de vertido en el mar de los efluentes de la planta de tratamiento de las aguas de Les Sables d'Olonne, ejecutado por EMCC (VINCI Construction France), y la construcción de un compartimento de contención para los sedimentos de dragado del puerto, en Cherbourg, realizado por TPC (VINCI Construction France) conjuntamente con EMCC.

L'ouvrage hydraulique

Un chantier école du

Construire en grandeur réelle, voilà le souhait de tous les jeunes qui suivent les formations de génie civil au lycée Caraminot (ex-Enp). En effet, quoi de plus formateur que de concevoir puis réaliser – guidé par des enseignants – pour revenir sur des choix techniques?

Prendre le temps d'apprendre! Avoir le droit à l'erreur! En situation l'étudiant est acteur de sa formation, il ne la subit pas, il la vit. Quelle différence et quelle source de motivation pour le jeune et l'enseignant!

Photo 1

Amont de l'ouvrage des buses de l'existante

Upstream of the structure, the existing culverts



Photo 2

Aval de l'ouvrage avec l'érosion

Downstream of the structure with erosion



■ Pourquoi un chantier école?

L'ouvrage hydraulique du contournement d'Égletons (année 2000), l'aménagement urbain des abords du bâtiment central du lycée (année 2003), l'aménagement urbain autour d'une salle des fêtes de la ville d'Égletons (année 2005) : voici quelques chantiers de dimensions modestes qui ont permis aux professeurs de génie civil de développer des cours théoriques sur des cas concrets à l'intention des promotions sortantes de techniciens supérieurs en Travaux publics.

Réceptionner des marchandises. Effectuer le suivi de chantier. Dialoguer avec les intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, fournisseurs, élus, entreprises...). Diriger une équipe. Compléter les rapports journaliers... Voici une liste non exhaustive des compétences que doit acquérir un technicien supérieur et qu'il est difficile de développer correctement dans une salle de cours.

■ Pourquoi la reconstruction de l'OH

Le projet consiste à rétablir la libre circulation piscicole sur le ruisseau de la « Femme morte ». Il est classé au titre du code de l'environnement pour la protection des poissons migrateurs, qui doivent pouvoir remonter le cours d'eau à n'importe quelle période de l'année.

L'amont de l'OH est un lieu de frai, or l'actuelle configuration ne permet plus aux truites fario d'effectuer leur migration (photo 2).

L'ouvrage existant, nettement sous-dimensionné du point de vue hydraulique, provoque fréquemment des inondations en amont.

Par conséquent, il est envisagé de démolir l'ouvrage actuel et de reconstruire un pont cadre ayant une section hydraulique appropriée pour assurer une crue de fréquence centennale ($7 \text{ m}^3/\text{s}$).

■ État des lieux (photos 1 et 2)

L'ouvrage existant est constitué par l'association de deux buses béton de $\text{Ø} 800 \text{ mm}$ dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ouverture totale : 1,60 m ($2 \times 0,80 \text{ m}$);
- longueur totale : 15,00 m avec un biais de 40 grades;
- largeur du ruisseau : 2,00 m.

Il présente des affouillements en partie aval et un dénivelé important de 0,70 m de hauteur entre le dessus du radier et le fond du ruisseau (photo 1). Les berges sont affouillées en continuité côté aval sur environ

Photo 3

STS TP promo 2005-2007 en aval de l'OH

STS TP class of 2005-2007 downstream of the hydraulic structure



de la « Femme morte » lycée Caraminot d'Égletons

20,00 m. Une végétation parasite se développe sur le remblai côtés amont et aval.

L'ouvrage supporte une voie communale (largeur 3,00 m et 2,50 m accotement) dont le trafic poids lourds dépend essentiellement de la circulation de tracteurs agricoles avec remorques, et semi-remorques d'exploitants forestiers.

Cette voie peut être totalement coupée pendant les travaux sans préjudice pour les riverains.

Le Conseil supérieur de la pêche (CSP) chargé du contrôle de la réglementation sur l'eau nous a demandé de réfléchir aux problèmes et d'apporter des solutions.

■ Le projet : trois échéances pour les étudiants (photo 3)

Conception : janvier et février 2006

Relevé de l'ouvrage existant, dimensionnement hydraulique de l'OH, rédaction des pièces écrites techniques (CCTP, cadre du bordereau de prix, PGC estimatif) et élaboration des plans.

Le projet est décomposé en trois lots :

- lot 1 : démolition, terrassement, retalutage des berges et bassins;
- lot 2 : réalisation de l'OH;
- lot 3 : réfection des chaussées.

Mars 2006 : présentation du projet par les étudiants, devant les différents intervenants et partenaires (modifications éventuelles) et approbation du projet définitif.

Les lots 1 et 3 ont fait l'objet d'un appel à la concurrence.

Méthodes : avril et mai 2006

Définition des méthodes de réalisation de l'OH. Plan des coffrages, définition des besoins (matériels et matériaux), bons de commande, études comparatives, choix des différents fournisseurs, réservations des matériels (location...).

Élaboration des documents servant au chantier : documents de contrôle, de suivi de chantier...

Juin 2006 : signature du marché des lots 1 et 3, avec l'entreprise adjudicataire Marut.

Réalisation : septembre et octobre 2006

- Démolition et terrassement (lot 1) par l'entreprise Marut.
- Réalisation de l'OH (lot 2) par les étudiants encadrés de l'équipe pédagogique.

- Réalisation des compactages et des seuils à poissons. Il était impératif de restituer le cours d'eau à son état initial avant Toussaint pour permettre la migration des poissons.

■ Missions confiées aux étudiants du lycée Caraminot

- Dimensionner l'ouvrage du point de vue hydraulique.
- Élaborer tous les relevés et plans.
- Proposer une solution technique chiffrée.
- Rédiger les pièces techniques liées à l'appel d'offres.
- Préparer et organiser les travaux.
- Réaliser les travaux de construction de l'ouvrage hydraulique.
- Réaliser les travaux connexes (seuils, remblais techniques).
- Effectuer les contrôles et de respecter les normes environnementales.
- Compléter les rapports journaliers.
- Effectuer le suivi des quantités mises en œuvre ainsi que le suivi financier.

■ Présentation de l'ouvrage

Après études en salle de projet au lycée Caraminot, accompagnés par MM. Genier et Meilhac, les étudiants ont proposé :

- un pont-cadre (radier, piédroits et traverse) d'une section intérieure de 1,80 m en hauteur, 1,50 m de largeur et d'une longueur de 22,50 m avec une pente de 1,5 % ceci permettant de réduire le dénivelé;
- un biais de 50 grades qui facilitera l'écoulement des eaux;
- la création de deux prébassins en aval, en maçonnerie de moellons, d'une longueur de 4,80 m chacun réduisant ainsi les chutes d'eau à une hauteur maximale de 15 cm;
- un reprofilage à l'intérieur de l'OH en maçonnerie de galets (photo 4), afin de concentrer la lame d'eau sur une largeur de 25 cm et de 15 cm de hauteur et une géométrie adaptée en forme de V de la partie supérieure des prébassins. Cet aménagement permettra la remontée des poissons en période d'étiage;
- un enrochement en blocs (500 kg) réduisant l'érosion des berges amont et aval.

Le dimensionnement de l'OH, béton et armatures, est confié au bureau d'études ATI de Brive. L'épaisseur du cadre est de 25 cm.



Claude Genier¹
Enseignant Génie civil
Lycée Pierre Caraminot



Alain Meilhac²
Enseignant Génie civil
Lycée Pierre Caraminot



Élodie Pujol
Ancienne élève de MOP.
Étudiante STS TP
Lycée Pierre Caraminot



Sylvain Guérin
Technicien rivière
Communauté
de communes
de Ventadour

Ont également participé à la rédaction de l'article, pour les traductions des résumés : Claudine Bascoulergue (anglais) et Valentin Cordero (espagnol).

1 et 2. MM. Genier et Meilhac sont les pilotes de ce chantier école.



Photo 4

Aval. Les deux prébassins. Aménagement en galets à l'intérieur de l'OH

Downstream. The two preliminary basins. Development with rubble inside the hydraulic structure

L'ouvrage hydraulique de la « Femme morte ». Un chantier école du lycée Caraminot d'Égletons

Planning de réalisation de l'OH

N°	TACHE	Semaine 38 (sept)	Semaine 39 (sept)	Semaine 40 (Oct)	Semaine 41 (Oct)	Semaine 42 (Oct)	Semaine 43 (Oct)
1	Gestion et Approvis.						
2	Préfa prédalles et acrotères (lycée)						
3	Béton Propreté						
4	Radier						
5	Piédroit rive gauche						
6	Piédroit rive droite						
8	Traverse Supérieure						
9	Maçonnerie en galets						
10	Étanchéité et drainage						
11	Compactage						
12	Pré bassins en moellons						
13	Rangement repliement						

Figure 1
Planning de réalisation de l'ouvrage
Project work schedule

Photo 5

Ruisseau dérivé.
Plate-forme de l'OH
en cours
*Diverted stream.
Hydraulic structure
platform in progress*



Photo 6

Coulage piédroit.
Vue du becquet
*Pouring the side wall.
View of the drip cap*



■ Plan de financement

La démarche de Sylvain Guérin est de trouver un plan de financement du projet et d'effectuer le suivi du chantier :

- Dotation globale d'équipement (GE) financement d'État alloué aux collectivités publiques : 57 % ;
 - Agence de l'Eau Adour Garonne : 23 % ;
 - Communauté de communes de Ventadour : 20 %.
- Le montant des travaux est estimé à 90 000 € HT.

■ La réalisation de l'OH du 18 septembre au 25 octobre 2006 (figure 1)

L'implantation des terrassements généraux est confiée aux étudiants sous le contrôle de M. Berthéas enseignant de topographie.

La démolition des buses et les terrassements (lot 1) sont exécutés les semaines 36 et 37.

L'entreprise Marut a dérivé le ruisseau et réalisé la plate-forme prête à recevoir l'OH (photo 5).

La section de TS TP compte 30 étudiants, nous avons décidé d'affecter une demi-classe sur le chantier pendant que l'autre demi-classe est en cours d'enseignement général. Durant 6 semaines de travaux chaque étudiant est intervenu 3 semaines et a participé alternativement aux fonctions d'exécutant et de chef d'équipe. L'effectif des 15 étudiants est organisé en quatre équipes, comportant chacune un chef d'équipe. À tour de rôle un étudiant à la responsabilité d'une équipe (de deux ou trois étudiants) affectée à une tâche précise.

■ Exemple d'organisation pour l'une des quatre équipes de la semaine 41

Équipe 2. Réalisation du piédroit rive droite (photos 6 et 7)

Chef d'équipe : S. Merle. Ouvriers : G. Noyé, G. Plaze, Y. Spréfico

Planification sommaire de la semaine. Prévoir les approvisionnements et les stockages. Implantation du voile. Préparation et mise en place du coffrage (banches Doka Frami). Mise en place des armatures. Coulage et essais laboratoire. Nettoyage des coffrages et mise sur palettes.

Effectuer les contrôles en fonction de l'avancement : contrôles du radier (largeur talonnette, attentes voile...). Point d'arrêt avant coulage.

Observations :

- prendre connaissance de l'avancement des travaux ;

- date prévisionnelle du coulage le mardi 10 octobre;
- le CE a la charge de compléter les rapports journaliers et d'effectuer le suivi des quantités mises en œuvre.

Choix de construction

Le radier (photo 8)

Les coffrages en bois sont fabriqués dans l'atelier et le ferrailage est assemblé, par tronçons, sur l'aire du chantier. Cette méthode a permis de commencer le radier alors même que la plate-forme n'était pas terminée.

Les piédroits

L'utilisation des banches manuportables, type Doka Frami, a permis une mise en place manuelle (photo 7). Le piédroit se termine par un becquet (photo 6) en partie supérieure. Il est coffré à l'aide d'un Stremaform. Une attention particulière a été apportée pendant le coulage car le becquet devait avoir une épaisseur maximum de 7 cm pour assurer la mise en place des prédalles. Cette solution dispensait du coffrage de rive de la traverse.

La traverse

La traverse supérieure est réalisée avec des prédalles et acrotères préfabriqués (photo 9), dans l'atelier génie civil du lycée. Cette méthode évite de coffrer sur place et a l'avantage de proposer aux étudiants une étude de conception de moule en bois, puis sa réalisation. Notre centrale à béton (malaxeur 160 l par gâchée) est utilisée pour la fabrication du béton selon la formulation étudiée en laboratoire avec M. Breyse. Les résultats des essais de compression ont montré une résistance de 11 MPa à 24 heures et 40 MPa à 28 jours avec un ciment de classe 52,5 N.

Il fut nécessaire de louer un engin de levage (établissement Bredèche d'Ussel) pour la mise en place des prédalles. Les étudiants ont dû choisir l'engin – élément de 700 kg à 17,00 m – prévoir la position et l'installation de la grue mobile et coordonner la livraison des éléments préfabriqués avec le chargement pour réexpédition des banches Doka au fournisseur.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 45 m³ de béton C12/15 et C30/37- Ets Bredèche (Égletons)
- 3 t d'armature - Solifer - Pierre Buffière
- 100 m² de banches - Doka Frami (Lyon)
- 10 t de galets et 18 t de 0/5 et 5/15 Bâtiland Farges (Argentat)
- Durée des travaux 10 semaines de début septembre à mi-novembre 2006



Photo 7

Ferrailage d'un piédroit
Reinforcements for a side wall



Photo 8

Coffrage traditionnel et ferrailage du radier
Traditional formwork and foundation raft reinforcements



Photo 9

Prédalles réalisées. Coffrage acrotère
Completed formwork slabs. Parapet wall formwork

L'ouvrage hydraulique de la « Femme morte ». Un chantier école du lycée Caraminot d'Égletons

Photo 10

Prédalles et acrotère
préfabriqués mis en place.
Sécurité avant coulage
*Prefabricated formwork slabs
and parapet wall put in place.
Safety before pouring*



Photo 11

Aménagement intérieur
de l'OH en galets
*Rubble development work
inside the hydraulic structure*



Photo 14

Les intervenants et élus
Those involved in the work and politicians



Cette expérience très enrichissante, s'est traduite par une durée minimum d'immobilisation de l'engin de 2h00 (hors transfert) (photo 10).

Les étudiants qui ont souvent des difficultés à se projeter dans un contexte de chantier avec toutes ses contraintes – profil du terrain, présence d'une ligne électrique, position des ouvriers pendant la manutention, encombrement des engins etc. – ont pu, en situation réelle, constater eux-mêmes, vivre les difficultés et en tirer une expérience pour leur futur métier.

■ Aménagement intérieur en galets et réalisation des prébassins (photos 4 et 11)

Les étudiants ont travaillé en étroite collaboration avec les représentants du CSP.

Pour l'aménagement de l'intérieur de l'OH, ils ont scellé des galets, en sinusoïde, afin de réduire la lame d'eau et son écoulement en période d'étiage. Des galets de plus gros diamètres permettent de créer des remous et zones de calmes pour faciliter la remontée du cours d'eau par les poissons migrateurs.

Toutes les maçonneries sont réalisées avec des bétons et mortiers fabriqués sur le chantier à la bétonnière (6 m³). Pour construire les prébassins, ils ont fabriqué des gabarits en planches (photo 12) afin d'assurer la forme trapézoïdale requise. Un soin particulier est apporté à la forme en V, surtout pour respecter la hauteur de chute de 15 cm entre les deux bassins.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS (photo 14)

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre
Communauté de communes de Ventadour

Maîtrise d'œuvre associée
Lycée Caraminot (Égletons)

Contrôle loi sur l'eau
Mission Inter-service de l'Eau de la Corrèze

Assistance technique
Conseil supérieur de la Pêche (Clermont-Ferrand)

Bureau d'études structures
ATI (Brive)

Contrôles techniques
Socotec (Brive) et Laboratoire départemental des Ponts et Chaussées (Tulle)

Entreprises
• Lots 1 et 3 - Entreprise Marut - Lapeleu
• Lot 2 - Lycée Caraminot

Quelques points de vue

Sylvain Guérin (Communauté de communes de Ventadour)

Le projet de réfection du pont de la « Femme Morte » s'inscrit dans le cadre de notre compétence « Protection et mise en valeur de l'environnement » et plus précisément en matière de gestion des cours d'eau.

Cette opération, au départ imposée par la nécessité de rétablir le franchissement piscicole, était l'occasion pour la Communauté de Communes de fournir un sujet d'étude concret en matière de travaux publics au lycée Caraminot.

Ce projet a permis de lier un premier partenariat riche d'expériences, et ceci malgré les contraintes administratives.

Au vu, de l'assiduité, l'investissement, et le professionnalisme dont ont fait preuve les étudiants, on peut dire que ce premier chantier est une réussite tant au niveau technique qu'humain. Ils ont su prendre en compte et s'intéresser aux particularités environnementales de ce chantier particulièrement pointu et ardu en matière de franchissement piscicole et pour cela nous les félicitons.

Élodie Pujol (étudiante au lycée Caraminot)

Après la filière MOP du lycée Caraminot et l'obtention du Bac STI CI, j'ai intégré la STS TP.

Dans le cadre de notre formation, nous avons eu le privilège d'effectuer un chantier école sur le lieu-dit de la « Femme morte ». Cette expérience nous a beaucoup appris du point de vue technique grâce à la réalisation de l'ouvrage, mais aussi administratif en effectuant le suivi du chantier, les rapports journaliers, bons de commande... Il nous a également permis d'acquérir plus d'autonomie et une meilleure organisation pour entrer dans la vie active.

Ce chantier est également une expérience professionnelle supplémentaire à porter sur nos CV, expérience très prisée par les entreprises.

Selon moi ces travaux pratiques devraient être imposés dans les référentiels de formation.



Photo 12

Prébassin maçonné en moellons. Gabarit de montage
Preliminary basin built with quarry stones. Assembly template

■ Sécurité et environnement

(photo 10)

Afin de respecter les normes actuelles, les phases de conception et de préparation du chantier ont posé les problèmes de la prévention des risques et de la prise en compte de mesures de protection de l'environnement. Les étudiants ont réfléchi et proposé des solutions concrètes et adaptées de prévention des accidents. Outre les mesures minimales obligatoires – port du casque, gants, protection des aciers en attente, garde-corps – les accès aux postes de travail ont été étudiés de manière à prévenir les chutes de plain-pied et glissades (escaliers, plates-formes de circulation en bois, etc.). Des zones clairement identifiées, pour la préfabrication des armatures et le rangement des coffrages, furent définies. Enfin chaque soir, le chantier devait être rangé et nettoyé.

Dans le domaine de protection de l'environnement, la préoccupation première a été d'éviter la pollution du ruisseau. Les étudiants ont proposé de revêtir la dérivation d'un géotextile afin d'éviter l'entraînement de fines. Ils ont utilisé un ancien bras mort de ruisseau comme une fosse de décantation pour vidanger et filtrer les eaux de lavage des camions toupies, et les eaux provenant du pompage des fouilles des seuils avals avant bétonnage.

■ Conclusion et réflexion

Cette méthode d'enseignement permet au jeune, non seulement d'apprendre son futur métier de responsable de chantier, mais aussi de se construire et d'affirmer sa

personnalité. Les relations humaines se révèlent naturellement lors d'un chantier école.

La motivation et l'implication de nos étudiants attestent qu'ils peuvent être exemplaires et bénéficier de notre confiance. Ce fut une fois encore prouvé dans le cadre de leur travail sur le lot 2 de ce chantier, réceptionné et mis en eau le 7 novembre 2006 (photo 13).

Photo 13

Mise en eau. Vue de l'aval
First filling. Downstream view



L'ouvrage hydraulique de la « Femme morte ». Un chantier école du lycée Caraminot d'Égletons

Voilà plus de 10 ans que le lycée Caraminot s'est doté d'une cellule emploi (CLEF). En 2006, le lycée a reçu plus de 220 offres d'emploi pour les TS EEC (Études économie de la construction) et les TS Travaux publics.

Les métiers du BTP ont changé, les formations aussi, nous devons informer les collégiens et leurs parents. Pour ceci toutes les compétences et bonnes volontés doivent travailler ensemble. ■

QUELQUES DONNÉES SUR LE LYCÉE PIERRE CARAMINOT

- Proviseur : Jean-Paul Lamorille
- Proviseur adjoint : Bernard Chaumeil
- Chef des travaux : Jean-Paul Trichard
- Effectif élèves et étudiants :
 - > 750 élèves dont 450 internes (plus important internat de l'Académie de Limoges)
 - > 105 enseignants dont 35 en génie civil
- **Formations Bâtiment et Travaux publics** (recrutement national)
 - > Brevet d'études professionnelles techniques de l'architecture et de l'habitat
 - > Baccalauréat sciences et techniques industrielles génie civil
 - > Brevet de technicien encadrement de chantier
 - > Brevet de technicien supérieur études et économie de la construction
 - > Brevet de technicien supérieur travaux publics
- **Formation Insertion**
 - > M.O.P. (module de réorientation professionnelle). Formation en direction de jeunes terminales (autre que génie civil) pour une mise à niveau technique afin de pouvoir intégrer l'enseignement supérieur
- **Formations Génie mécanique**
 - > Brevet d'études professionnelles maintenance de systèmes mécaniques automatisés
 - > Baccalauréat professionnel maintenance de systèmes mécaniques automatisés
 - > Baccalauréat sciences et techniques industrielles génie mécanique
 - > Brevet de technicien supérieur mécanique et automatismes industriels
 - > Brevet de technicien supérieur productique mécanique
- **Formations générales**
 - > Baccalauréat général série S

Coordonnées :
28, avenue de Ventadour
19300 Égletons
Tél. : +33 (0)5 55 93 13 19
Fax : +33 (0)5 55 93 24 52
Internet : www.lyceecaraminot.com

ABSTRACT

The hydraulic structure on "Femme morte" stream. A school project of Caraminot d'Égletons secondary school (formerly ENP)

Cl. Genier, A. Meilhac, É. Pujol, S. Guérin

The project on the stream called "la Femme morte" is a site realized by our students studying for an HND specialized in public works, in Lycée Caraminot, Egletons. They worked on the design, the methods and finally the realization, including particular technical points for this work enabling migrating fish to swim upstream. Pebbles and two pools were installed upstream in order to reduce the depth of water necessary for the Fario-type trout to be able to find their spawning place upstream. Realizing works in their full scope must be the main priority of our teaching. It is a source of motivation and involvement for our pupils and students.

RESUMEN ESPAÑOL

La obra hidráulica de la "Femme morte". Una obra de instrucción del liceo Caraminot en Égletons (ex ENP)

Cl. Genier, A. Meilhac, É. Pujol, S. Guérin

La obra hidráulica sobre el arroyo de « La Mujer Muerta » es una obra de construcción del curso de « Técnico Superior en Obras Públicas » del Instituto Pierre Caraminot de Egletons. El objetivo era realizar un trabajo sobre el arroyo destinado a permitir a los peces migratorios remontar río arriba. Los estudiantes han llevado a cabo desde la concepción hasta la realización esta obra que necesitó solucionar puntos técnicos particulares. Una disposición en guijarros y dos dársenas reduce el nivel del agua para las truchas Fario, que necesitan remontar río arriba hasta su lugar de desove. Realizar en tamaño real tiene que ser la prioridad de nuestra enseñanza, aquí es donde se encuentra una fuente de motivación para nuestros alumnos y estudiantes.