

# Travaux

n° 797

- La Meuse : les crues et les risques d'inondation
- Structures souterraines pour des bassins d'orage
- De la conception à la réalisation : une gestion maîtrisée de l'environnement
- Captage des eaux souterraines par puits à drains rayonnants
- Chengdu n° 6 Water Plant B, un projet pour l'eau en Chine
- Dépollution des eaux pluviales. Collecteur ZOH Grigny
- Usine de dépollution des eaux usées de l'agglomération valentinoise
- Protection côtière par tubes conteneurs brise-lames. La plage de l'Amélie (Médoc)
- Modernisation des postes 415-416 au port de Bordeaux Bassens
- Synthèse sur le système des attestations de conformité sanitaire françaises concernant les matériaux au contact des eaux destinées à la consommation humaine
- L'eau a son école à Strasbourg



Eau

# Sommaire

**Travaux**  
numéro 797

mai 2003

Eau



Notre couverture

Bassin d'orage à Lievin  
17 000 m<sup>3</sup> de capacité

© Eco Espace de Lievin / Soletanche  
Bachy

## DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

## RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 44 13 31 44

## SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart  
Tél. : (33) 02 41 18 11 41  
Fax : (33) 02 41 18 11 51  
Francoise.Godart@wanadoo.fr

## VENTES ET ABONNEMENTS

Agnès Petolon  
9, rue Magellan - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 40 73 80 05  
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 163 € TTC  
Etranger (11 numéros) : 200 €  
Etudiants (11 numéros) : 56 €  
Prix du numéro : 20 € (+ frais de port)

## MAQUETTE

T2B & H  
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris  
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

## PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle  
Isabelle Duflos  
61, bd de Picpus - 75012 Paris  
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat  
Saint-Just la Pendue (Loire)

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).  
Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (Code pénal, article 425).

## Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n° 0106 T 80259



éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

techniques  
et matériaux

11

matériels

13

PRÉFACE

Claude Camilleri

15

◆ La "Meuse" : les crues et les risques d'inondation.  
Aménager et prévoir  
- *The Meuse River : flood waters and risks of flooding.  
Develop and plan*  
D. Bertel

16

◆ Structures souterraines pour la réalisation de bassins  
d'orage  
- *Underground structures for setting up stormwater tanks*  
J. Landrot

22

◆ De la conception à la réalisation : une gestion  
maîtrisée de l'environnement  
- *From design to construction : controlled management  
of the environment*  
Divers auteurs

28

◆ Captage des eaux souterraines par puits à drains  
rayonnants  
- *Groundwater catchment by radial well*  
Ch. Archambault, P. Galtier, A. Jouty, O. Murzilli

36

◆ Chengdu N°6 Water Plant B, un projet pour l'eau  
au cœur de la Chine. Extension des structures  
de production d'eau potable de Chengdu, quatrième ville  
de Chine  
- *Chengdu N°6 Water Plant B, a water project  
in the heart of China. Extension of the potable water  
production structures in Chengdu, the fourth largest city  
in China*  
A. Ambrosini

48

# Sommaire

mai 2003

Eau

Dans les prochains numéros

- Terrassements
- Recherche et innovation
- Environnement
- Travaux urbains
- Réhabilitation d'ouvrages
- International
- Ponts
- Routes
- Sols et fondations



◆ Dépollution des eaux pluviales. Collecteur ZOH Grigny  
- *Pollution removal from rainwater. Main drain in Grigny residential area*

*Th. Bauer, H. Sauvestre*

55



◆ Usine de dépollution des eaux usées de l'agglomération valentinoise : le chantier mois par mois

- *Sewage pollution control plant in the Valence urban area. The project month by month*

*R. Mégnegnéau*

60



◆ Protection côtière par tubes conteneurs brise-lames. Cas de la plage de l'Amélie dans le Médoc

- *Coastal protection by breakwater container tubes. Case of l'Amélie Beach in the Médoc region*

*O. Artieres, M. Dunand, Fr. Durand*

65



◆ Modernisation des postes 415-416 au port de Bordeaux Bassens

- *Modernisation of berths 415-416 in Bordeaux Bassens Port*

*H. Duplaine, J. Garrissou, J.-Y. Coutures*

71



◆ Synthèse sur le système des Attestations de conformité sanitaire (ACS) françaises concernant les matériaux au contact des eaux destinées à la consommation humaine

- *Synthesis regarding the French Sanitary Conformity Certificates (ACS) system concerning materials in contact with water intended for human consumption*

*P. Pellarin, A. Khadir*

76



◆ L'eau a son école à Strasbourg

- *School for water studies in Strasbourg*

*D. Loudière*

80

**ABONNEMENT TRAVAUX**

Encart après p. 48

répertoire des fournisseurs

87

## INDEX DES ANNONCEURS

ALPHACAN .....	46 ET 47	PRO BTP .....	2È DE COUVERTURE
CNETP .....	70	SADE .....	54
EUROFILTRATOR.....	11	SIPLAST ICOPAL.....	21
FRANCE GABION.....	2	SOTRES .....	7
HOBAS.....	13	TOTAL FINA ELF FRANCE ..	4È DE COUVERTURE
IHC.....	4	TUBOSIDER.....	4

# Un leadership mondial en danger

Avec un nombre considérable de grandes réalisations en eaux potables ou résiduaires en Europe et dans le monde, rares sont les domaines où l'industrie française possède un tel leadership que celui de l'eau. Plus de 80 capitales dans le monde ont été équipées par des entreprises françaises en eaux potables ou résiduaires.

On peut trouver de nombreuses raisons à cette situation notamment historiques, mais deux d'entre elles doivent retenir plus particulièrement notre attention, car elles conditionnent le maintien de ce leadership et l'avenir de cette profession. En fait l'origine de ce leadership est à la fois structurelle et technique.

Structurelle car les succès à l'exportation concernent de grandes villes, voire des capitales, et que l'aboutissement de tels projets nécessite une dimension qui ne peut être apportée que par de grands groupes. Mais structurelle également parce que, de par leur passé, ces grands groupes sont capables d'apporter un service complet depuis la conception architecturale et technique, la réalisation clé en main mais aussi l'expérience de l'exploitation et parfois le financement.

Technique parce que les entreprises françaises ont su développer des technologies performantes à la pointe du progrès dans ce domaine où les cahiers des charges sont de plus en plus complexes pour répondre à des exigences de plus en plus sévères.

Il ne peut y avoir de développement technologique sans recherche fondamentale et appliquée. Or cette recherche est coûteuse et ne peut être pratiquée que par des entreprises, qu'elles soient importantes ou modestes, qui ont pu dégager sur leurs profits les moyens financiers nécessaires.

Ce leadership est aujourd'hui menacé mais la menace ne vient pas de l'extérieur mais de l'intérieur. Elle est française.

En premier lieu parce que bien que ce secteur soit en France en plein développement, les marges des entreprises se réduisent dangereusement. Le coût des offres en particulier augmente du fait de cahiers des charges qui deviennent déraisonnables, notamment du fait de la surenchère des maîtres d'œuvre dans un marché qui est pour eux de plus en plus concurrentiel. Mais également par le fait qu'il est souvent imposé, dans les offres, une solution de base, qui ne sert qu'à comparer les prix, solution coûteuse à chiffrer et inutile puisque, dans la plupart des cas, elle ne sera pas réalisée.

En second lieu parce que, dans le domaine urbain qui représente l'essentiel du marché de l'eau, la structure de ce marché est basée jusqu'à présent sur des appels d'offres sur performance ou de conception réalisation. Ce type de marché a conduit nos entreprises à faire un effort considérable de recherche, pour être les meilleures non seulement sur les prix, mais aussi sur la conception et la technologie. A l'inverse, dans certains pays notamment anglo-saxons, la

conception est le fait de consultants qui n'ont en général pas la surface nécessaire pour financer de la recherche et surtout pour en garantir les résultats. C'est d'ailleurs l'une des raisons du succès de nos entreprises à l'exportation, puisqu'elles sont capables d'offrir ce service complet avec des technologies plus performantes.

Or, pour des raisons parfois idéologiques ou personnelles, il existe aujourd'hui une tendance à pousser les maîtres d'ouvrage à choisir l'option anglo-saxonne de projet de consultant et de *shopping list* de fournisseurs. Outre qu'elle n'apporte aucune garantie sérieuse au maître d'ouvrage sur les délais, les prix et surtout les performances, cette solution le prive des meilleures techniques, car une station d'eau potable ou de traitement d'eau usée moderne n'est plus un assemblage d'équipements classiques mis bout à bout mais

un ensemble homogène de haute technologie. Une station d'épuration par exemple n'est plus aujourd'hui une station que l'on cache, bien au contraire. Les technologies innovantes ont permis de réduire la taille des installations et ainsi d'en maîtriser plus aisément les inconvénients tels que les bruits et les odeurs. On peut ainsi les construire au centre des villes et non plus à la périphérie de plus en plus éloignée par suite du développement de ces villes et avec des réseaux de plus en plus coûteux.

On ne peut exporter, surtout dans les pays développés, de telles installations que parce qu'elles ont été expérimentées industriellement dans notre pays. Il est donc indispensable que le marché national soit plus que jamais la vitrine technologique de nos industries, et donc que celles-ci maintiennent leur niveau de recherche et de réalisations exemplaires pour garder cette avance. Et pour cela il faut que la structure des marchés le leur permette. D'autant plus que la solution du

clé en main est la seule qui soit à même de garantir à la fois les prix, les délais et les performances.

En France il y a encore beaucoup à faire pour répondre aux directives européennes, alors que notre parc de stations vieillit et doit être en partie réhabilité, que le taux de dépollution ne dépasse guère 50 % et ensuite parce que le public est devenu plus exigeant pour tout ce qui touche à l'environnement, comme le domaine de l'eau. Le marché est là, encore faut-il qu'il y ait les moyens financiers pour répondre au besoin. Raison de plus pour ne pas imposer des coûts inutiles ou des types de marchés, qui vont réduire les marges et réduire l'effort de recherche ou démobiliser nos entreprises dans ce domaine par des appels d'offres où la compétition technologique est absente, et risquer de compromettre notre avance dans ce domaine et par cela même nos exportations et par voie de conséquence l'emploi en France dans ce secteur pourtant aux fortes perspectives d'avenir.



■ CLAUDE CAMILLIERI

Directeur général  
de l'U.I.E.  
et du SNITER

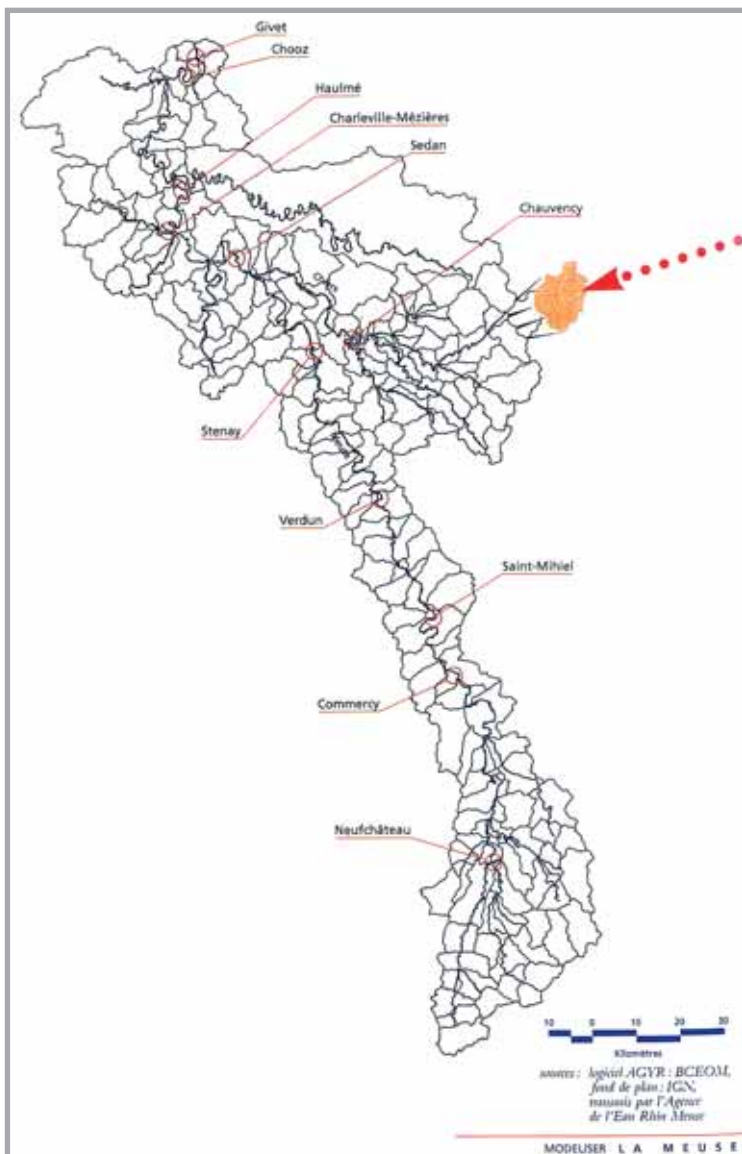
# La Meuse : les crues d'inondation

## Aménager et prévoir

Les crues de la Meuse sont fréquentes et souvent redoutables. En 1993 puis en 1995 elles ont pris un tour catastrophique avec pour conséquence des dommages considérables respectivement de 120 et 245 M euros. Créée en 1996 à la suite de ces événements, l'EPAMA (Etablissement public d'aménagement de la Meuse et de ses affluents) s'est fixé pour objectif de réduire ces phénomènes et leurs dommages en construisant une véritable stratégie de lutte contre les inondations, à l'échelle du bassin français de la Meuse, en liaison avec les pays situés en aval, la Belgique et les Pays-Bas.

En 1997, après un appel d'offres européen, l'EPAMA a confié à BCEOM le soin de préparer les éléments de son programme, au travers d'une étude globale consistant à :

- ◆ modéliser les crues ;
- ◆ établir un diagnostic de la situation actuelle, notamment par une cartographie du risque ;
- ◆ proposer un scénario d'aménagement ;
- ◆ construire un outil de prévision et d'annonce des crues (photos 1 et 2).



**Figure 1**  
Le modèle global : 150 petits bassins qui participent à la genèse de la crue

*The overall model : 150 small basins contributing to the origin of the flood*

### ■ MODÉLISER : COMPRENDRE

#### Des pluies à la crue

Le premier objectif était de comprendre les mécanismes de genèse des grandes crues de la Meuse et de chercher à en tirer les principales idées directrices.

C'est ainsi qu'un modèle hydrologique (AGYR) a été mis en œuvre pour reconstituer les crues historiques puis bâtir des scénarios de crues type.



**Photo 1**  
Givet le 30 janvier 1995  
Givet, 30 January 1995

Ce modèle décompose le bassin versant en sous-bassins élémentaires, simule le cycle de l'eau sur chacun de ces sous-bassins puis propage et compose les différents apports (figure 1).

Sur ce bassin versant très particulier, soumis à des événements variés qui engendrent des crues complexes, le modèle a permis d'établir une typologie de crues selon trois familles :

1. Les crues simples à prédominance amont.
2. Les crues simples à prédominance aval.
3. Les crues multiples.

#### Du débit à la cartographie des crues

La Meuse a ensuite fait l'objet d'une "maquette numérique" sur un linéaire d'environ 450 km.

Sur la base du logiciel hydraulique (le moteur) STREAM, conçu et mis au point par BCEOM, les lits mineurs et majeurs ont été décomposés en 2500 casiers élémentaires, couvrant près de 40000 ha de vallée (figure 2).

L'exploitation du modèle a permis de représenter, en dynamique, l'ensemble des conditions d'écoulement pour les différents types de crues, puis de cartographier les enveloppes des hauteurs d'eau maximales dans chaque casier (cartographie de l'aléa) (figure 3).

### ■ ÉVALUER LE RISQUE : DIAGNOSTIQUER

L'évaluation du risque résulte d'un croisement entre les données relatives à la crue elle-même (l'aléa) et les éléments caractéristiques de la nature de l'occupation des sols (la vulnérabilité).

# et les risques



Photo 2  
Neufchâteau le 11 mars 1999  
Neufchâteau, 11 March 1999

## La carte de vulnérabilité

Cette carte distingue sur les 450 km de vallée étudiés, sept types d'occupation du sol :

- ◆ centre-ville ;
- ◆ habitat hors centre-ville ;
- ◆ zones d'activité industrielle et commerciale ;
- ◆ biens publics et équipements collectifs ;
- ◆ réseau routier ;
- ◆ terres cultivées ;
- ◆ autres (forêts, prairies, broussailles, friches, plans d'eau...).

La carte de vulnérabilité a été tracée sur la base des cartes IGN au 1/25 000, de reconnaissances de terrain, de photographies aériennes, d'une enquête réalisée auprès des 174 communes riveraines et des planches de plan d'occupation du sol ou de cadastre que ces communes ont mis à disposition.

## La carte de risque

La superposition de la carte d'aléa hydraulique et de la carte de vulnérabilité permet d'obtenir une



carte synthétique représentant par classes de valeur le risque lié aux crues de la Meuse. Ce croisement est fait sous SIG (Système d'Information Géographique) selon une grille précise (figure 4).

## L'évaluation du coût des dommages

Les deux cartes précédentes permettent, en associant à chaque type d'occupation du sol un coût surfacique des dommages engendrés par les crues (coût fonction de la hauteur de submersion), d'estimer le coût des inondations de la Meuse sur l'ensemble du bassin ou sur n'importe quel secteur souhaité, pour chaque crue type (2, 10 et 100 ans). De même que le modèle hydraulique, ce calcul du coût à l'aide du SIG créé spécifiquement est calé sur les crues historiques de la Meuse et de la Chiers. C'est à partir de ces deux éléments, cartographique et économique, que l'on identifie les zones à protéger en priorité et les aménagements les plus appropriés pour atteindre l'objectif fixé.

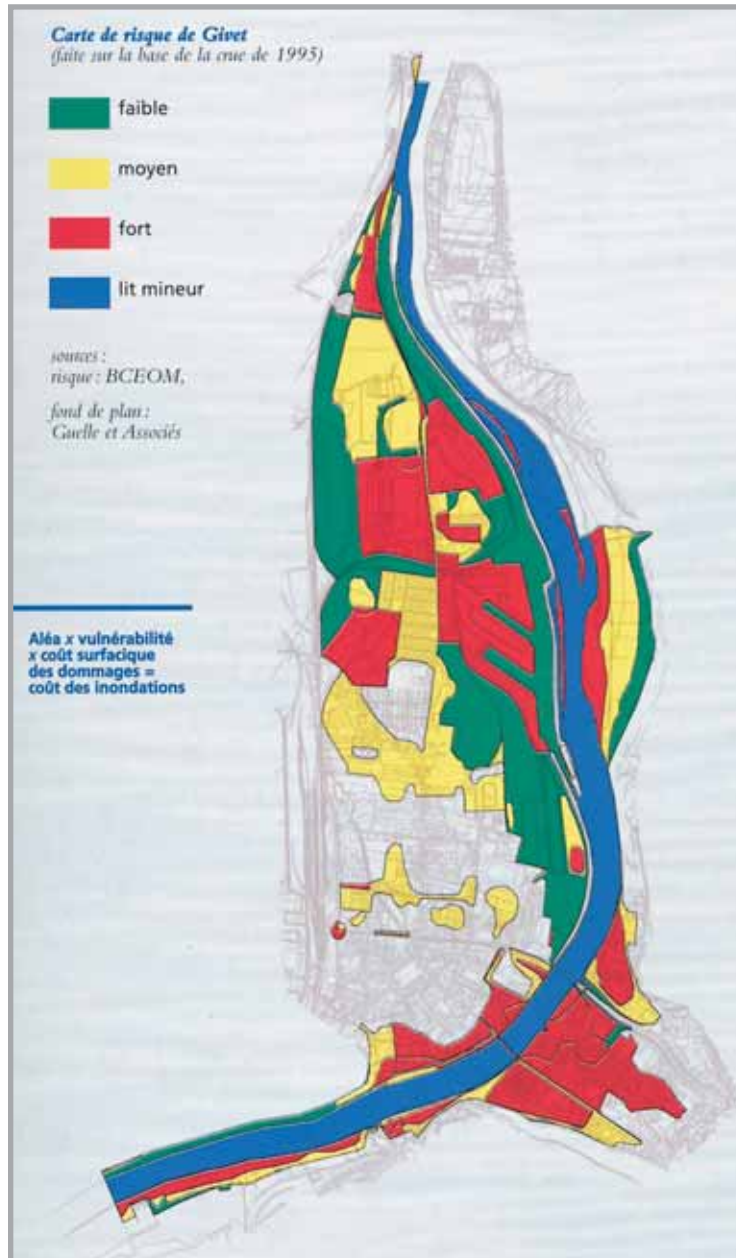
A l'exemple de Givet, un grand nombre d'agglomérations



Figure 2  
Fond topo et structure du modèle mathématique sur Verdun  
Topographic base and structure of the mathematical model on Verdun

Figure 3  
Carte d'aléa de la crue de 1995 sur Givet (carte provisoire)  
Contingency map of the 1995 flood on Givet (provisional map)

Figure 4  
Carte de risque  
de Givet  
(faite sur la base  
de la crue de 1995)  
Risk map of Givet  
(produced  
on the basis  
of the 1995 flood)



► mérations du bassin sont fortement exposées au risque inondation. Identifier les sites exposés et quantifier le risque sont les principaux objectifs de cette phase : les résultats permettent de mettre en place une stratégie globale de protection.

## ■ AMÉNAGER

De très nombreuses possibilités d'aménagement de différentes natures ont été étudiées : barrages, endiguements, recalibrages, rescindement de méandres... Le modèle STREAM a permis d'évaluer l'efficacité des ouvrages envisagés, soit en les considérant de façon individuelle soit en testant des combinaisons d'ouvrages.

Après de multiples simulations, elles-mêmes croisées avec l'analyse des conditions de faisabilité technique et les éléments financiers, et à l'issue d'une phase de concertation approfondie, un scénario d'aménagement a été retenu. Ce scénario as-

socie des protections localisées, à fort impact au droit des zones plus sensibles et des aménagements dits globaux dont le rôle est principalement de "freiner la crue" (figure 5).

### Protections localisées

#### Par recalibrage

Sur les sites particulièrement sensibles et difficiles à protéger des crues par d'autres moyens, le recalibrage du lit de la Meuse permet de diminuer localement la cote des lignes d'eau de façon efficace (photo 3).

#### Par coupure de boucle

Deux sites permettent d'aménager des coupures de boucle de manière efficace : Revin et Charleville-Mézières. Suite aux crues de 1993 et 1995, les coupures du canal navigable ont déjà été aménagées de telle sorte qu'elles évacuent une partie des débits de crue de la Meuse, allégeant d'autant la boucle court-circuitée. Les aménagements proposés consistent à augmenter la capacité de ces coupures.

L'augmentation de capacité de la dérivation de Mézières, ne peut se faire que par le biais de l'écluse. L'utilisation du canal navigable pour évacuer une partie des débits de crue est proposée sur d'autres sites.

#### Par remplacement des barrages à aiguilles

Le remplacement des anciens barrages à aiguilles par des barrages modernes à clapets vise à éliminer l'obstacle à l'écoulement que constitue le radier béton des anciens barrages et à améliorer le fonctionnement de ces ouvrages en crue et en étiage.

De tels travaux sont en cours de réalisation sur un premier site : Monthermé. Un nouveau site a été proposé : Givet (photo 4).

#### Par endiguement

Les sites particulièrement sensibles, d'emprise restreinte et difficiles à protéger des crues par d'autres moyens, pourront être mis hors d'eau par l'aménagement de digues (digues en terre ou murets) dimensionnées pour les crues de fréquence centennale.

### Aménagement global : huit retenues en lit majeur

L'aménagement de sept retenues dans le lit majeur de la Meuse médiane et d'une retenue dans le lit majeur de la Sormonne vise à augmenter le volume de rétention et l'écrêtement des crues moyennes à fortes, sans impact sur les petites crues et les étiages.

La surinondation de prairies et de terres agricoles déjà inondées et peu sensibles en hiver permettra ainsi de réduire l'inondation des sites vulnérables

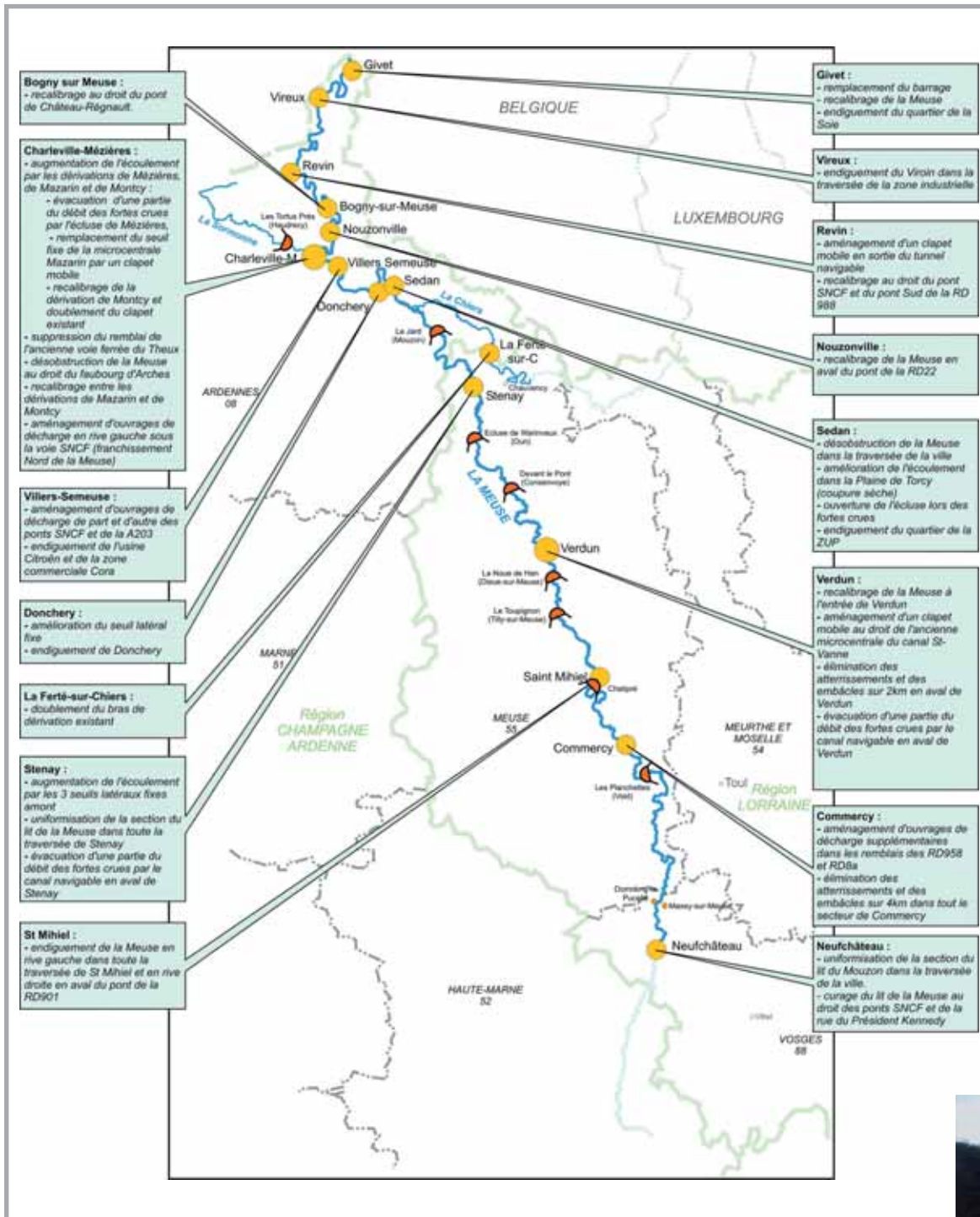


Figure 5  
Aménagement global  
et protections localisées  
*Overall development  
and localised protection  
systems*

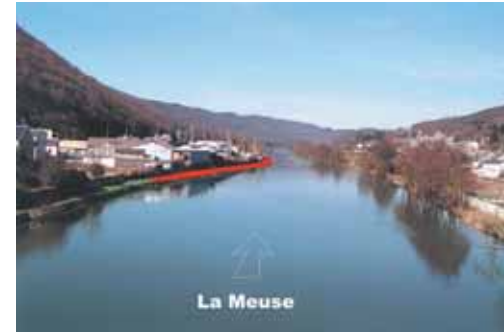


Photo 3  
Nouzonville, recalibrage  
de la rive gauche  
*Nouzonville, recalibration  
of the left bank*



Photo 4  
Monthermé : construction  
du nouveau barrage  
*Monthermé : construction  
of the new dam*

en Meuse et dans les Ardennes (exemple : Saint-Mihiel, Verdun, Stenay, Sedan, Charleville-Mézières, Givet...).

Dans les secteurs surinondés, les quelques zones urbanisées partiellement inondées, dans la situation actuelle, seront alors totalement mises hors d'eau par l'aménagement de digues de confinement.

Les retenues en lit majeur consistent en des digues en terre barrant l'écoulement des crues. Ces digues pourront être totalement nouvelles ou s'appuyer sur des infrastructures existantes (routes en remblai).

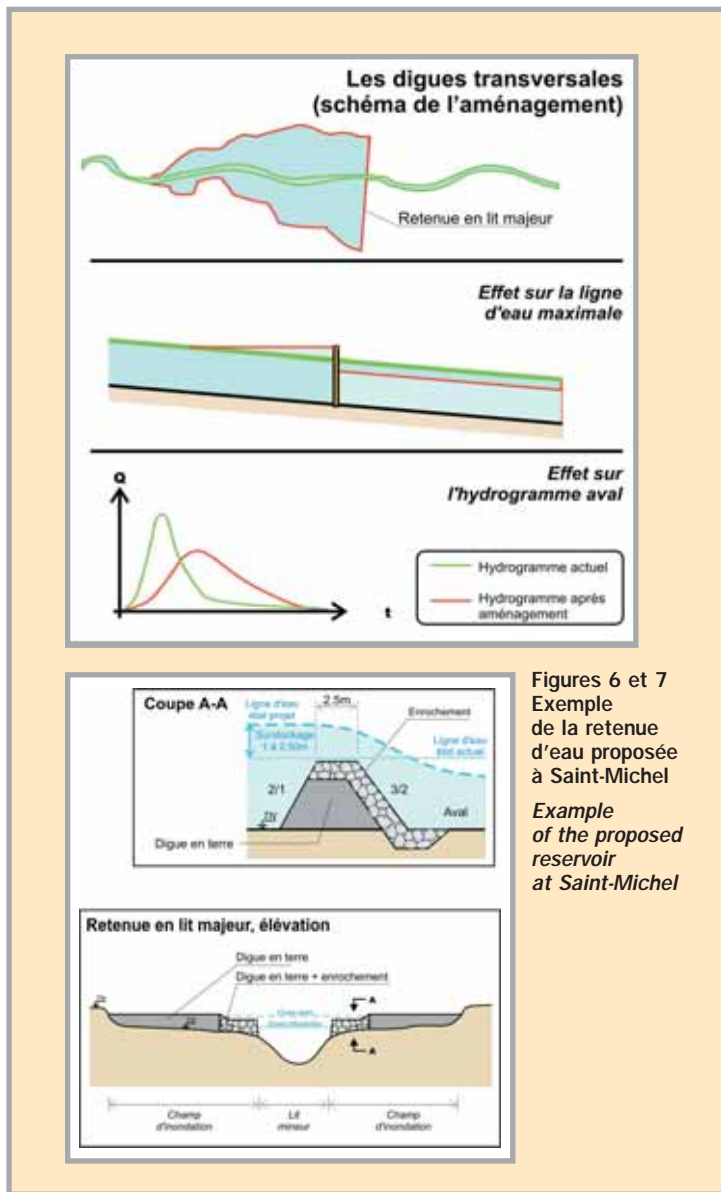
L'étude et la réalisation de ces retenues fera l'objet d'une concertation poussée avec les collectivités et les propriétaires concernés. Les premières

études vont être lancées en amont de Mouzon et sur la Sormonne (figures 6 et 7).

### ■ PRÉVOIR ET ALERTER

Il est impossible d'éviter totalement les inondations d'une rivière telle que la Meuse, les volumes mis en jeu par les crues fortes étant trop importants. Il est donc primordial d'associer aux mesures structurelles de réduction des inondations des mesures de prévention (dont les Plans de Prévention des Risques Inondations) et de prévision des crues. Un modèle spécifique, MOÏSE, a été construit sur les bases topologiques des modèles précédents, AGYR et STREAM. Ce modèle est "nourri" en temps





Figures 6 et 7  
Exemple  
de la retenue  
d'eau proposée  
à Saint-Michel

Example  
of the proposed  
reservoir  
at Saint-Michel

#### ABSTRACT

The Meuse River : flood waters and risks of flooding. Develop and plan

D. Bertel

Meuse River flooding is frequent and often fearsome. In 1993 and then 1995 these floods were disastrous, with consequential major damage amounting to 120 and 245 million euros respectively.

Founded in 1996 following these events, the EPAMA (public institution for developing the Meuse and its affluents) set itself the goal of reducing such phenomena and their damage by building a veritable strategy for flood control, on the scale of the French basin of the Meuse, in cooperation with the countries situated downstream, Belgium and the Netherlands.

In 1997, following a European invitation to tender, EPAMA entrusted to BCEOM the work of preparing the aspects of its programme, through an overall study consisting of :

- flood modelling ;
- establishment of a diagnostic of the current situation, in particular through risk mapping ;
- proposing a development scenario ;
- building a flood forecasting and signalling tool.

#### RESUMEN ESPAÑOL

El río Mosa : avenidas y riesgos de inundación. Acondicionamiento y previsión

D. Bertel

Las avenidas del Mosa son frecuentes y, en muchos casos, terribles. En 1993 y a continuación, en 1995, han llegado a tomar un aspecto catastrófico con motivo de los daños considerables de un coste respectivo de 120 y 245 millones de euros.

El organismo EPAMA (Establecimiento público de acondicionamiento del Mosa y de sus afluentes) fundado en 1996 a raíz de estos acontecimientos, se ha propuesto por objetivo reducir estos fenómenos y sus consecuencias perjudiciales, elaborando una verdadera estrategia de lucha contra las inundaciones, a escala de la cuenca francesa del río Mosa, en enlace con los países

ubicados aguas abajo, o sea, Bélgica y Holanda.

En 1997, tras una licitación europea, el EPAMA ha encargado al BCEOM la preparación de los elementos de su programa, por medio de un estudio global que ha consistido en :

- modelizar las avenidas ;
- establecer un diagnóstico de la situación existente, y fundamentalmente, mediante una cartografía de los riesgos ;
- proponer un esquema del acondicionamiento ;
- construir un instrumento de previsión y de anuncio de las crecidas.

► réel par les mesures pluviométriques d'une part et par les mesures de hauteur d'eau dans la Meuse d'autre part.

Les prévisions sont calculées pour des délais de un à plusieurs jours. Pour chaque point de prévision, le délai maximal dépend d'une part des temps de réponse des bassins versants amont et intermédiaires et d'autre part du temps de propagation des crues. Bien entendu, le délai de prévision varie pour un même point selon le type de crue.

Le nouveau système Moïse, installé au Centre d'annonce de crues de la DIREN Lorraine à Nancy, permet d'exploiter toutes les données actuellement disponibles en temps réel pour bénéficier d'une prévision fiable de façon rapide et souple.

# Structures souterraines de bassins d'orage

Sous l'effet combiné des nouvelles réglementations en matière de réduction des pollutions urbaines et de la prise de conscience générale en faveur d'une meilleure défense de l'environnement, la construction de bassins de stockage des eaux pluviales est devenue une nécessité dans de nombreuses agglomérations ou villes.

Ces ouvrages répondent tant à la lutte contre les inondations qu'au contrôle des déversements des réseaux d'assainissement dans le milieu naturel, événements fréquents lorsque les réseaux ne peuvent absorber les volumes générés par de fortes pluies, et causant ainsi des pollutions importantes à caractère récurrent.

Lorsque cela est possible, ces ouvrages sont construits sur de larges surfaces libres, et sont laissés engazonnés ou à ciel ouvert. Cependant la pression de l'urbanisation rend souvent impossible l'immobilisation de larges surfaces à ces fins, rendant incontournable la création de stockages enterrés en milieu urbain. Enfin, les nuisances propres à ce type d'ouvrages sont importantes et potentiellement génératrices de difficultés pour des ouvrages non couverts.

Ces ouvrages doivent ainsi être régulièrement construits dans des sites exigus tels que carrefours, ronds-points, souvent également dans l'enceinte de stations d'épuration existantes ou sur des sites inoccupés, mais de faible surface, et généralement inutilisés de par la nature difficile des terrains sous-jacents ou à cause de nappes phréatiques puissantes et peu profondes.

Solétanche Bachy a réalisé, seule ou en participation, 55 bassins enterrés de toutes tailles, de 250 à 100 000 m<sup>3</sup> de capacité unitaire, pour un volume total de stockage de plus de 520 000 m<sup>3</sup>.

## ■ CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS DE STOCKAGE ENTERRÉS

### Fonctionnement

Les bassins sont le plus souvent conçus pour être sollicités lors d'événements pluviaux forts, pour pallier par exemple le manque de capacité des réseaux d'évacuation et ainsi éviter des rejets d'eau polluée dans le milieu naturel, ou pour réguler le débit d'alimentation d'une station d'épuration (figure 1).

Le fonctionnement est généralement simple, et doit associer plusieurs fonctions :

- ◆ remplissage et stockage lors de la pluie ;
- ◆ temporisation et vidange du bassin ;
- ◆ nettoyage du fond du bassin ;
- ◆ contrôle et traitement des dégagements d'odeurs.

### Aspects d'exploitation

La conception – y compris structurelle – des bassins d'orage est avant tout faite en fonction des critères de fonctionnement, et donc d'exploitation, des ouvrages.

En particulier, l'accessibilité est étudiée avec soin, sachant qu'il faut pouvoir réaliser les entretiens courants avec des équipes réduites, à des intervalles espacés le plus possible.

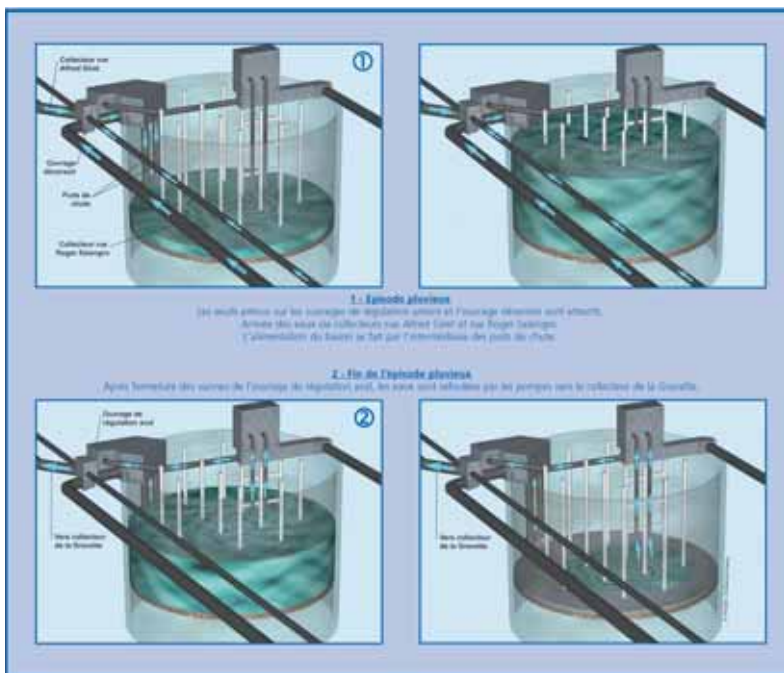
A cela s'ajoutent les contraintes liées aux possibles nuisances de ces ouvrages : nuisances sonores (chute d'eau, pompage), et nuisances olfactives (les effluents circulant dans certains réseaux et bassins sont susceptibles de dégager des odeurs gênantes pour les habitants du voisinage).

### Contraintes liées aux sites

Les bassins sont alimentés par des réseaux qui sont enterrés à des profondeurs qui varient le plus souvent entre 2 et 6 m. C'est autant de profondeur perdue dans la plupart des ouvrages.

Au contraire des ouvrages comme les parkings régulièrement réalisés à grande profondeur dans les villes, les bassins ne disposent pas de planchers intermédiaires entre la couverture et le radier, ce

**Figure 1**  
Schéma de fonctionnement du bassin A. Giret, Communauté urbaine de Bordeaux (maîtrise d'œuvre Lyonnaise des Eaux, entreprise Solétanche Bachy)  
*Diagram of operation of the A. Giret tank, Bordeaux Urban Community (project manager Lyonnaise des Eaux, contractor Solétanche Bachy)*



De nombreux ouvrages de ce type ont été construits depuis 10 ans, certaines villes ou collectivités ayant dans ce domaine une expérience très importante (on peut citer en particulier la Communauté urbaine de Bordeaux ou les départements des Hauts-de-Seine et de Seine-Saint-Denis, sous l'égide de leurs directions de l'Eau et de l'Assainissement). Dans ce domaine, Solétanche Bachy, dans son département spécifiquement dédié à ce type d'opérations, a acquis depuis 1995 une expérience unique.

# pour la réalisation

Julien Landrot

RESPONSABLE  
DÉPARTEMENT BASSINS  
& ASSAINISSEMENT  
Solétanche Bachy



qui implique que les soutènements doivent supporter des hauteurs de terrain importantes sans appui (photo 1).

Combiné aux contraintes d'exploitation, cela a longtemps contraint à réaliser des ouvrages de forme rectangulaire de moyenne profondeur, 6 à 10 m typiquement, mais par conséquent sur des surfaces parfois très importantes allant dans certains cas jusqu'à 5 000 m<sup>2</sup> pour réaliser des stockages proportionnellement faibles (2 à 3 m de stockage utile seulement).

## ■ GÉOTECHNIQUE ET CONCEPTION – ÉVOLUTIONS RÉCENTES

### Ouvrages circulaires

La première réponse aux problèmes précédemment exposés se trouve dans le choix d'ouvrages de forme circulaire réalisés en parois moulées autostables.

Ce type d'ouvrages descend couramment à des profondeurs de 12 à 15 m avec des épaisseurs de parois raisonnables et sans nécessiter la mise en œuvre de butonnage ou de tirants d'ancrage pour stabiliser les parois lors du terrassement, ce qui permet à la fois une grande compétitivité et une réduction des délais globaux.

Bien que de tels ouvrages soient désormais très classiques, leur réalisation reste soumise à la bonne qualité de la paroi moulée; en effet, l'autostabilité du soutènement est conditionnée à une épaisseur minimale de béton dans la paroi moulée, permettant le report des sollicitations par effet voûte (on parle d'"anneau inscrit" dans la paroi moulée) (photo 2).

### Prise en compte des déviations

On doit en effet tenir compte des tolérances de déviation des outils de perforation, pouvant atteindre avec des outillages classiques 1 %.

Pour l'ouvrage dessiné sur la figure 2, à 15 m de profondeur, on pourrait, si deux panneaux successifs dévient de 1 % l'un vers l'intérieur de la fouille et l'autre vers l'extérieur, arriver à une épaisseur de béton participant réellement à l'effet d'anneau de 14 cm au lieu de 41 cm, ce qui cause une augmentation proportionnelle des contraintes dans le béton.

Dans le cas présent, la réalisation de la paroi en



Photo 1  
Bassin  
à Saint-Gratien

Tank  
in Saint-Gratien



Photo 2  
Bassin de stockage  
d'Houplin-Ancoisnes  
- Lille Métropole  
Communauté  
urbaine

Houplin-Ancoisnes  
storage tank - Lille  
Metropolis Urban  
Community

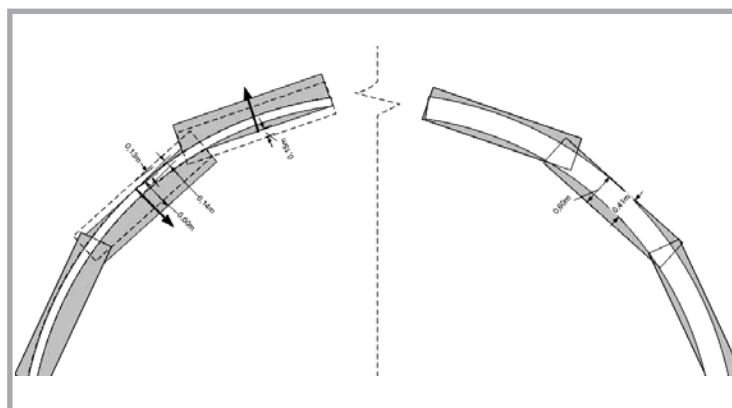


Figure 2  
Incidence de déviations  
de 1 % sur la réalisation  
d'une paroi moulée circulaire :  
l'anneau de béton inscrit  
dans la paroi passe  
de 41 à 13 cm, réduisant  
d'autant la capacité  
de la paroi

Consequences of 1 %  
deviations on the construction  
of a circular diaphragm wall :  
the concrete ring included  
in the wall goes from 41  
to 13 cm, with an equivalent  
reduction in the capacity  
of the wall

épaisseur 60 cm serait impossible, il faudrait au minimum 80, voire 100 cm d'épaisseur.

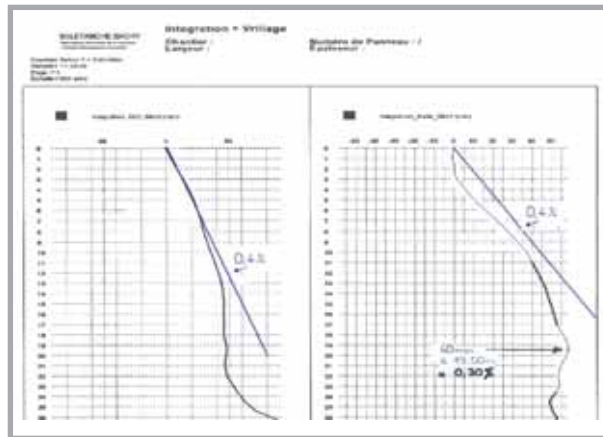
### Systèmes de contrôle de verticalité

On peut aujourd'hui optimiser les structures des bassins d'orage circulaires en mettant en œuvre des outils de perforation de dernière génération.

En effet, les ateliers de type KS2 ou HC03 munis

**Figure 3**  
Déviations mesurées  
avec atelier KS2 : 0,3 %  
à 19,5 m de profondeur

*Deviations measured  
with KS2 equipment :  
0.3 % at a depth  
of 19.5 m*



très profonds (plus de 20 m de profondeur), ou de formes complexes, tout en maintenant des coûts de construction raisonnables.

### Formes multiples

Certains sites étant très exigus, il est parfois impossible de réaliser des structures circulaires ayant le volume requis par les contraintes spécifiques du projet. On peut alors être amené à réaliser des ouvrages de forme complexe, par exemple elliptiques ou "multilobes".

Dans le cas de la photo 3, le choix d'une forme elliptique était rendu nécessaire de par le mode de fonctionnement du bassin qui comprend deux compartiments de volume différent, 1 500 et 4 500 m<sup>3</sup>, sur un terrain étroit (cf. infra "Bassins à compartiments successifs").

Une autre approche pour les sites très étroits peut être de réaliser des bassins de forme dite "multilobe" permettant, tout en assurant l'autostabilité, d'avoir un bassin long et étroit (photo 4).

Tous ces ouvrages nécessitent cependant un contrôle parfait des déviations des parois moulées, associés à des calculs pouvant faire appel à des modélisations complexes de type éléments finis – 3D.

Enfin, leur conception doit impérativement intégrer le fonctionnement spécifique du bassin c'est-à-dire son cycle de remplissage/vidange et les systèmes de nettoyage. Ce procédé nécessite des adaptations parfois importantes afin d'assurer un bon fonctionnement et en particulier un bon nettoyage.

## ■ BASSINS COMPLEXES – INTÉGRATION DU PROCESS

### Systèmes de nettoyage

Que le bassin soit circulaire, elliptique ou multilobe, le fonctionnement hydraulique doit être étudié avec beaucoup d'attention de façon à assurer une bonne performance du process.

En particulier, les systèmes de nettoyage doivent être adaptés aux formes circulaires, de façon à ne pas laisser de zones peu ou non nettoyées, sources potentielles de dépôts, salissures et odeurs (photo 5).

De nombreux systèmes existent, en particulier les systèmes avec hydro-éjecteurs et agitateurs, qui empêchent la décantation des effluents, ou les systèmes avec chasse sous vide qui s'adaptent facilement dans les ouvrages circulaires.

Cependant, l'expérience prouve que les systèmes de nettoyage de type augets ou clapets – qui nécessitent un compartimentage des bassins en pistes rectangulaires – ou encore chasses centrales sous vide, s'adaptent également très bien aux ouvrages de forme circulaire avec des adaptations mineures.

**Photo 3**  
Bassin de stockage elliptique -  
Communauté d'agglomération  
de Lens-Lievin - Bassin  
de Méricourt. 1<sup>er</sup> Prix  
de l'innovation FNTP 2001 -  
Projet PIBOP (Puits Intégré  
pour Bassin d'Orage Profond)  
*Elliptical storage tank - Lens-  
Lievin inter-municipal  
association ("Communauté  
d'agglomération") - Méricourt  
tank. FNTP 1st prize  
for innovation 2001 - PIBOP  
Project (integral well for deep  
stormwater tank)*



© Photo R

**Photo 4**  
Bassin de stockage  
"tri-lobes" - Communauté  
d'agglomération  
de Lens-Lievin, bassin Pasteur  
*"Triple-lobe" storage tank -  
Lens-Lievin inter-municipal  
association ("Communauté  
d'agglomération") - Pasteur  
tank*



de systèmes embarqués de contrôle des déviations (SAKSO) permettent de garantir une déviation inférieure à 0,4 % au lieu de 1 %, ce qui permet une importante économie d'épaisseur, et donc de béton, sur les parois moulées (figure 3).

Ces ateliers permettent donc de garantir l'absence de discontinuité dans l'épaisseur de l'anneau de béton, et – outre l'économie de matériau – donnent l'assurance de la bonne qualité de la paroi moulée.

Ils permettent ainsi une grande flexibilité dans la conception des ouvrages, pouvant être désormais

## Bassins à compartiments successifs (figure 4)

Certains ouvrages sont conçus avec des compartiments successifs se remplissant l'un après l'autre, et sont munis de systèmes de traitement ou de nettoyage différenciés.

Cela permet de réaliser une séparation in situ entre les premières eaux qui arrivent dans le bassin, réputées plus chargées en polluants car ayant entraîné avec elles les dépôts pouvant stagner dans les réseaux, et les eaux plus claires venant ensuite, à caractère plus strictement pluvial.

Alors que ces eaux pluviales ne nécessitent normalement pas de traitement et peuvent être rejetées dans un milieu naturel, les premières eaux doivent être traitées et donc envoyées en station d'épuration.

Un tel fonctionnement peut se réaliser avec nombre de formes différentes. On réalise par exemple des bassins munis de deux niveaux de pompage, la tranche supérieure des effluents étant évacuée via un réseau et la tranche inférieure via un autre réseau, toujours dans le but d'optimiser le fonctionnement du système d'épuration et de ne pas le surcharger inutilement.

Les bassins de ce type permettent ainsi d'améliorer très largement le fonctionnement d'un réseau d'épuration, tant pour le contrôle/écrêtement des débits d'entrée en station que pour la réduction des déversements pollués et la limitation des inondations.

## Bassins de prétraitement – Décantation

On rencontre enfin des projets très aboutis couplant les capacités de stockage d'un bassin à des systèmes de prétraitement, ou de process, par exemple à des ouvrages de décantation lamellaire ou particulaire (figure 5).

Ces ouvrages sont conçus comme des mini-ouvrages d'épuration autonomes, destinés à ne traiter que des eaux purement pluviales avec comme objectif de réduire au maximum le volume d'effluents devant être renvoyés, transportés et traités en station d'épuration.

Ils permettent ainsi de protéger certains milieux de pollutions accidentelles sans pour autant exiger un surcroît de capacité de stations d'épuration existantes, ce qui, dans le cas de certaines agglomérations, pourrait normalement nécessiter une extension parfois très lourde des ouvrages existants.

De tels ouvrages sont en cours ou ont été réalisés ces deux dernières années à Nancy, Bordeaux, Anglet, Lons-le-Saunier, avec des objectifs à chaque fois différents, mais ayant en commun le fait de limiter la sollicitation des ouvrages d'épuration existants ou parfois même de les remplacer totalement.



Photo 5  
Bassin de stockage de Deauville - Utilisation de clapets de chasse pour nettoyer le fond du bassin

*Deauville storage tank - Use of washout valves to clean the bottom of the tank*

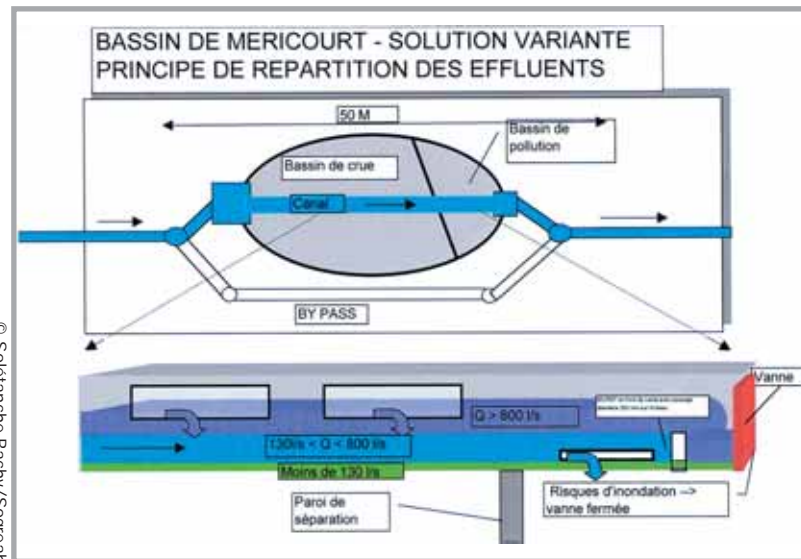


Figure 4  
Bassin de stockage de Méricourt - Schéma de fonctionnement avec séparation bassin de pollution/bassin de crue

*Méricourt storage tank - Operating diagram with separation between pollution tank and flood tank*

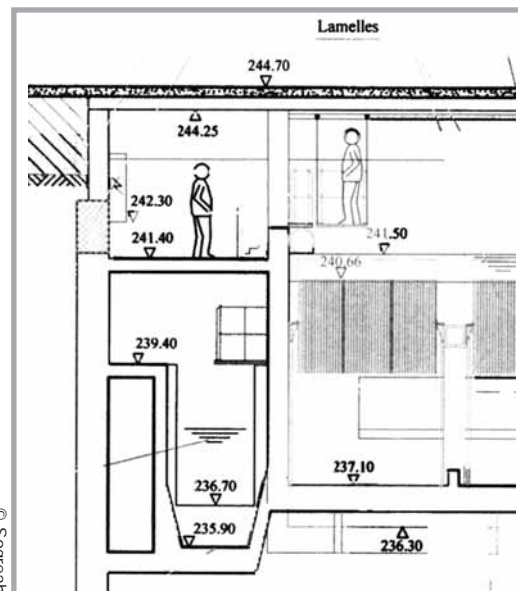


Figure 5  
Bassin décanteur à Montmorot (Jura)

*Settling tank at Montmorot (Jura)*

## Intégration architecturale

Sans que cela soit essentiel dans le fonctionnement de ce type d'ouvrages, les bassins de stockage enterrés sont désormais souvent intégrés dans un aménagement plus global et, à ce titre, doivent faire l'objet de traitements architecturaux ou paysagers, permettant une bonne intégration de l'ouvrage dans son environnement et une meilleur-



**Photo 6**  
 Traitement architectural et paysager du bassin de stockage Pasteur - Communauté d'agglomération de Lens-Lievin (architecte Eric Bail)

*Architectural and landscape treatment of the Pasteur storage basin - Lens-Lievin inter-municipal association ("Communauté d'agglomération") (architect Eric Bail)*

► re acceptation de l'équipement par les riverains (photo 6).

## ■ CONCLUSION

Les ouvrages de stockage enterrés constituent des solutions très compétitives techniquement et financièrement capables de compléter, voire de décharger, des systèmes d'assainissement existants. Ils participent de manière significative à la résolution des problèmes d'inondation en milieu urbain, lorsqu'ils sont construits en grand nombre et associés à des terrains d'expansion à ciel ouvert.

Ces ouvrages sont cependant complexes car leur optimisation nécessite une connaissance et une maîtrise approfondie de la géotechnique et de l'hydrogéologie, mais aussi de l'hydraulique et du process en général, en plus du génie civil. L'intégration de ces divers métiers a valu à Solétanche Bachy le 1<sup>er</sup> Prix de l'innovation de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) en 2001 pour le projet PIBOP (Puits Intégré pour Bassin d'Orage Profond) réalisé à Lens-Lievin (bassin de Méricourt).

## ABSTRACT

Techniques for underground stormwater tanks

*J. Landrot*

Construction of large capacity underground storm-water tanks is now a necessity in many large urban areas or towns.

Recent developments in diaphragm walling technology have made it possible to design and build new types of tanks, of complex forms enabling optimisation of the land made available.

Furthermore, in addition to their conventional functions of simply storing water and returning it to the system, they can now be designed to incorporate a pre-treatment capability. In fact they become mini treatment plants in their own right and reduce the load on existing facilities.

Soletanche Bachy, alone or in joint venture, has built over 55 tanks since 1995, ranging in capacity from 250 m<sup>3</sup> to 100,000 m<sup>3</sup>, and has a unique expertise in designing and building turnkey underground storm-water tanks of this type.

## RESUMEN ESPAÑOL

Estructuras subterráneas para la construcción de una presa reguladora de grandes tormentas

*J. Landrot*

La ejecución de cuencas de almacenamiento subterráneas de gran capacidad ha llegado a constituir una necesidad para múltiples ciudades y municipios.

Las evoluciones recientes en el aspecto de las pantallas continuas han permitido diseñar y ejecutar nuevos tipos de estructuras complejas y de formas adaptadas a los emplazamientos que les son atribuidos.

Finalmente, además de su cometido convencional de embalse y de restitución de las aguas, las presas enterradas pueden actualmente ejercer funciones suplementarias que guardan cierta semejanza con las miniestaciones depuradoras, debido a sus órganos de pretratamiento que permiten reducir la sollicitación de las estaciones existentes.

Soletanche Bachy ha ejecutado, desde 1995, por sí sola o en participación, la

construcción de 55 embalses subterráneos de todas las dimensiones, entre 250 m<sup>3</sup> y 100 000 m<sup>3</sup> de capacidad unitaria. Esta empresa constructora tiene, en este sector, una experiencia única de diseño y de construcción de todos los tipos de embalses subterráneos "llaves en mano".

# De la conception à la une gestion maîtrisée

La gestion de l'eau et de ses ressources est une problématique majeure qui est au cœur d'une réflexion et d'un combat qui se joue au niveau mondial.

Depuis de nombreuses années déjà, France Gabion s'est engagée dans cette bataille en développant et préconisant des solutions adaptées aux divers problèmes hydrauliques rencontrés.

Prévenir et aménager dans le domaine hydraulique fait partie du savoir-faire de l'entreprise avec une prise en compte aiguë de l'intégration des ouvrages dans leur environnement.

Des aménagements en montagne, aménagements du littoral et protection d'émissaires, protection des berges, gestion de l'eau en zone rurale en passant par la gestion de l'irrigation et des ressources en eau en Afrique, voici quelques exemples d'aménagements hydrauliques présentés dans cet article.

**Photo 1**  
Vue aérienne  
du barrage mis en eau  
après travaux  
*Aerial view of the dam  
filled with water  
following the works*



## Retenue de la Chal à Saint-Colomban-des-Villards

*Bruno Cote*

RESPONSABLE TECHNICO-COMMERCIAL CENTRE  
EST ET GRANDS COMPTES  
France Gabion

*Arnaud Rech*

*Olivier Pal*

Forézienne d'Entreprises

### ■ PRÉSENTATION DU PROJET

Dans le cadre de l'aménagement hydroélectrique de la vallée des Villards en Maurienne, la société concessionnaire FHYT (Force Hydro-Technique) a prévu la réalisation d'un barrage sur le torrent du Glandon.

de vannes ainsi que la réalisation d'une digue de retenue en terre.

La capacité finale de la retenue est de 60 000 m<sup>3</sup>.

### ■ LA PROTECTION DE LA DIGUE

La digue de retenue en terre a une hauteur maximale de 14 m pour une longueur totale de 150 m répartie entre rive gauche et rive droite de l'ouvrage.

Elle a nécessité la mise en place d'un volume de remblai de l'ordre de 20 000 m<sup>3</sup>, avec une largeur en pied de 65 m pour une largeur en tête de 4 m. Côté aval, la pente du talus est 3/2.

L'étanchéité du talus côté amont, penté à 2/1 est assurée par une membrane bitumineuse.

La solution de base prévoyait la réalisation d'une protection de cette membrane par un béton projeté de 15 cm d'épaisseur.

Compte tenu de la période hivernale dans laquelle cette protection devait être mise en place, et qui rendait délicate les conditions de mise en place du béton projeté, l'entreprise a proposé la réalisation de la protection en matelas Reno de 17 cm (photos 1 et 2).

### ■ MATELAS RENO

#### Description

Les matelas Reno sont constitués de cages en grillage double torsion à haute résistance certifié NF Acier. La maille utilisée est 60 x 80 mm, en fil galvanisé type Galfan (alliage aluminium zinc) revêtu de PVC (diamètre 2,2/3,2 mm).

Ils sont constitués d'une base de largeur standard 2,00 m et de longueur variable entre 3,00 et 6,00 m. L'épaisseur de cette base peut être de 17, 23 ou 30 cm suivant les cas, de façon à s'adapter aux contraintes hydrauliques du site (épaisseur de 17 cm retenue pour le chantier). Un couvercle permet la fermeture supérieure de la cage.

Le barrage de la Chal est situé sur la route d'accès au col du Glandon, sur la commune de Saint-Colomban-des-Villards. La retenue située à une altitude de 1 200 m doit alimenter une microcentrale située en aval.

Les travaux comprennent la construction d'un bâtiment usine abritant un alternateur de 9 MW, la pose d'une conduite d'amenée de 3,7 km et d'une conduite forcée de 1,5 km, la réalisation d'un ouvrage prise d'eau en béton équipé d'un clapet et

# réalisation : de l'environnement

Les cages sont remplies de petits enrochements (70/110), dont la granulométrie est adaptée à la taille de la maille et à l'épaisseur du matelas.

Ces structures sont couramment utilisées dans le domaine de l'aménagement hydraulique, et plus spécialement en protection de berges contre les érosions naturelles ou artificielles dues au batillage par exemple.

La constitution des matelas Reno permet les échanges hydrauliques entre le remblai en place et le cours d'eau, permettant de diminuer ainsi les poussées hydrostatiques et d'assurer la pérennité de la protection.

Dans certains cas, la mise en place des matelas Reno est accompagnée de remplissage complémentaire en terre végétale pour permettre la végétalisation des berges. La terre végétale vient alors se bloquer dans les interstices laissés vides par les enrochements de remplissage. Pour les ouvrages soumis à des vitesses d'écoulement importantes, ce blocage de terre végétale peut être renforcé par la mise en place d'une géogrille tridimensionnelle en fermeture des matelas.

Dans la plupart des cas, elle assure une protection équivalente à celle d'enrochements tout en permettant de diviser l'épaisseur de protection par un coefficient de 3 environ.

## La solution technique retenue pour la Chal

L'originalité de la solution consistait à la mise en place de matelas Reno sur une pente de 2/1 avec un coefficient de frottement entre matelas et protection étanche négligé afin de ne pas solliciter la membrane.

Le rampant atteignait 25 m dans les zones les plus hautes, qui rendait insuffisant le seul blocage des matelas en pied.

Les calculs ont conduit à prendre en considération les efforts supplémentaires pour une épaisseur de neige sur la protection (90 daN/m<sup>2</sup> en neige exceptionnelle).

De plus, il était important de ne pas transmettre d'efforts de traction supplémentaires à l'étanchéité.

La solution retenue a consisté à protéger en première phase la membrane étanche par une nappe de géotextile de 800 g/m<sup>2</sup>, afin d'éviter son poinçonnement par les petits enrochements de remplissage.

La reprise des efforts de traction s'est alors faite par la mise en place en sous-face des matelas Reno



Photo 2  
Mise en place  
des matelas Reno®  
*Installation of Reno®  
mattresses*

d'une simple ou double nappe de grillage double torsion de maille 80 x 100, en acier galvanisé du type Galfan revêtu de PVC, de diamètre 2,7/3,7 mm. Cette ou ces nappes ont été ancrées en tête de digue dans une tranchée de profondeur 1,50 m et sur une longueur de 3,0 m minimum. Cette méthode permet, de plus, de s'affranchir de la réalisation d'une butée de pied, toujours source de sujétions techniques délicates.

Les bases des matelas Reno ont été solidarisées sur tout le linéaire du rampant avec les nappes de grillage au moyen d'agrafes du même type que celles utilisées pour la fermeture des cages (agrafe pneumatique), afin de permettre une bonne reprise des efforts.

Contrairement au phasage habituel des matelas Reno, le remplissage par les enrochements s'est effectué à partir des éléments positionnés en partie haute de la pente. Cette méthodologie a évité la formation de plis dans les nappes de grillage sous-jacentes et a limité la transmission des efforts de cisaillement dans l'étanchéité par mise en tension progressive.

## ■ DÉROULEMENT DU CHANTIER

Le chantier s'est déroulé dans des conditions hivernales puisque la pose des nappes de grillage et des matelas a commencé mi-décembre 2002.

Une fois les nappes en place, les bases des matelas ont été positionnées et fixées sur tout le rampant et sur une longueur de digue de l'ordre de 15 à 20 m avant le début du remplissage.

Compte tenu de la longueur importante du rampant, les enrochements ont été mis en place à la grue à partir du fond de la retenue. Ils étaient extraits sur le site dans la zone d'emprunt et ciblés dans une

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Maître d'œuvre*  
EDF - CIH Bouget du Lac

*Entreprise*  
Ballot Ménager Gorce

*Sous-traitance des travaux de terrassement*

Forézienne d'Entreprises Saint-Etienne

*Fournisseur*  
France Gabion



Photo 3  
Après remplissage  
des matelas Reno®  
After filling the Reno®  
mattresses



▶ station foraine située également en fond de bassin.

Les matelas ont pu s'adapter à la géométrie concave de la digue par simple découpage et emboîtement de certaines structures dans les autres.

La surface totale de protection mise en place est de 2 700 m<sup>2</sup>. Elle a pu s'effectuer en 3 semaines.

## ■ CONCLUSION

La solution technique retenue a permis la réalisation dans de bonnes conditions de la protection sous des conditions de climat et d'altitude contraignantes.

L'aspect minéral de la protection permet également une très bonne intégration dans le site préservé de la haute vallée des Villards (photo 3).

# La source de la Prime à Auzat

*Jérôme Bonaccorsi*  
RESPONSABLE TECHNICO-COMMERCIAL SUD-OUEST  
France Gabion

## ■ PRÉSENTATION DU PROJET

La source de la Prime située sur le territoire communal d'Auzat en Ariège (09) est une zone sensible sur le plan environnemental puisqu'elle est à l'amont des zones de captages des "Eaux de Montcalm", eaux de source mises en bouteille et commercialisées.

Cette société de captage a été régulièrement confrontée à des gros problèmes de pollution dus essentiellement à un fort transport solide provoqué par

une érosion naturelle du fond du lit et à des débordements fréquents lors des crues.

Le Service de Restauration des Terrains de montagnes de l'Ariège basé à Foix a donc proposé la réalisation d'une succession d'ouvrages hydrauliques transversaux afin de limiter l'érosion et contenir les crues.

La solution mise en œuvre par la société Navarre Sarrazy, consistait en la réalisation de dix ouvrages poids en gabions positionnés en cascade et transversalement au lit du cours d'eau. Le gabion est une structure souple en grillage double torsion galvanisé, remplie de cailloux récupérés sur le site. Le gabion a donc permis la réalisation d'ouvrages drainant, retenant les éléments charriés par la crue et ralentissant les vitesses d'eau sans en gêner l'écoulement.

Au-delà de l'aspect purement technique, la solution de l'aménagement en gabions a été préférée car elle permettait de résoudre certaines autres difficultés rencontrées par le Service de Restauration des Terrains de montagnes comme les difficultés d'accès sur le site, les difficultés d'intégration paysagère et répondait parfaitement à leur volonté de minimiser l'impact au niveau environnemental (photos 4 et 5).



Photos 4 et 5  
Vue des ouvrages  
transversaux  
après travaux

*View  
of the transverse  
structures  
after the works*



## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Maître d'œuvre*  
RTM

*Entreprise*  
SNS

*Fournisseur*  
France Gabion

# Le ru de l'Ecanet à Villers Bocage

*Guillaume de Pous*  
RESPONSABLE TECHNICO-COMMERCIAL  
NORD-OUEST  
France Gabion

## ■ PRÉSENTATION DU PROJET

Le ru de l'Ecanet qui coule à Villers-Bocage en Basse Normandie (14) reçoit depuis quelques mois une partie des eaux pluviales de la nouvelle autoroute A84 (autoroute des Estuaires Caen-Rennes) modifiant ainsi son équilibre naturel. Une forte érosion régressive du lit du cours d'eau créant des désordres importants a été constatée.

L'entreprise Lafosse et fils spécialisée dans les travaux hydrauliques et France gabion ont proposé après un diagnostic de terrain une solution "mixte" : un ouvrage hydraulique performant entièrement végétalisé.

## ■ LA SOLUTION RETENUE

La solution mise en œuvre consiste à stabiliser le lit du cours d'eau avec des seuils transversaux et un lit de matelas Reno. Les matelas Reno recouvert d'un Macmat® RM protègent le lit et le pied des berges. La partie haute des berges est protégée par une bionatte tressée en fibre coco. Le profil en travers du cours d'eau a été modifié en réduisant la pente des berges pour donner le maximum de section hydraulique.

Le matelas Reno est une structure souple en grillage double torsion galvanisé au Galfan® et plastifié,

**Photo 6**  
Site avant réalisation des travaux  
*Site before execution of the works*



**Photo 7**  
Mise en place des matelas Reno®  
*Installation of Reno® mattresses*



**Photo 8**  
Après travaux pose des matelas + Macmat et recouvrement de terre végétale. Début végétalisation  
*After the work, laying of mattresses + Macmat and covering with top soil. Start of revegetation*

remplie de cailloux qui s'adapte à la géométrie du site. Le matelas dissipe une partie de l'énergie du cours d'eau dans son épaisseur. La structure est remplie de cailloux (60-150 mm) et les vides sont saturés de terre végétale. En sous-face, un géotextile filtrant assure la stabilité du support vis-à-vis des vitesses résiduelles.

Le Macmat® RM est une géogrille synthétique armée d'un grillage double torsion plastifié permettant l'enracinement du couvert végétal et résistant à de fortes tensions tangentielles (photos 6 et 7). Cette solution permet de faire face aux contraintes hydrauliques fortes et de reconstituer la rypisilve (zone de transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre, important pour le pouvoir auto-épuration d'un cours d'eau). La protection en matelas Reno reste perméable et régule les échanges cours d'eau/nappe.

L'étagement des niveaux de protection correspond à l'étagement des sollicitations dans un souci d'optimisation technico-financière.

Ce type d'ouvrage est une réponse adaptée aux besoins actuels en matière d'aménagements de berges :

- ◆ favoriser l'infiltration naturelle et ralentir les vitesses sur le tronçon aménagé pour diminuer les pics de crue ;
- ◆ respecter la topographie du site et constituer un support à la végétation ;
- ◆ résister aux crues aux débits élevés et aux périodes de retour de plus en plus courtes (photo 8).

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Maître d'œuvre*  
Service technique de la ville  
*Entreprise*  
Lafosse & Fils  
*Fournisseur*  
France Gabion

## ► Les berges de la Somme à Abbeville

*Stéphane Heude*

RESPONSABLE TECHNICO-COMMERCIAL NORD-EST  
France Gabion

### ■ POUR UNE PROTECTION EFFICACE ET RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT

Un peu plus d'un an après les terribles inondations qu'ont subies les habitants de certains quartiers d'Abbeville, des travaux ont été entrepris pour surélever et consolider les tronçons de berges les plus endommagées.

Aussi, dans le cadre très naturel de la vallée de la Somme, la solution retenue devait au-delà de l'aspect technique s'intégrer parfaitement dans le paysage.

La solution des matelas Reno a parfaitement répondu aux exigences techniques grâce à une protection efficace permettant au fleuve de conserver une section mouillée importante, pour un meilleur écoulement et une meilleure évacuation de l'eau vers la mer.

Les exigences paysagères ont été aussi totalement satisfaites car après la mise en place de la terre végétale et hydroensemencement, les berges ont été complètement végétalisées.

En effet, les structures matelas Reno s'effacent pour laisser la nature reprendre naturellement ses droits.

### ■ DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Les travaux ont débuté durant l'été 2002, faisant suite à une étude de faisabilité et d'impact du bureau d'étude BCEOM. La maîtrise d'œuvre a été faite par le Service des Grands travaux routiers d'Amiens, en collaboration avec le Service Navigation. La première tranche de ces travaux a été réalisée par l'entreprise SND-Apinor du mois de septembre au mois de décembre 2002.

Durant cette période, 1 800 matelas Reno de dimension 6 x 2 x 0,17 ont été mis en œuvre, le grillage constituant la structure ayant une maille de 60 x 80 mm et un fil de 2,2 mm de diamètre revêtu de Galfan (alliage eutectique 95 % zinc + 5 % aluminium).

Ce chantier a permis de renforcer 3 600 m de berges. Les matelas sont formés et remplis sur une aire de préfabrication et transportés sur le lieu de mise en œuvre sur une barge.

Grâce à leur structure (une seule nappe de grillage constitue le fond, les côtés et les doubles diaphragmes), les matelas Reno sont facilement manipulables par un système de palonnier pneumatique adapté sur une pelle hydraulique.

La pose de ces matelas est ainsi possible en eau. Après leur mise en place sur les berges, ils sont ensuite liaisonnés les uns aux autres avec des agrafes (pour assurer la continuité de la structure) (photos 9 et 10).

Photo 9  
Pose des matelas  
*Mattress laying*



Photo 10  
Vue de la berge après recouvrement de terre végétale et hydroensemencement pour que l'intégration de cette nouvelle structure se fasse plus rapidement dans son environnement

*View of the bank after covering with top soil and hydroseeding so that this new structure may be integrated more rapidly into its environment*

# Protection d'émissaire en mer

## Plage de l'Almanarre à Hyères

**René-Noël Trouilhas**  
RESPONSABLE TECHNICO-COMMERCIAL SUD-EST  
France Gabion

### ■ PRÉSENTATION DU PROJET

Dans le cadre de la réparation d'une conduite de rejet en mer sur la plage de l'Almanarre à Hyères, un système technique simple, efficace et fiable a été retenu par les services techniques de la ville. Le problème étant de protéger une conduite immergée contre l'érosion du fond marin à faible profondeur et de réaliser les travaux rapidement avant la saison estivale.

### ■ LA SOLUTION RETENUE

La solution avec des matelas de gabion de type Reno® a donc été retenue. Cette technique a déjà été utilisée avec succès dans de nombreuses applications notamment sur des émissaires en Corse.

Ces matelas Reno®, conçus par France Gabion répondent à des critères de sécurité et de qualité spécifiques.

Un matelas Reno® est une structure parallélépipédique de grande surface et de faible épaisseur, employée en protection de berges, protection anti-affouillements, stabilisation de fonds de lit et de conduites immergées.

La structure est fabriquée à partir de grillage à maille hexagonale double torsion avec un revêtement Galfan® (alliage eutectique 4 fois supérieur en durabilité à une galvanisation riche) renforcé d'un PVC en application hydraulique.

Le matelas Reno® est constitué de cellules de 2 m de large séparées par des diaphragmes tous les mètres; il est fabriqué par pliage d'une seule nappe de grillage constituant le fond, les côtés et les séparations ce qui est un gage de solidité et de sécurité; seul le couvercle est indépendant. La structure est préfabriquée avec des longueurs de 3, 4, 5 ou 6 m et avec des épaisseurs de 23 ou 30 cm (photo 11).

Les avantages du matelas Reno® sont :

- ◆ monolithisme et souplesse;
- ◆ épaisseur de protection garantie;
- ◆ sécurité, la double torsion est indémaillable;
- ◆ durabilité, par la protection du fil de maille;
- ◆ facilité et rapidité de montage.

Douze matelas Reno® de 3 x 2 x 0,30 d'un poids de 500 kg/m<sup>2</sup> environ ont été mis en place.

### ■ DÉROULEMENT DU CHANTIER

#### 1) Préfabrication sur le site des structures :

- ◆ mise en forme des structures prépliées en usine;
- ◆ remplissage avec des cailloux de granulométrie 60 x 130 à l'aide d'une pelle hydraulique;
- ◆ incorporation de fers à béton horizontaux en partie haute pour faciliter le levage et la manutention;
- ◆ mise en place du couvercle et ligature à l'aide d'agrafes en inox.



Photo 11  
Vue des matelas Reno® remplis, prêts à être posés en eau

*View of filled Reno® mattresses ready to be laid in water*

#### 2) Mise en œuvre depuis la plage à l'aide d'une grue sur porteur munie d'une flèche télescopique jusqu'à 42 m et supervisée par un plongeur :

- ◆ recouvrement de la canalisation de 800 mm d'un tout-venant de granulométrie 0/30;
- ◆ mise en place des matelas Reno au-dessus en lestage et protection anti-érosive;
- ◆ ancrage des matelas de part et d'autres par un plongeur.

Une demi-journée de préparation et une demi-journée de mise en œuvre ont été nécessaires à l'intervention.

Par leurs qualités techniques et de rapidité de mise en œuvre, les matelas Reno® sont une solution économique aux problèmes d'érosion et sont parfaitement adaptés aux applications maritimes.

De plus, France Gabion commercialise également des matelas Sarmac préfabriqués et prêts à l'emploi, pouvant sur demande en fonction de l'utilisation, avoir un poids spécifique adapté au besoin tel que lestage lourd en cas de fortes sollicitations.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Bureau d'études*  
BEI à Biguglia (Corse)

*Maître d'ouvrage*  
Ville de Hyères (Var)

*Entreprise*  
EURL Birukoff à Hyères

*Fournisseur*  
France Gabion

## ► Aménagement hydro-agricole du bassin de l'Anambe au Sénégal

Dissipateur d'énergie en gradins de gabions à l'aval du déversoir du barrage d'Al Bassam de Niandouba

*Michel Courtaud*  
DIRECTEUR AFRIQUE DOM TOM  
France Gabion

### ■ PRÉSENTATION DU PROJET

Dès le début des travaux de construction du barrage d'Al Bassam, la société Fougerolle Sénégal mandataire du marché, confia à France Gabion, l'étude d'une variante du coursier évacuateur de crues prévu initialement en béton.

Compte tenu de la géologie du site, il était impossible de fonder un ouvrage rigide en béton, sans avoir recours à des procédés de fondations spéciaux (micropieux, pieux ballastés...). Le coût de revient de ce type d'ouvrage, engendrant des dépassements budgétaires conséquents, la société Fougerolle Sénégal a cherché des solutions alternatives.

L'esprit de la conception de l'ouvrage consista donc à restituer au lit mineur de la rivière distant de 300 m, le débit de crue 400 m<sup>3</sup>/seconde (fréquence 1/10 000, lame d'eau 1,80 m) par une structure souple et monolithique capable d'absorber des tassements différentiels, tant en dissipant intégralement l'énergie du flux sur une largeur de 100 m et une dénivellée de 11,40 m afin d'éviter toute possibilité d'érosion régressive à l'aval.

Les données hydrauliques et le fonctionnement hydraulique de l'évacuateur de crue ont été certifiés par les bureaux d'études Sogreah et Socotec.

Les données géotechniques et de contrôle ont été fournies par le maître d'œuvre Tecslut International.

### ■ LA TYPOLOGIE DE L'OUVRAGE

La géométrie de l'ouvrage en gradins de gabions, résulte des études récentes réalisées par le Cemagref, dans le cadre de ses recherches sur les dissipateurs d'énergie et par la société France Gabion dans le cadre des applications des solutions "gabion" et de la recherche de la qualité dans leur confection et élaboration.

Les aménagements en gabions ont été réalisés à l'aide de gabions (1), jumbo (2) matelas Reno (3) et Terramesh® System (4), confectionnés à partir de grillages double torsion en acier galvanisé revêtu de PVC extrudé à chaud, conformes aux normes et spécifications européennes.

Un filtre en géotextile de classe 3 a été disposé en sous-face et à l'arrière des structures gabions afin d'éliminer tout risque d'érosion du terrain naturel sous l'ouvrage.

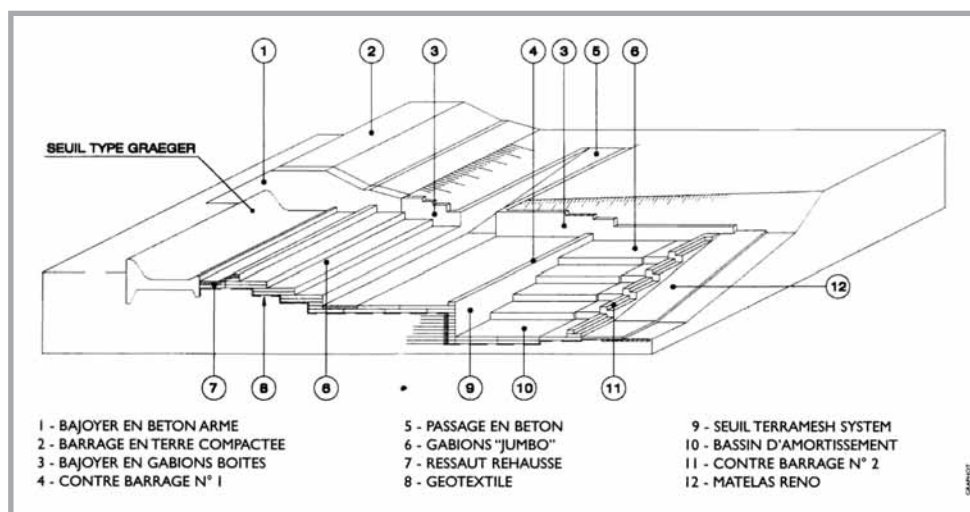


Figure 1  
Perspective du dissipateur d'énergie en gradins

*Perspective view of the stepped energy dissipator*



Photo 12  
Vue aval du déversoir du barrage d'Al Bassam

*Downstream view of the weir of the Al Bassam Dam*

## ■ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'ouvrage est constitué de trois parties distinctes :

- ◆ le profil Graeger en béton prévu initialement ;
- ◆ le profil en gradins de gabions "jumbos" ;
- ◆ le profil à paroi verticale en "Terramesh® System".

Chaque partie est épaulée latéralement par les bajoyers réalisés en gabions boîte (figure 1 et photo 12).

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### *Maître d'ouvrage*

République du Sénégal - Sodagri

#### *Bureau d'étude et maître d'œuvre*

Tecsult International - MDI Sénégal

#### *Bureau de contrôle*

Socotec International

#### *Consultants*

Sogreah - France Gabion

#### *Entreprises*

Fougerolle Sénégal - C.S.E

### ABSTRACT

From design to construction : controlled management of the environment

*Various authors*

Management of water and water resources is a major problem which is central to thinking and major efforts being made at the international level. France Gabion has been engaged in this battle for many years now, developing and recommending appropriate solutions to various hydraulic engineering problems encountered. Prevention and development in the hydraulic engineering area form part of the company's expertise, with a keen concern for integration of structures into their environment. Developments in the mountains, coastline developments and protection of discharge channels, bank protection, water management in rural areas, and management of irrigation and water resources in Africa are just a few examples of hydraulic developments described in this article.

### RESUMEN ESPAÑOL

Desde el diseño hasta la ejecución : una gestión dominada del medio ambiente

*Autores diversos*

La gestión del agua y de sus recursos constituye una importante problemática que se sitúa en pleno centro de una reflexión y de un combate que interviene a nivel mundial. Desde hace ya muchos años, France Gabion ha intervenido en esta batalla desarrollando y preconizando soluciones adaptadas a los diversos problemas hidráulicos con que se tropieza. Prevenir y acondicionar en el sector de la hidráulica forma parte de la pericia y experiencia práctica de esta empresa, insistiendo fundamentalmente con respecto a la integración de las estructuras en su medio ambiente. Los acondicionamientos en montaña, así como en el litoral y la protección de emisarios, protección de las márgenes de ríos, gestión del agua en zonas rurales, y pasando por la gestión de los riegos y de los recursos hídricos en África, son otros tantos ejemplos de

acondicionamientos hidráulicos que se presentan en este artículo.



#### **Pour toute information :**

◆ **Contact** : Francis Derache  
Bureau technique France Gabion  
29, rue Rossini - BP 8  
26901 Valence Cedex 9  
Tél. : +33 (0) 4 75 86 19 99  
Fax : +33 (0) 4 75 86 09 19  
e-mail : bet@francegabion.com

# Captage des eaux par puits à drains

Le captage des eaux souterraines en milieu alluvionnaire permet d'obtenir des débits considérables ponctuellement. Cette technique a permis de satisfaire, à partir de plus de 500 ouvrages réalisés en France, de nombreuses agglomérations importantes.

Un exemple de réalisation récente est celui de la Voulte-sur-Rhône (07) décrit dans cet article. Un puits à drains est constitué d'un cuvelage en béton armé de 10 à 20 m de profondeur et 3 m de diamètre intérieur. A partir de ce cuvelage, on fonce des drains horizontaux en acier sur quelques dizaines de mètres de longueur.

Les avantages du puits à drains rayonnants horizontaux sont liés à des rendements hydrauliques considérables, à une durée de vie très importante et à une possibilité de capter, sur un front de nappe étendu, des horizons parfois peu épais, en profondeur.

La régénération de ces ouvrages s'effectue très aisément à partir de méthodes bien éprouvées et, en général, les puits à drains colmatés sont très anciens car le colmatage n'intervient que tardivement, du fait d'une très forte surface de captage. Les traitements des ouvrages permettent souvent de restituer le débit d'origine.

L'activité de construction d'ouvrage de captage d'eau est désormais limitée en France car l'administration incite à réhabiliter les ouvrages plutôt qu'à en construire de nouveaux.

Entreprises de forage et maîtres d'œuvre spécialisés devraient se concerter, voire même s'associer pour réaliser les ouvrages de captage d'eau, et offrir à leurs clients des opérations clefs en main. Une meilleure maîtrise de telles opérations, certes pointues, mais dont le poids économique est faible, serait ainsi assurée et autoriserait une bonne gestion des captages d'eau en France. Ceci permettrait en outre de limiter singulièrement le nombre et l'importance des litiges fréquents et coûteux observés dans la profession.

**A** l'heure actuelle, l'habitant d'une grande ville consomme, dix fois plus d'eau qu'il y a un demi-siècle. Certaines zones industrielles exigent souvent un débit supérieur à celui des villes attenantes. Dans le même temps, la contamination des rivières par toutes sortes de déchets rend de plus en plus difficile leur traitement.

De ce fait, le recours aux eaux du sous-sol a pris une importance accrue. Tout particulièrement dans les plaines alluviales des grandes vallées françaises, qui fournissent la majeure partie de l'eau potable souterraine distribuée dans notre pays, et dans de nombreux autres pays.

Mais capter en terrain alluvionnaire n'est pas toujours aisé. Dans ces formations meubles et hétérogènes, les niveaux très perméables peuvent être peu épais et irrégulièrement répartis, et pour cette raison un captage sélectif peut s'avérer souhaitable.

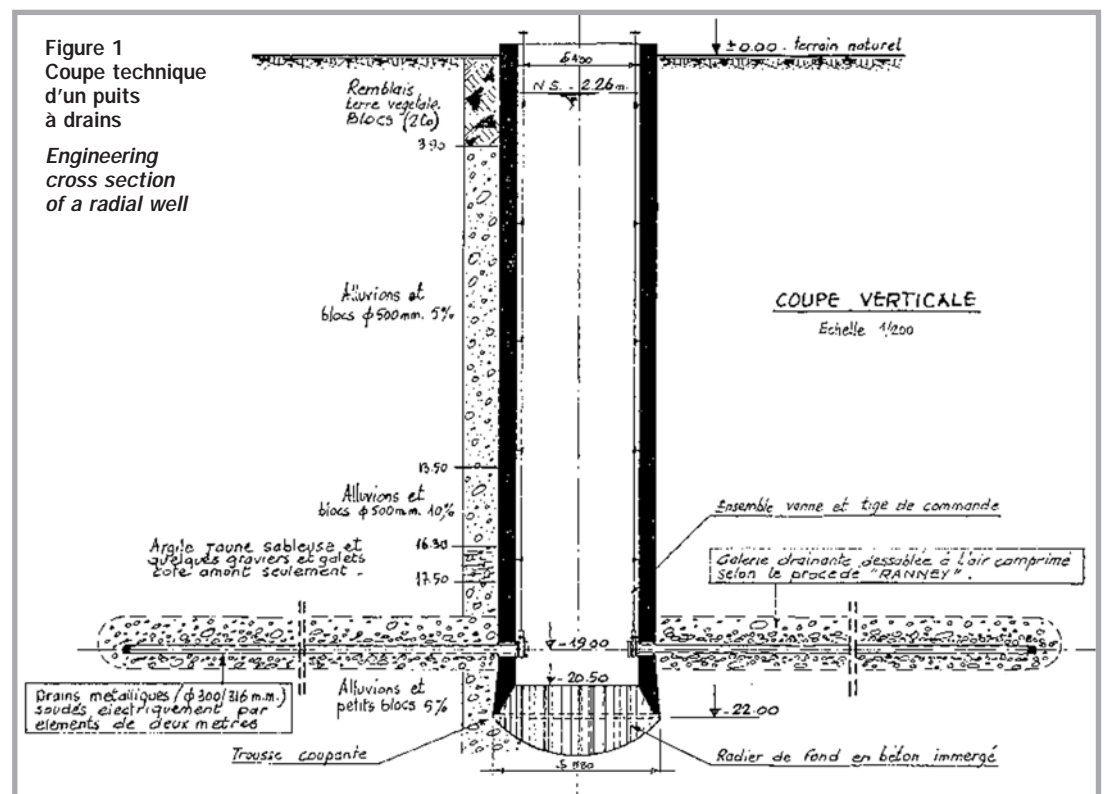
Par ailleurs, des difficultés majeures proviennent de la densité croissante du "tissu" urbain ou industriel au voisinage des grandes agglomérations. Qu'il s'agisse de l'écartement à respecter entre les puits pour éviter qu'ils ne s'influencent mutuellement, de la distance à la rivière qui assure la réalimentation de la nappe ou des périmètres réglementaires de protection, une station classique

de pompage en alluvions exige, pour peu que les besoins soient élevés, de pouvoir disposer de superficies considérables.

Cependant, en zone urbaine ou périurbaine, la valeur des terrains est devenue telle que les investissements correspondants peuvent être prohibitifs, en admettant même que ces terrains puissent être rendus disponibles, ce qui est de plus en plus rarement le cas.

Il s'agit là, sans aucun doute, d'un des avantages fondamentaux des puits à drains rayonnants : pouvoir réaliser en nappe alluviale un captage, qui, à rabattement de nappe égal, fournit le débit de plusieurs (3 à 10) puits ou forages classiques, et permet de ce fait de s'affranchir au maximum des servitudes de plus en plus lourdes, liées à la multiplicité des points de prélèvement : accroissement du débit des zones de captage en service à l'intérieur de leurs limites, réduction du nombre des installations de pompes, superficie réduite d'occupation pour les conduites et les lignes électriques ; compression des frais de surveillance et d'exploitation.

On soulignera encore que la possibilité de sélectionner un horizon aquifère déterminé peut permettre une amélioration de la qualité de l'eau, soit que l'on fasse appel à un niveau dont la qualité chi-



# souterraines rayonnants

mique est plus favorable, soit qu'elle se traduise par une meilleure épuration bactériologique, soit que la température y soit plus constante.

On notera enfin d'autres avantages techniques très significatifs de ce genre de captage : très forte réduction des risques de colmatage même pour des débits considérables, souplesse et sécurité de fonctionnement liées au fait que chaque drain est muni d'une vanne et peut ainsi être mis hors service.

Il existe environ 500 puits à drains rayonnants en France, répartis sur tout le territoire, en bordure de toutes les grandes rivières : la Garonne, la Loire, la Meuse, la Seine, le Rhin, le Rhône, l'Isère, la Marne, l'Adour, la Dordogne, la Durance, le Var, la Moselle, etc.

Les premiers puits collecteurs à drains rayonnants construits en France le furent par la société SRCE Classe il y a plus de cinquante ans, sous licence américaine. Cette société a d'ailleurs mis en œuvre cette technique en Europe, en Afrique, en Inde, etc. en collaboration avec la société Sondalp.

## ■ PRINCIPE DES PUIITS À DRAINS RAYONNANTS HORIZONTAUX

Un puits à drains rayonnants comporte deux parties distinctes (figure 1) : cuvelage et drains.

Le **cuvelage vertical étanche**, en béton armé, de 2 à 4 m (voire 6 m) de diamètre intérieur, est foncé par havage dans le sol à une profondeur variable (5 à 50 m) selon le contexte hydrogéologique. Le cuvelage est ensuite obturé, fermé par un radier en béton immergé.

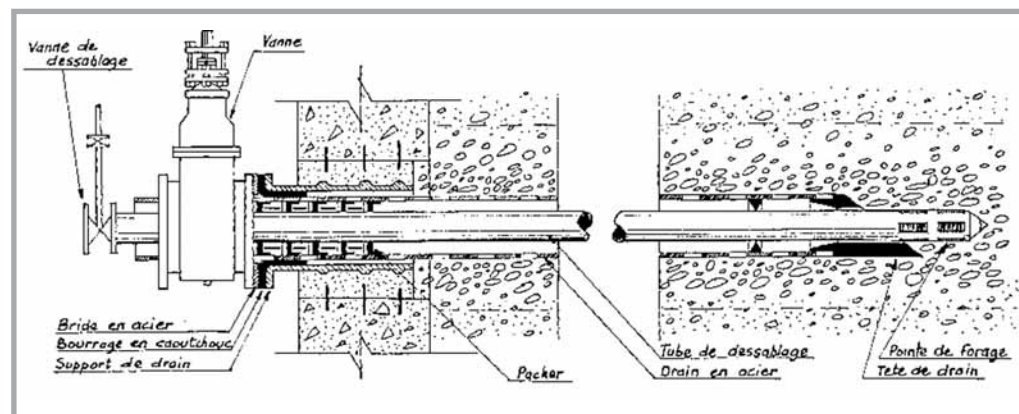
Les **drains horizontaux** sont foncés dans l'aquifère, au travers des parois du cuvelage, à l'aide d'une presse hydraulique. D'un diamètre de 200 ou 300 mm et d'une longueur de quelques dizaines de mètres, les drains sont en général au nombre de deux à huit (souvent quatre ou six).

Ces drains sont munis d'une tête spéciale laissant passer un tube de dessablage qui permet de décompresser le terrain pendant le fonçage, par enlèvement du sable et du gravier à travers ces fentes (figure 2).

Les sociétés SRCE Classe et Sondalp mettent en œuvre ce procédé de fonçage qui permet d'effectuer un dessablage au fur et à mesure de l'avance des drains et facilite ainsi l'enfoncement du drain. Se constitue alors dans le terrain, une gaine formée par les seuls éléments grossiers du terrain, elle-même véritable drain naturel artificiel autour du drain métallique.

Le drain est ensuite fermé par une vanne placée à l'intérieur du cuvelage et commandée par l'intermédiaire d'une tige de manœuvre depuis le plancher de service.

La détermination des principales caractéristiques d'un puits à drains horizontaux (profondeur, nombre de directions, longueur totale et diamètre des drains) est faite en fonction des débits recherchés et des paramètres hydrauliques de l'aquifère. Les débits des puits à drains sont généralement compris entre 100 et 1000 m<sup>3</sup>/h et ils peuvent atteindre 4000 m<sup>3</sup>/h (en France), ce qui est considérable.



## ■ EXEMPLE DU PUIITS À DRAINS RAYONNANTS HORIZONTAUX DE LA VOULTE-SUR-RHÔNE

Afin d'illustrer l'exécution d'un puits à drains rayonnants, la récente réalisation d'un puits à drains rayonnants à la Voulte-sur-Rhône (07) est décrite ci-après à titre d'exemple.

Dans le cadre d'un projet de captage des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable, et à la demande du Syndicat de production d'eau Rhône-Eyrieux, les sociétés SRCE Classe et Sondalp ont réalisé en 2000 un puits à drains rayonnants, à la Voulte-sur-Rhône, en bordure du Rhône, sur la rive droite (Ardèche).

## ■ CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Afin de reconnaître la géologie et les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère alluvial du Rhône, une campagne de reconnaissance hydrogéologique a été effectuée par la société SRCE

Christian Archambault  
PRÉSIDENT DU CONSEIL  
DE SURVEILLANCE  
Archambault Conseil

Pierre Galtier  
CONSEILLER TECHNIQUE  
SRCE Classe

Alain Jouty  
DIRECTEUR  
Sondalp

Olivier Murzilli  
MEMBRE DU DIRECTOIRE  
Archambault Conseil

Figure 2  
Détail d'un drain  
et des pièces utilisées  
pour le fonçage  
Detail of a drain  
and parts used for driving





Clausse en mars 1997. Cette campagne a consisté à réaliser un forage de reconnaissance et deux piézomètres, puis des essais de pompage. Le forage de reconnaissance a été réalisé selon la technique Benoto, jusqu'au toit du substratum argileux, à une profondeur de 12 m.

Figure 3  
Coupe technique  
du puits à drains  
de La Voulte-sur-Rhône

Engineering  
cross section  
of the radial well  
at Voulte-sur-Rhône

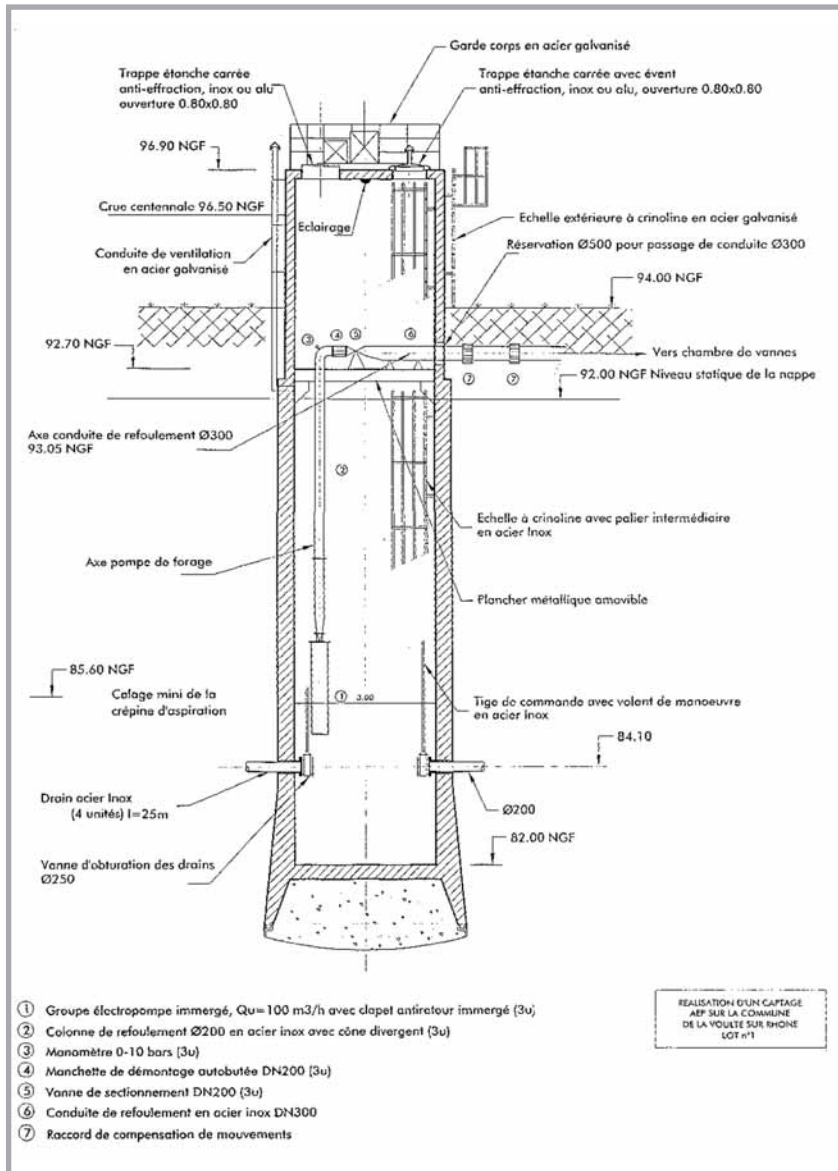


Photo 4  
Partie  
tronconique  
Tapered section



Les deux piézomètres d'une profondeur de 12 m ont été réalisés selon la technique du marteau fond de trou à l'air avec tubage à l'avancement. Les terrains rencontrés lors de la foration au droit des trois ouvrages sont assez homogènes. Depuis le sommet de la nappe situé à environ 2 m du terrain naturel jusqu'au toit du substratum argileux (marnes bleues du Pliocène), les alluvions sablo-graveleuses de l'Eyrieux et du Rhône ont été reconnues avec une tendance plus graveleuse et grossière à la base.

Les essais de pompages ont permis de déterminer une transmissivité de  $10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s, et une perméabilité de  $10^{-2}$  m/s. En outre, il a pu être mis en évidence une bonne alimentation de la nappe par l'Eyrieux et le Rhône.

Le mode de captage devait donc être défini en fonction à la fois des paramètres hydrauliques de l'aquifère et du débit d'exploitation recherché de 450 m<sup>3</sup>/h. La création d'un puits à drains rayonnants horizontaux a été retenue, plutôt qu'un ouvrage classique, forage en gros diamètre (ou puits en béton avec barbacanes) qui n'aurait pas permis d'obtenir satisfaction.

Un projet a donc été établi pour ce puits à drains (figure 3) et les travaux ont ensuite été réalisés conformément aux prévisions.

## ■ RÉALISATION DU CUVELAGE DU PUIITS À DRAINS RAYONNANTS

La construction du cuvelage en béton armé, a duré 1,5 mois. Ce cuvelage d'une hauteur totale de 15 m (y compris la tête de puits, hors sol de 3 m) est constitué de "tambours" d'une hauteur de 1 à 2 m et donc l'épaisseur des parois est de 0,40 m.

La base du cuvelage est constituée d'un élément d'une hauteur de 1 m, dont les parois intérieures sont de forme tronconique; il est équipé à la base d'une trousse "coupante" métallique (photo 4). Cet aménagement de la base du puits permet de descendre par havage correctement (verticalité) le cuvelage jusqu'au substratum en limitant les frottements latéraux des parois contre le terrain.

Le ferrailage et le bétonnage des tambours ont été réalisés progressivement, au fur et à mesure du havage des tambours. Les étapes successives ont été les suivantes : ferrailage (photo 5) et reprise de bétonnage, coffrage extérieur et intérieur, bétonnage d'un tambour, attente et décoffrage, havage (creusement) à l'aide d'un grappin (photos 6 et 7).

En fin de havage, le fond du cuvelage a été obturé par un "bouchon" de béton immergé afin de former le radier. L'épaisseur de ce radier est importante, de l'ordre de 3 m, afin qu'il puisse résister à la pression hydrostatique lors de la vidange du cuvelage.

## ■ FONÇAGE DES DRAINS ET DÉSSABLAGE

Le fonçage (poussage) des quatre drains en acier inoxydable d'un diamètre de 200 mm, pour une longueur totale de 100 m, a duré 1 mois. Des précautions spéciales sont prises pour la sécurité du personnel travaillant au fond du puits en raison des risques liés à la pression hydrostatique ; les travaux étant réalisés en fond de cuvelage avec pompage permanent (plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/h).

Il a été procédé au percement du cuvelage sur la moitié de l'épaisseur de la paroi, puis au scellement des manchettes des quatre directions. Le percement de la paroi du cuvelage a été achevé au début du fonçage des drains qui ont été foncés horizontalement à l'aide d'une presse hydraulique (photo 8). Les drains sont munis d'une tête de fonçage à travers laquelle est introduit un tube de dessablage dont la tête dépasse la tête de fonçage du drain (figure 2). Le tube de dessablage est donc mobile par rapport au drain. Un mouvement de va-et-vient de ce tube à l'intérieur du drain permet ainsi, par l'intermédiaire de la pointe de dessablage, d'éliminer les fines (sables et petits graviers). Le terrain est alors décomprimé devant le drain dont on peut alors continuer le poussage.

La zone dessablée constitue une véritable gaine autour du drain, dont la perméabilité est très forte. On augmente donc d'une façon extrêmement importante la surface captante réelle du drain ainsi développé. Le diamètre de cette gaine dessablée est fonction de la nature des alluvions. Elle peut atteindre dans certains cas des valeurs considérables de l'ordre de 1 à 2 m. Cette technique permet de diminuer fortement les risques ultérieurs d'entraînement des éléments fins.

Les drains sont foncés selon cette technique de dessablage par éléments de 2 m de longueur. Chaque nouvel élément est soudé au précédent en fond de puits (photo 9). Lorsque le drain poussé dans le terrain atteint la longueur voulue, le tube de dessablage est extrait du drain ; le clapet situé au niveau de la tête de fonçage du drain se referme et permet l'obstruction du drain. Une vanne est ensuite mise en place.

## ■ ESSAIS DE POMPAGE ET RÉSULTATS

A la fin des travaux, un développement par pompage de chaque drain, d'une durée de 4 heures, a été effectué, les autres drains étant isolés par les vannes. Chacun des quatre drains a été successivement sollicité à des débits croissants atteignant 230 m<sup>3</sup>/h. Ces développements à débits croissants ont permis de tracer la courbe caractéristique (courbe de débit Q en fonction du rabattement de la nappe s - baisse du niveau d'eau) propre à chaque



Photo 5  
Coffrage  
et ferrailage  
*Shuttering  
and reinforcement*



Photo 6  
Havage d'un tambour  
*Cutting a drum*



Photo 7  
Cuvelage have  
*Cut lining*



Photo 8  
Fonçage  
d'un drain  
*Driving  
a drain*



Photo 9  
Soudure  
d'un drain  
*Welding  
a drain*

Figure 10  
Courbes  
caractéristiques  
des drains  
et du puits à drains

Characteristic curves  
of the drains  
and radial well

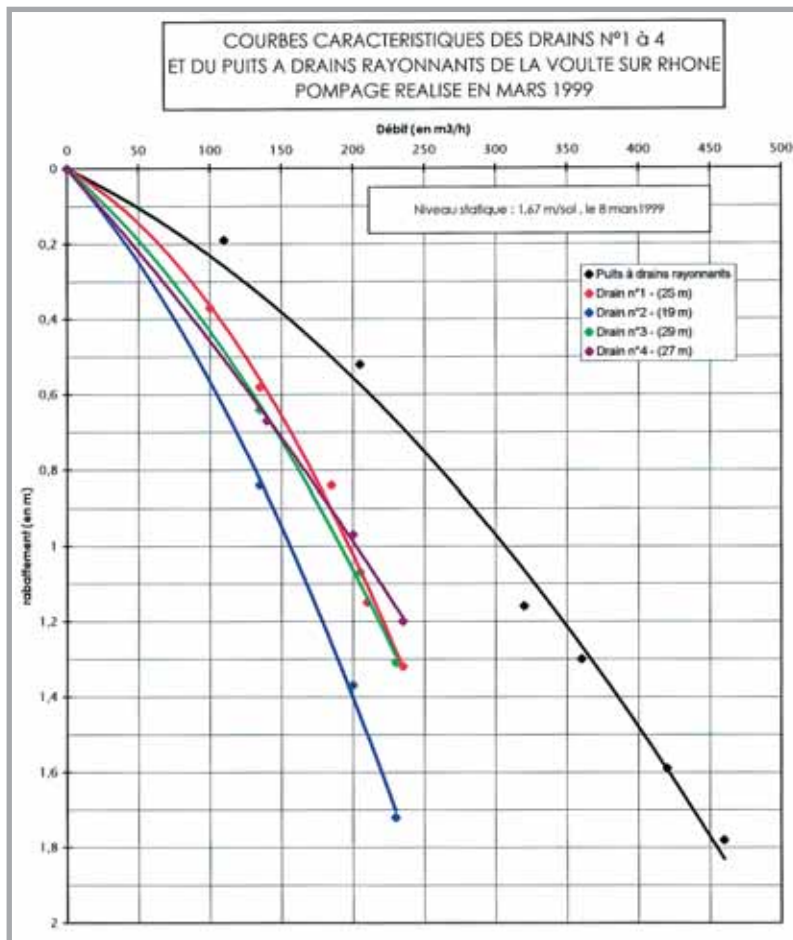


Photo 11  
Equipement  
hydraulique d'un puits  
à drains

Hydraulic equipment  
of a radial well



drain. Cette courbe caractéristique constitue la fiche d'identité de la production de chaque drain. Les débits spécifiques (débit divisé par le rabattement :  $Q/s$ ) observés lors de ces développements étaient compris entre 130 et 190  $m^3/h$ .

Ensuite un essai de pompage global du puits (quatre drains ouverts) par paliers (à débits croissants) de 24 heures a été entrepris jusqu'au débit de 460  $m^3/h$  avec un rabattement de l'ordre de 2 m, soit un débit spécifique de 230  $m^3/h$ . La courbe caractéristique du puits a ainsi été définie (figure 10). Ce pompage a été suivi d'un pompage réglementaire de longue durée durant 72 heures, à l'issue duquel une analyse chimique et bactériologique de l'eau a été effectuée.

La détermination des courbes caractéristiques respectives de chacun des drains et du puits est très importante puisque celles-ci constituent les fiches d'identité de la production de chaque drain et de l'ouvrage. L'analyse de ces courbes caractéristiques d'origine permettra de mettre en évidence, ultérieurement, d'éventuels phénomènes de colmatage de l'ouvrage qui se traduira par une baisse de productivité et donc par une diminution du débit spécifique... dont rendra compte la nouvelle courbe caractéristique de l'ouvrage colmaté.

Lorsque toutes les directions de drains et les essais de pompages sont achevés, la tête de puits (hors sol), ainsi que les finitions (tiges de commandes des vannes des drains, plancher d'intervention, échelle d'accès...) sont réalisées (photo 11).

## ■ SURVEILLANCE DIAGNOSTIC ET RÉHABILITATION DES PUIS À DRAINS RAYONNANTS HORIZONTALS

Un contrôle systématique et un diagnostic assez fréquent (tous les 3 à 5 ans) de l'état des ouvrages de captage et donc des puits à drains sont nécessaires pour une bonne gestion de la ressource en eau souterraine. La maintenance et un entretien régulier et préventif permettent d'éviter la mise en œuvre ultérieure, dans l'urgence, de réparations toujours plus coûteuses, ou de mesures conservatoires réglementaires (rebouchage onéreux des ouvrages abandonnés, selon les règles de l'art). Il apparaît qu'en France, la dégradation des ouvrages de captage est liée à la vétusté et au manque d'entretien. L'âge des ouvrages de captage, tous types confondus, est compris entre 10 et 50 ans pour environ 70 % d'entre eux et le manque d'entretien aggrave les effets de ce vieillissement. Celui-ci se traduit toujours, à terme, par une réduction du débit d'exploitation de l'ouvrage. Il est donc très important de reconnaître le plus tôt possible les défaillances d'un ouvrage grâce à sa surveillance régulière.

Ces défaillances sont souvent liées à un colmatage de l'ouvrage (crépines). Et un colmatage engendre très fréquemment des venues de fines (colloïdes, sables) néfastes aux équipements (pompes, filtres, canalisations, échangeurs, etc.). Il est donc nécessaire, absolument, de surveiller et décolmater les ouvrages de captage.

Inversement, le colmatage d'un ouvrage de captage peut provenir de la vitesse excessive de l'entrée de l'eau dans l'ouvrage. L'eau entraîne et accumule des éléments fins au voisinage des surfaces de captage de l'ouvrage. Ceci provoque une diminution de la perméabilité et du débit. Il s'agit d'un **colmatage d'origine mécanique**. En général, cela tient à ce que la surface d'entrée de l'ouvrage est

faible, et que le coefficient de sécurité de celui-ci n'a pas été calculé assez largement, ou que l'ouvrage est surexploité.

Lorsqu'on sollicite une nappe par l'intermédiaire d'un puits vertical, on abaisse le plan d'eau jusqu'à dénoyer une certaine hauteur d'aquifère, souvent la moitié au moins de la puissance totale de la nappe (ou de la partie crépinée). Ceci a pour effet de mettre brusquement en milieu aérobie (oxydant), une portion de terrain (ou de crépine) qui évoluait auparavant en milieu anaérobie, c'est-à-dire plus ou moins réducteur.

Or, tandis que le premier milieu favorise la mise en solution des sels divers et notamment des sels de fer (et de manganèse) dans l'eau, le deuxième milieu favorise leur précipitation et finalement le colmatage des alluvions (ou de la crépine) de la zone dénoyée. Il s'agit d'un **colmatage d'origine physico-chimique**. Le fer ainsi précipité, à un très fort volume  $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n(\text{H}_2\text{O})]$  bouche les ouvertures. Le fer ainsi déposé provient en général de la nappe (fer ferreux soluble). Il peut aussi provenir de l'équipement en acier donc de l'ouvrage de captage (désormais on équipe en acier inoxydable les puits à drains rayonnants).

Par ailleurs, des modifications du milieu (passage d'un état de nappe semi-captive à libre par abaissement de la nappe, ou en raison d'une surexploitation ou d'une sécheresse, ou au contraire rehaussement de la nappe par la construction de barrage ou à la suite de crues) peuvent également entraîner le développement de bactéries. Généralement celles-ci obstruent sous forme d'amas gélatineux les arrivées d'eau au niveau de la partie captante de l'ouvrage (drains ou crépines) et réduisent d'autant le débit d'exploitation. Dans la majorité des cas, il s'agit de bactéries du fer et du manganèse, non dangereuses pour la santé humaine, mais très préjudiciables pour l'exploitation de l'ouvrage. Il s'agit d'un **colmatage d'origine bactérienne** qui se superpose fréquemment au processus physico-chimique ci-dessus. Les bactéries peuvent également se développer dans de nombreuses autres situations.

Enfin, l'abaissement du niveau d'eau entraîne la mise hors d'eau d'une partie de l'équipement d'un ouvrage de captage qui est alors soumis à l'action de l'oxygène dissous ou atmosphérique. Des phénomènes de **corrosion** des crépines peuvent alors apparaître dans les forages verticaux... et dans les puits à drains dont on dénoie les drains.

Lorsque l'un de ces processus de colmatage est engagé, l'évolution du colmatage se fait généralement très rapidement (si le débit d'exploitation n'est pas modifié), souvent jusqu'au colmatage complet de l'ouvrage.

Dans le cas d'un puits à drains rayonnants, la très grande surface de captage développée par les drains (et au-delà par la gaine "dessablée") permet de diminuer les vitesses d'entrée de l'eau dans l'ou-

vrage et ainsi, de réduire considérablement l'entraînement des éléments fins du terrain. Par ailleurs, les drains étant par définition toujours noyés, ils sont ainsi soustraits à l'action de l'oxygène dissous ou atmosphérique et donc à tout phénomène de corrosion, lié à cette origine. Enfin, la grande surface des parties captantes rend les puits à drains rayonnants également moins sensibles aux divers colmatages évoqués ci-dessus car la "masse" de terrain aquifère (et de "filtre") à colmater est très importante. Ainsi, l'apparition de phénomènes de colmatage sur un puits à drains rayonnants est généralement beaucoup plus tardive et beaucoup plus limitée que sur un ouvrage vertical.

La surveillance d'un ouvrage de captage comporte quatre volets, nécessitant la mise en œuvre de certains moyens :



Photo 12  
Drain  
colmaté  
Clogged  
drain

- ◆ inspection visuelle générale de la partie hors sol ;
- ◆ inspection des pompes et contrôle des filtres de l'installation ;
- ◆ inspection par caméra vidéo immergée de l'état des parois, des parties hors d'eau et des parties immergées et des surfaces captantes (photo 12) ;
- ◆ pompage d'essai permettant de définir le débit spécifique (Q/s) actuel et comparaison de la courbe caractéristique actuelle à la courbe caractéristique initiale de l'ouvrage.

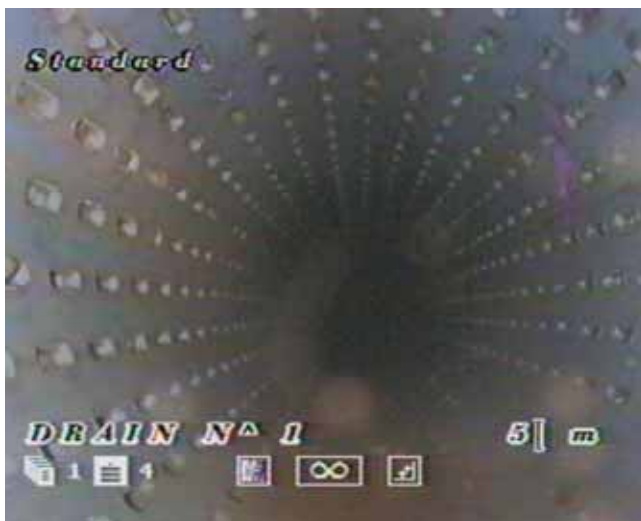
Pour un puits à drains rayonnants la surveillance doit s'exercer de cette manière. Un diagnostic de ce type d'ouvrage doit être effectué selon la méthode ci-dessus, mettant en œuvre personnel et moyens adaptés.

Le bureau d'études Archambault Conseil dispose des moyens nécessaires : caméras vidéo couleur à tête orientable, sondes multiparamètres (température, conductivité, pH, niveau d'eau, oxygène dissous, etc.), micromoulinets, pompes et sondes de niveau pour pompages d'essai, etc. Le personnel (hydrogéologues et foreurs) met en œuvre ces divers matériels.

Après un diagnostic de la nature et de l'origine du colmatage, les travaux de régénération sont réa-

- ▶ lisés généralement selon le programme suivant (spécialement adapté aux puits à drains) :
  - ◆ pompage d'essai préliminaire (caractéristique Q/s) ;
  - ◆ nettoyage du fond du puits ;
  - ◆ traitement mécanique des drains (et du cuvelage) par brossage des parois et élimination des dépôts ;
  - ◆ traitement chimique des drains (et du cuvelage) ;
  - ◆ inspection par caméra vidéo des drains (et du cuvelage) afin de visualiser l'état des parties captantes après traitement (photo 13) ;

Photo 13  
Drain  
régénéré  
Regenerated  
drain



- ◆ pompage de nettoyage et de développement, essai de pompage par paliers. Ce dernier essai doit permettre de tracer la nouvelle courbe caractéristique de l'ouvrage ;
- ◆ traitement bactéricide global.

Il est à noter qu'en fonction du degré de colmatage, plusieurs traitements chimiques et mécaniques peuvent être nécessaires pour obtenir de bons résultats : c'est-à-dire, bien souvent, retrouver un débit voisin du débit d'origine de l'ouvrage.

D'autres défaillances peuvent apparaître autres que celles qui sont liées au colmatage, mais cela est rare surtout dans les puits à drains rayonnants. Dans ce cas on adapte les travaux de réhabilitation nécessaires. On peut en particulier citer le rechemisage des forages mal calculés ou mal réalisés et qui fournissent du sable, au point de les rendre inexploitable. Ces forages à "sable" sont généralement récupérables en définissant de manière très adaptée le *slot* de la nouvelle crépine intérieure (chemise) et la granulométrie du gravier filtre annulaire entre l'ancienne et la nouvelle crépine.

### ■ AVANTAGES DES PUIITS À DRAINS RAYONNANTS HORIZONTAUX

Les puits collecteurs à drains horizontaux, dès leur apparition en France, se sont rapidement imposés

dans de nombreux cas, grâce aux améliorations qu'ils apportaient par rapport aux ouvrages verticaux classiques (puits ou forages).

Les avantages que présentent les puits à drains sont multiples. Ceux-ci sont liés d'une part au très fort rendement hydraulique de ce genre d'ouvrages qui peuvent remplacer un nombre important d'ouvrages de captage verticaux classiques, d'autre part à leur durée de vie qui est bien supérieure à celle de toute autre forme de captage.

Ainsi de nombreux puits à drains fonctionnent encore après un demi-siècle d'existence. La durée de vie de ces ouvrages devrait pouvoir atteindre 100 ans, alors que les forages classiques ont une durée de vie bien inférieure (10 à 20-25 ans).

### ■ RENDEMENT HYDRAULIQUE ET DÉBIT D'EAU CONSIDÉRABLE

Le rendement hydraulique des puits à drains est élevé pour les raisons suivantes :

- ◆ le rabattement maximum admissible peut, à la limite, être égal à la hauteur totale de l'aquifère si les drains sont implantés immédiatement au-dessus du substratum. Dans un ouvrage vertical, le rabattement doit être limité (souvent le tiers ou la moitié de la hauteur de l'aquifère capté) ;

- ◆ le rayon équivalent d'un puits à drains est généralement compris entre 10 et 30 m, alors qu'il est de l'ordre de 0,20 m à 1 m dans un ouvrage vertical. Ceci induit des débits encore accrus de 2 à 3 fois par rapport aux ouvrages de captage verticaux classiques (le débit varie en fonction du logarithme du rayon de l'ouvrage) ;

- ◆ enfin, les drains sont généralement implantés dans le niveau le plus perméable qui servira lui-même de couche drainante par rapport à l'ensemble de l'aquifère, améliorant encore le débit du puits à drains. La méthode utilisée (dessablage intensif) augmentera encore le rendement hydraulique.

Finalement, les rendements sont tels, que dans les conditions hydrauliques données, on obtient fréquemment à l'aide d'un puits à drains un débit équivalent à celui de trois à dix ouvrages verticaux classiques, c'est-à-dire un débit d'eau considérable.

### ■ DURÉE DE VIE IMPORTANTE

La durée de vie des puits à drains est particulièrement importante puisqu'elle peut atteindre 50 ans (voire 100 ans) si l'ouvrage est bien entretenu.

En effet la très grande surface d'échange aquifère - ouvrage de captage limite, pour un débit donné, la vitesse de circulation de l'eau, et donc les risques de colmatage puis d'ensablement.

De plus les drains ne sont jamais dénoyés, et,

de ce fait, ils ne subissent jamais les phénomènes de corrosion et de colmatage intervenant en milieu successivement aérobie et anaérobie à la suite de variations du niveau dynamique de l'eau dans les forages et puits verticaux.

L'exemple de la réalisation récente, décrit ci-dessus, est particulièrement significatif aussi bien en ce qui concerne le rendement hydraulique (puisque les débits spécifiques sont particulièrement élevés), que pour ce qui est des risques de colmatage et d'ensablement (l'eau pompée était parfaitement exempte de sable).

## ■ AUTRES AVANTAGES

Un puits à drains présente finalement de très nombreux avantages, et l'importance de l'investissement qu'il suppose, et qui peut d'ailleurs être modulé dans le temps au fur et à mesure de l'accroissement des besoins, par le fonçage de nouveaux drains, n'est pas incompatible avec une économie globale au niveau d'une adduction générale.

Par ailleurs, la réalisation d'un puits à drains rayonnants peut présenter des avantages économiques sensibles, surtout lorsque le puits à drains doit remplacer plusieurs ouvrages de type traditionnels. Dans ce cas, outre les nombreux avantages techniques énumérés ci-dessus, la construction d'un puits à drains horizontaux entraîne les économies suivantes sur :

- ◆ les terrains, la surface d'implantation nécessaire ainsi que les périmètres de protection étant généralement plus réduits ;
- ◆ la construction des ouvrages eux-mêmes puisqu'il évite de les multiplier ;
- ◆ les conduites, pièces, raccords, etc. ;
- ◆ l'achat de groupes plus puissants et de meilleur rendement ;
- ◆ la possibilité de pousser dans le puits existant quelques drains supplémentaires sans création d'un nouvel ouvrage.

Par ailleurs, les applications des puits à drains dépassent le cadre du captage d'eau industrielle ou potable. En effet, on réalise des puits à drains pour injecter de l'eau et procéder ainsi à la réalimentation artificielle des nappes, et pour drainer des terrains en cours de glissement, pour réaliser des rabattements de nappe, etc.

Enfin, on peut noter la tendance actuelle des maîtres d'ouvrage (surtout privés) qui sollicitent de plus en plus souvent des entreprises de forages associées à un bureau d'études afin de disposer d'un seul interlocuteur, qui puisse lui proposer une solution technique "clé en main" et réaliser l'ensemble d'une opération de captage d'eau.

Cette nouvelle tendance s'explique également par le fait que l'enjeu économique est toujours limité, et qu'il est alors judicieux de limiter le nombre d'intervenants.

## ■ RÉALISATION D'OPÉRATIONS "CLÉS EN MAIN"

Les ouvrages de captage d'eau conditionnent de nombreuses activités humaines. Cependant, en termes économiques, ils représentent un chiffre d'affaires extrêmement faible (50 M€/an) réalisé par des sociétés qui ne sont que des PME même pour les plus performantes. Elles doivent cependant être pointues, car le métier de foreur d'eau est difficile, tout comme celui des bureaux d'études qui réalisent les projets, qu'il s'agisse d'ouvrages nouveaux ou d'ouvrages anciens à réhabiliter.

Par ailleurs, n'importe quel artisan ou petit entrepreneur peut acheter une foreuse et réaliser des "trous" dans sa région, trous qui ne sont pas tous... exécutés officiellement... Cette profusion de foreurs "amateurs" entraîne un niveau de prix catastrophique, dans toute la chaîne des constructeurs, pour l'ensemble des ouvrages de captage d'eau, depuis le simple forage du particulier, jusqu'à l'ouvrage très élaboré : forage profond à l'Albien, puits à drains rayonnants, etc.

L'accroissement de la pression des charges diverses a accéléré ce processus de paupérisation et d'émiettement de la profession. Actuellement, une vingtaine d'entreprises de forage d'eau sont membres du Syndicat des Foreurs d'Eau (SFE) et une soixantaine adhère à la "Charte Qualité". Alors qu'il existe cinq cents à six cents "entreprises" de forages en France...

Pour les bureaux d'études hydrogéologiques, assurant la maîtrise d'œuvre d'ouvrages de captage, la situation est la même. Cependant, ceux-ci doivent systématiquement déclarer leurs honoraires (contrairement aux foreurs), sous peine de ne pas être couverts par leur compagnie d'assurance. De plus, fréquemment, tel géologue généraliste, ou tel géotechnicien, ou même tel géophysicien intervient dans ce domaine du captage d'eau car il pense, à tort, pouvoir en maîtriser les problèmes très spécifiques (et souvent ardu). Il en résulte l'intervention d'une profusion de professionnels peu expérimentés, mais pratiquant cependant des prix extrêmement faibles.

Cette situation dure depuis un quart de siècle. De très nombreuses faillites s'en sont ensuivies ainsi que de nombreux abandons d'activité volontaires, surtout par les entreprises les plus performantes. Et désormais, les entreprises n'investissent plus guère en matériel, et ne s'assurent que difficilement la collaboration de personnels compétents, car ceux-ci sont mal rémunérés. La situation n'est guère meilleure dans les bureaux d'études, que les bons spécialistes ont souvent quittés.

Dans ces conditions, il est devenu difficile de maîtriser convenablement son métier de conseil ou d'entrepreneur dans le domaine du captage d'eau. On calcule tout au plus juste ; d'abord pour obtenir les faveurs du maître d'ouvrage ; ensuite pour réa-



liser les prestations ou les travaux au plus vite, au plus économique. Et ainsi, au lieu de collaborer efficacement, le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise ont des difficultés à coopérer ; car chacun essaie de sauvegarder ses intérêts économiques, dans un contexte contractuel souvent difficile, et parfois malsain, qui les lie les uns aux autres.

Une telle ambiance, désormais généralisée, n'est guère compatible avec la réalisation satisfaisante de travaux pour lesquels, d'une part, la notion d'"imprévu" est la règle et où cependant, d'autre part, le règlement des travaux et des prestations se fait de manière forfaitaire ; alors que l'attribution des marchés au moins disant est encore la règle courante.

Aussi, lorsque pour diverses raisons, l'ouvrage de captage n'est finalement pas réalisé selon les règles de l'art, ou s'il ne donne pas satisfaction (le débit n'est pas conforme aux attentes, l'ouvrage donne du sable, le forage s'est effondré, l'ouvrage s'est rapidement colmaté, la cimentation et l'étanchéité sont déficientes ou inexistantes, etc.), la situation devient désormais souvent conflictuelle.

Auparavant, ce type de problème trouvait généralement une solution bien simple : l'entreprise reprenait l'ouvrage et ne réclamait rien. Les marges étaient suffisantes, et permettaient une position "bienveillante" de la part de l'entreprise, voire du bureau d'études.

Aujourd'hui les entreprises ne peuvent plus supporter ces coûts supplémentaires, et elles refusent souvent de faire systématiquement les frais de ces opérations défectueuses (dans lesquelles elles n'ont pas obligatoirement une responsabilité quelconque) ; et elles cherchent désormais à défendre leur point de vue face aux bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrage... Aussi, voit-on de plus en plus de litiges portés devant les tribunaux. Par ailleurs, les assureurs des entreprises de forages n'ont guère d'experts spécialistes à leur disposition, si bien que de tels recours devant les tribunaux sont bien souvent illusoire pour ces entreprises, qui ne sont finalement pas ou mal défendues... sauf dans les cas flagrants, bien sûr, en particulier lorsqu'il apparaît clairement que le maître d'œuvre n'a manifestement pas été compétent. Ou bien, lorsqu'en l'absence de maître d'œuvre, le maître d'ouvrage a souhaité suivre et diriger lui-même les travaux, assurant ainsi alors implicitement la maîtrise d'œuvre, et donc en se substituant (en général bien mal) au maître d'œuvre (les tribunaux sont alors très sévères).

Les assureurs des bureaux d'études hydrogéologiques ne sont guère mieux lotis... ce sont les mêmes assureurs que ceux des entreprises de forage. Ces bureaux d'études ne pensent d'ailleurs pas qu'ils aient à se défendre lorsqu'ils sont mis en cause et assignés ; car qui va démontrer qu'ils ont commis des erreurs ? En effet, mettre en évi-

dence une erreur de conception ou de suivi d'un ouvrage, réalisé sous terre... et sous l'eau, et après coup... n'est certes pas très facile. C'est même très difficile. Les tribunaux exonèrent alors souvent le bureau d'études... d'autant qu'il est certainement (pensent-ils) beaucoup moins solvable que ne l'est l'entreprise.

En définitive, entre les divers litiges, avec des moyens limités, dans le cadre d'une concurrence très vive, il n'existe plus guère aujourd'hui une réelle collaboration entre les divers partenaires pour la réalisation des opérations de captage d'eau souterraine. Les bureaux d'études et les entreprises ne coopèrent plus de manière satisfaisante pour la réalisation du meilleur ouvrage de captage, aux meilleures conditions économiques, et dans l'intérêt du maître d'ouvrage, et finalement dans leur propre intérêt... et dans l'intérêt bien compris de l'assureur.

Aussi, il y aurait lieu d'examiner, d'urgence, les possibilités et les conditions d'un renouveau de ce secteur toujours vital, comprenant d'une part la réalisation des captages d'eau neufs, d'autre part la réhabilitation des ouvrages de captage anciens (devenue indispensable puisque désormais, l'Administration limite ou interdit la construction d'ouvrages neufs), pour éviter la gabegie actuelle de l'exploitation des ressources en eau souterraine. Cette suggestion est valable pour toutes les utilisations de l'eau des nappes : pour les AEP et alimentations diverses en eau (agricole, industrielle), chantiers de génie civil (rabattements provisoires pour mise hors d'eau des sites), pour les opérations de géothermie douce (pompes à chaleur eau-eau), les divers rejets d'eau dans le sol, les réalimentations artificielles des nappes, etc.

Pour favoriser un tel renouveau, on peut envisager la solution d'un rapprochement systématique entre les divers acteurs de la profession sur certaines opérations difficiles. Une synergie pourrait ainsi exister, en France, entre bureaux d'études et entreprises, de manière à proposer au maître d'ouvrage, pour toutes ces opérations, des solutions "clés en main". La mise en place d'un tel système, qui fonctionne parfaitement dans le monde anglo-saxon, pourrait être un des aspects de ce renouveau de la gestion des eaux souterraines. Certes, en France, et dans les pays francophones, la formule fait encore peur... mais de très nombreux industriels n'en acceptent plus d'autres, ainsi que certains organismes parapublics. Il s'agit sûrement là d'une formule d'avenir que l'on devrait pouvoir adopter de manière systématique, y compris dans le cadre de marchés publics.

La gestion des eaux souterraines serait assurée de manière plus pertinente et mieux sécurisée. La fiabilité et la longévité des ouvrages de captage d'eau seraient accrues. Le coût global de ces ouvrages serait mieux maîtrisé. Les compagnies d'assurance elles-mêmes auraient à gérer des sinistres

et des litiges certainement moins nombreux et moins importants.

**P.-S.** : Sondalp et SRCE Clause proposent leur service en association avec le bureau Archambault Conseil et réalisent de telles opérations "clés en main", à la grande satisfaction de nombreux donateurs d'ordre, pour la réalisation ou pour la réhabilitation des ouvrages de captage d'eau, et en particulier, des puits à drains rayonnants horizontaux.

## ABSTRACT

### Groundwater catchment by radial well

*Ch. Archambault, P. Galtier, A. Jouty, O. Murzilli*

The catchment of groundwater in alluvial materials enables considerable flow rates to be obtained in certain locations. This technique has made it possible, from over 500 structures constructed in France, to meet the needs of numerous large urban areas.

An example of a recent project at Voulte-sur-Rhône is described in this article. A radial well consists of a reinforced concrete lining to a depth of 10 to 20 metres and of inner diameter 3 metres. From this lining, horizontal steel drains are driven over a length of a few dozen metres.

The advantages of the horizontal radial well are major hydraulic yields, a very long lifetime and the possibility of water intake, over an extensive aquifer front, from sometimes rather thin horizons, in-depth.

Revamping of these structures can be performed very easily based on tried and tested methods, and in general clogged radial wells are very old, because clogging occurs only at a late stage, due to a very large intake surface area. Treatment of the structures often makes it possible to restore the original flow rate.

Water intake structure construction activity is now limited in France, because the government encourages rehabilitation of existing structures rather than construction of new ones.

Specialist drilling firms and project managers should work in consultation, or even combine their forces to construct water intake structures, and offer their customers turnkey projects. Improved management of such projects, which are no doubt sophisticated but are not very significant economically, would thus be ensured and would enable good management of water intakes in France. This would also make it possible to greatly limit the number and extent of the frequent costly disputes observed in the industry.

## RESUMEN ESPAÑOL

Captación de aguas subterráneas mediante pozos de drenes radiales

*Ch. Archambault, P. Galtier, A. Jouty y O. Murzilli*

La captación de las aguas subterráneas en medios aluviales permite obtener caudales considerables puntualmente. Esta técnica ha permitido dar satisfacción a numerosas aglomeraciones urbanas importantes, por medio de más de 500 estructuras construidas en Francia.

Un ejemplo reciente a este respecto se sitúa en La Voulte-sur-Rhône (07), que se describe en este artículo. Un pozo de drenes está formado por una entibación de impermeabilización de hormigón armado de 10 a 20 m de profundidad y 3 m de diámetro interior. A partir de esta entibación, se profundizan los drenes horizontales de acero cuya longitud se eleva a varias decenas de metros.

Las ventajas de los pozos de drenes radiales horizontales corresponden a rendimientos hidráulicos considerables, de una duración útil sumamente importante y una posibilidad de captación, sobre un amplio frente de capa, en horizontes de poco espesor en algunos casos, en profundidad.

La regeneración de estas estructuras se efectúa muy fácilmente por medio de métodos perfectamente seguros y, en general, los pozos de drenes entarquinados son sumamente antiguos, puesto que el entarquinamiento únicamente se produce de forma tardía, debido a su muy amplia superficie de captación. Los tratamientos de las estructuras permiten frecuentemente restituir el caudal de origen.

La actividad de construcción de estructuras de captación de aguas está actualmente limitada en Francia debido a que la administración incita hacia la rehabilitación de las estructuras construidas, mejor aún que construir otras nuevas.

Las empresas de perforaciones y sondeos y los directores o autores de proyectos se deberían poner de acuerdo, e incluso mejor aún, asociarse para ejecutar las obras de captación de agua y brindar a sus clientes operaciones llaves en mano. Un mejor dominio de semejantes operaciones, punteras sin duda alguna, pero cuya carga económica es reducida, quedaría así asegurada y permitiría una correcta gestión de las captaciones de agua en Francia. Ello permitiría, además, limitar singularmente el número y la importancia de frecuentes y costosos litigios observados en esta profesión.



# Chengdu N° 6 Water Plant B, de la Chine

## Extension des structures de production quatrième ville de Chine

### ■ PRÉSENTATION

#### Le contexte

Au début des années 90, le gouvernement chinois a souhaité rééquilibrer la répartition du développement de l'intérieur du pays ; l'expansion des "zones économiques spéciales" créées en 1979 telles que Shenzhen au sud, à la porte de Hong Kong, ayant atteint ses limites.

Le relais devait être pris par Chengdu, capitale du Sichuan, province en passe de figurer parmi les grands pôles industriels et commerciaux de la Chine (figure 1).

En effet, cette province est depuis toujours le grenier à blé de la Chine et regorge de main d'œuvre : c'est la plus peuplée du pays.

D'autre part, grâce à un important programme d'équipement hydroélectrique, dont l'immense barrage des Trois Gorges, les ressources énergétiques ne manquent pas pour faire fonctionner les usines. Déjà de nombreuses entreprises étrangères sont présentes. Parmi les entreprises françaises, nous trouvons notamment Alcatel qui fabrique des infrastructures de communication, Citroën qui assemble des "ZX" dans le nord de la province, la Snecma qui assure la maintenance des moteurs de la compagnie aérienne de la province, "Sichuan Airline".

Bref, forte de ses 11 millions d'habitants, dotée d'un fort potentiel touristique et économique, Chengdu est une agglomération en plein boom depuis

une dizaine d'années qui bénéficie de toute l'attention et du soutien du pouvoir central de Pékin.

#### Financer, concevoir, construire et exploiter : genèse d'un B.O.T.

Cette expansion, massive et rapide, entraîne à sa suite le développement des infrastructures urbaines. Ainsi la municipalité de Chengdu a lancé, il y a 4 ans, un appel d'offres international sous forme de B.O.T. (*Build, Operate and Transfer of Technologies*) pour l'extension de son usine de production d'eau potable, dans le but d'en doubler sa capacité.

Ce contrat de B.O.T. – le premier du genre en Chine – a suscité la réponse de cinq groupements : Lyonnaise des Eaux, Anglian Water, Mitsubishi, George Kent, et Compagnie Générale des Eaux (Vivendi Water) alliée au japonais Marubeni Waterworks Corporation.

Il consiste à ce que le groupement lauréat finance, conçoit, construit les installations – c'est la partie "Build" –, les exploite pendant une durée déterminée, permettant entre autres le retour sur investissement – c'est la partie "Operate" –, et les remet ensuite à la compagnie générale des eaux de la municipalité – c'est la partie "Transfer". Vainqueur de la compétition, le groupement Vivendi Water-Marubeni doit ainsi fournir chaque jour 400 000 m<sup>3</sup> d'eau potable pendant 18 ans (figure 2).

Le coût total d'investissement du projet est de 128 M€, couvert par les deux partenaires et désormais concessionnaires et par un *pool* bancaire, le Crédit Lyonnais associé à l'Union européenne de Banque et à la Banque asiatique de Développement.

#### La partie construction : un groupement d'entreprises françaises

Dès les premières études pour répondre à l'appel d'offres, les deux partenaires avaient sollicité Campenon Bernard SGE (maintenant regroupé au sein de Vinci Construction Grands Projets) pour le génie civil, OTV (Omnium de Traitement de Valorisation) pour le concept et la réalisation de l'électromécanique, et La Sade (Compagnie Générale de Travaux Hydrauliques) pour la conduite d'amenée et de distribution d'eau potable longue de 27 km, une tuyauterie en acier spiralé d'un diamètre moyen de 2 400 mm.

Les trois entreprises, les "contractors", dont Vin-

Figure 1  
Plan  
de situation  
Location  
drawing





# un projet pour l'eau au cœur d'eau potable de Chengdu,

ci Construction Grands Projets est le chef de file et le pilote, ont été étroitement associées au cours de cette période, de mai 1997 à février 1998.

Après s'enchaîner de manière assez rapide la signature le 12 juillet 1998 du contrat liant les concessionnaires à la Municipalité de Chengdu – le "Concession Agreement" –, la présentation de l'étude préliminaire par les concessionnaires à la municipalité le 26 janvier 1999, la signature des contrats – l'ICC (Installation and Construction Contract) et l'ESC (Equipment and Supply Contract) entre les concessionnaires et les "contractors" le 2 juillet 1999, puis la mobilisation et le départ des équipes pour la Chine en septembre 1999.

capacité (38 m de diamètre, et d'une capacité en mode normal de 8526 m<sup>3</sup>/h) (photos 1 et 2);

◆ une série de huit filtres à sable dont la surface unitaire atteint 122 m<sup>2</sup> (photo 3);

◆ deux réservoirs (d'une capacité de 768 m<sup>3</sup> pour les eaux utilisées pour le process et de 25 000 m<sup>3</sup>



Figure 2  
Maquette d'origine  
du projet

*Original project  
model*

## LE PROJET

### Situation

Canalisées depuis plus de 2 500 ans, les rivières Xu Yan et Bo Tiao irriguent, depuis le Du Jiang Yan, la plaine de Chengdu.

C'est de ces deux rivières que l'usine B – le projet "Chengdu N° 6 Water Plant B" – et la station existante et attenante – l'usine A – prennent leur eau. Le site est privilégié. En effet, les deux rivières coulent dans cette zone de manière plus ou moins parallèle entre les rizières, où les usines peuvent fonctionner de façon gravitaire sans aucun système de pompage des prises d'eau jusqu'à la tuyauterie de La Sade qui distribue l'eau potable jusqu'à Chengdu.

### Le lot génie civil

Le rôle de VINCI Construction Grands Projets fut double :

◆ pilote du groupement des "contractors" : coordination des actions et défense des intérêts contractuels des trois "contractors", interlocuteur contractuel avec les concessionnaires ;

◆ responsable de la part génie civil de la construction, *design* inclus.

Les travaux menés par VINCI Construction Grands Projets comprennent :

- ◆ des terrassements et routes d'accès ;
- ◆ l'aménagement des berges de rivières dans la zone des prises d'eau ;
- ◆ des travaux en rivière pour la réalisation des prises d'eau ;
- ◆ deux décanteurs à boue de forme conique "pre-settlers", avec des pentes précises, de grande ca-



Photos 1 et 2

Les deux décanteurs à boue ont nécessité 5 mois et demi de travaux (1 865 m<sup>3</sup> de béton et 6 900 m<sup>2</sup> de parties coffrées)

*The two sludge clarifiers required five and a half months' work (1,865 cu. m of concrete and 6,900 sq. m of shuttered sections)*



Photo 3

Au premier plan les filtres, au second plan le "Chemical building"

*In the foreground the filters, in the background the Chemical Building*

**Photo 4**  
Le coffrage outil permettant la réalisation du dalot d'amenée d'eau par éléments de 18 m en double cellule

*The sectional formwork enabling construction of the water supply box culvert in double-cell 18-metre elements*



**Photo 5**  
Le dalot d'amenée d'eau traversant les rizières sur 1 800 m entre la rivière Bo Tiao (à gauche sur la photo) et la rivière Xuyan. En arrière plan, la station de potabilisation

*The water supply box culvert passing through the rice fields over 1,800 metres between Bo Tiao River (on the left of the photo) and Xuyan River. In the background, the drinking water treatment plant*



**Photo 6**  
Connexion de la tuyauterie d'eau potable en diamètre 2400 mm avec la conduite de distribution de La Sade

*Connection of the potable water piping of diameter 2,400 mm with the La Sade distribution pipe*



de stockage permanent pour les eaux traitées) enterrés tous les deux ;

- ◆ des *culverts* enterrés (dalots) : 1 800 m en double cellule pour le dalot d'amenée d'eau "inlet culvert", et 1 200 m pour celui de rejet des eaux usées "discharge culvert" (simple à la sortie de l'usine puis double après raccordement au *culvert* existant de l'usine A voisine). Ces *culverts* sont recouverts de terre végétale, afin que les terrains, au travers desquels ils passent, puissent être réutilisés ensuite par les agriculteurs (photos 4 et 5) ;

- ◆ des tuyauteries en acier spiralé de 1 600 mm et 2 400 mm de diamètre pour une longueur totale de 450 m, qui servent à relier les différents ouvrages entre eux (photo 6) ;

- ◆ des charpentes métalliques au-dessus de la galerie centrale de la zone des filtres (photo 7) et au-dessus de la Connecting Chamber ;

- ◆ un ensemble de bâtiments : le "chemical building" servant au stockage de produits chimiques, un bâtiment administratif incluant une infirmerie, le laboratoire et la salle de commande de la station, une cantine regroupant des vestiaires et des ateliers d'entretien (photo 3), qui représentent (photo 8) :

- 426 356 m<sup>3</sup> de déblais/remblais,
- 48 524 m<sup>3</sup> de béton,
- 135 000 m<sup>2</sup> de parties coffrées,
- 5 500 t de ferrailage,
- 110 t de charpente métallique.

Ce lot génie civil pèse 23 M €, dont la majorité des travaux a été sous-traitée à des compagnies chinoises.

## Les études

Les études préliminaires du gros œuvre ont été confiées à la Direction Technique de VINCI Construction Grands Projets et réalisées, tambour battant, pour suivre le rythme de l'appel d'offres et de la mise en place des différents contrats, selon la conception d'OTV, en étroite coordination et collaboration entre les deux bureaux d'études.

Ces études préliminaires ont servi de base aux études détaillées. Ces dernières ont été confiées en local au sous-traitant principal du génie civil, B7 – China Seventh Construction Bureau Of Water Conservancy & Hydraulic – associé au bureau d'études SMEDRIC (South West Municipal Engineering Design & Research Institute of China), basé à Chengdu.

Sans la grande qualité des études préliminaires établies par le bureau d'études de la Direction Technique de VINCI Construction Grands Projets, jamais il n'aurait été possible de finir les études détaillées à temps pour les travaux.

## L'organisation

VINCI Construction Grands Projets a donc exercé deux fonctions sur le projet, l'une en tant qu'entrepreneur en charge du génie civil, l'autre en tant que pilote des "contractors".

Ayant sous-traité l'ensemble du génie civil, sa principale mission d'entrepreneur a été de gérer son sous-traitant B7.

A de nombreuses reprises, VINCI Construction Grands Projets a été obligé de renforcer l'action de son sous-traitant dans les domaines clés du projet pour tenir le planning – études, planification, organisation, méthodes ; ce qui l'a conduit à augmenter de manière significative ses effectifs d'encadrement expatrié et local, par rapport à son organisation première :

- ◆ venue d'un projecteur pour les études détaillées ;

- ◆ venue de deux conducteurs de travaux supplémentaires ;
- ◆ embauche d'ingénieurs locaux supplémentaires pour les études détaillées et de superviseurs locaux pour les travaux ;
- ◆ embauche d'une secrétaire spécifique pour la partie travaux.

## Planning

Le planning de construction s'étend sur 30 mois à compter du 13 août 1999. Le planning réalisé comprend les étapes suivantes :

- ◆ mobilisation en septembre 1999 ;
- ◆ les études de sols complémentaires d'octobre 1999 à décembre 1999 ;
- ◆ les études détaillées de janvier 2000 à juillet 2001 ;
- ◆ les installations et préparation du chantier d'octobre 1999 à février 2000 ;
- ◆ les terrassements des différents ouvrages de janvier 2000 à août 2000 ;
- ◆ les bétons de structure de mai 2000 à juin 2001 ;
- ◆ l'installation des tuyauteries acier de grand diamètre d'octobre 2000 à mai 2001 ;
- ◆ les bâtiments utilitaires de décembre 2000 à décembre 2001 ;
- ◆ les voiries et réseaux de distribution de février 2001 à novembre 2001 ;
- ◆ mise en eau et réception des ouvrages de novembre 2001 à janvier 2002 ;
- ◆ rentrée en production de la station le 8 février 2002.

Les travaux ont été longs à démarrer, le sous-traitant B7 ayant eu beaucoup de mal et pris énormément de temps à mettre en place les installations de chantiers, faire les bétons de convenances, s'organiser, et sortir les premiers plans d'exécution. Ceci n'a été rendu possible que par l'action permanente, soutenue et motrice de VINCI Construction Grands Projets en maintenant constamment sous pression B7 et en le forçant à prendre des décisions et actions :

- ◆ il a fallu faire pour lui les plans d'installation de chantier en tenant compte des ressources en matériel dont il disposait car il lui était difficile de faire la moindre synthèse des besoins à mettre en œuvre ;

- ◆ il a fallu l'aider à faire son planning d'exécution en le forçant à projeter les tâches dans l'avenir et à prendre en compte qu'il n'était pas le seul intervenant sur le chantier, qu'il était nécessaire de tenir en compte et gérer les interfaces avec l'électromécanique.

Très vite il s'est avéré nécessaire et primordial d'avoir des réunions hebdomadaires techniques – "progress meeting" et "design meeting" –, de planification – "planning meeting" –, et de contrat – "contractual meeting".

Cela peut paraître fastidieux, et ça l'a été, de-



Photo 7  
La galerie centrale  
des filtres

*The central filter  
gallery*



Photo 8  
De droite à gauche dans le sens  
de traitement de l'eau les décanteurs  
à boue, les multiflo settlers,  
les filtres et la galerie centrale  
*From right to left in the direction  
of water treatment,  
the sludge clarifiers, the multiflo  
settlers, the filters  
and the central gallery*

mandant à chacun une grande disponibilité et une dépense énorme d'énergie, mais c'est l'un des facteurs qui a permis de montrer au sous-traitant chinois ce que nous attendions de lui à travers le contrat, de l'obliger à tenir les dates clés du planning à savoir les dates de la mise en eau des ouvrages, les dates des tests et qualifications électromécaniques, et enfin la date du démarrage de la production d'eau potable et de sa distribution dans le réseau de la ville de Chengdu.

Dans le même temps, et toujours pour le recadrer et l'obliger à s'organiser, ont été développées avec le sous-traitant, très en profondeur, dans le cadre du système d'assurance qualité, des procédures particulières d'exécution spécifiant dans les moindres détails (matériel, ressources, matériaux, méthodes, plans de référence...) chaque tâche et leur enchaînement, les unes par rapport aux autres.

## ■ LES FAITS MARQUANTS

### Remblai du "fish pond"

A peu près aux deux tiers des 1 800 m en double cellule du dalot d'amenée d'eau (*inlet culvert*), se trouvait sur son passage un "fish pond" – un énorme trou d'environ 70 000 m<sup>3</sup> créé par une ancienne carrière d'extraction de matériaux, reconverti en étang pour l'élevage des poissons.

Le remblai du "fish pond" a été la première tâche de gros travaux du chantier avec les excavations de l'*inlet culvert* : en effet, les matériaux excavés étant de très bonne qualité, ces derniers ont servi au remblai de ce trou gigantesque. Situé dans la partie où les deux rivières Xu Yan et Bo Tiao sont

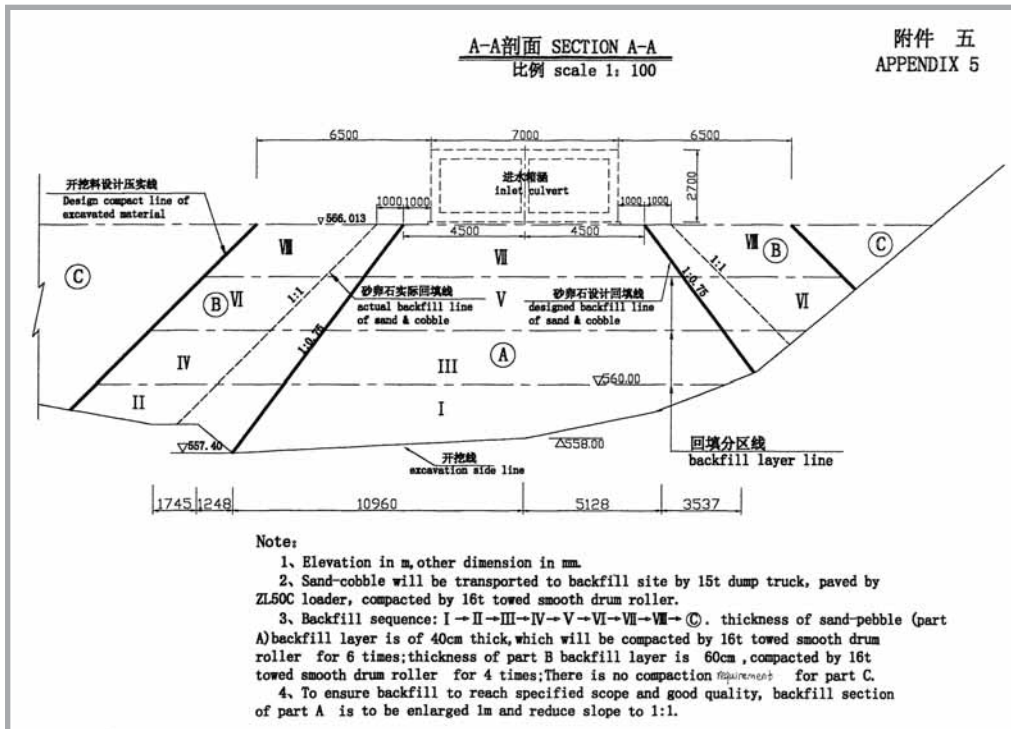


Figure 3  
Sketch du remblai  
du fish pond

Sketch of the fish pond  
embankment



Photo 9  
Voiles extérieur  
et intérieur réalisés  
en cinq phases.  
Ici une phase coffrée  
prête pour le bétonnage  
Exterior and interior  
shells constructed  
in five stages. Here  
a shuttered phase  
ready for concreting

les plus proches l'une de l'autre, il a fallu canaliser les arrivées d'eau par des drains et pomper en permanence. Trois mois ont été nécessaires pour remblayer la partie principale sous le dalot (cf. sketch extrait de la "particular work procedure") (figure 3); le reste du remblai, de part et d'autre, s'est fait en temps masqué.

### LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

- Coût total du projet : 128 M€
- Coût de la partie génie civil : 23 M€
- Déblais/remblais : 426 356 m<sup>3</sup>
- Béton : 48 524 m<sup>3</sup>
- Parties coffrées : 135 000 m<sup>2</sup>
- Ferrailage : 5 500 t
- Charpente métallique : 110 t

### Les tuyauteries en acier spiralé

La division de responsabilité entre les "contractors" prévoyait que toutes les tuyauteries extérieures aux ouvrages de l'usine seraient de fourniture du génie civil, celles étant à l'intérieur, de fourniture de l'électromécanique.

Les tuyauteries de grand diamètre à l'intérieur de l'usine, 1 600 mm et 2 400 mm, servent à connecter les différents ouvrages entre eux, permettant à l'eau de s'acheminer en gravitaire vers les différentes étapes du traitement de potabilisation jus-

qu'à la conduite de distribution d'eau de La Sade. Pour cette opération, 27 km de tuyauterie à réaliser, La Sade, avec son sous-traitant, a monté une usine de production de tuyaux comprenant un banc complet de fabrication de tuyaux en acier soudés en spirale d'une longueur unitaire de 9 m, un banc de test hydraulique où chacune des longueurs est testée à 11 bars, un atelier de grenailage, et un atelier de peinture – la tuyauterie recevant une peinture époxy alimentaire en revêtement intérieur et une protection bitumineuse à l'extérieur.

VINCI Construction Grands Projets a donc sous-traité à cette usine la fabrication des tuyauteries de la station de potabilisation, et en a suivi toutes les étapes en appliquant les procédures de contrôle établies au préalable par La Sade : test des soudures (ultrasons et x-ray), test hydraulique (11 bars), test des revêtements (épaisseur et arrachement), ovalisation.

La durée totale de fabrication a été de 3 mois.

La pose, quant à elle, a été réalisée par B7, au cours de laquelle ont été effectués aux soudures de raccordement les contrôles de réglage/alignement, d'ultrasons et x-ray, du revêtement intérieur et extérieur.

Elle s'est déroulée sur 7 mois, au fur et à mesure de l'avancement des ouvrages par le génie civil (photo 6).

### Les coffrages

Pour la construction des ouvrages béton, B7 a utilisé principalement des panneaux métalliques de petites dimensions, munis de raidisseurs, les panneaux étant reliés les uns aux autres par clavettes. L'écartement des panneaux ainsi constitués a été maintenu, soit par des tiges de serrage, soit par des feuillards noyés dans le béton.

Cependant certains cas particuliers ont été développés.

#### Pour les culverts (photo 4)

Pour des raisons de rapidité de construction et de respect de la planéité du béton des dalles supérieures et voiles des ouvrages d'amenée et de rejet d'eau (*Inlet culverts - Discharge culverts*), VINCI Construction Grands Projets a obligé son sous-traitant à concevoir un coffrage outil métallique, pouvant se déplacer sur rails de transfert au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

Trois sets de coffrage outil ont été utilisés pour l'*inlet culvert*, un set pour le *discharge culvert*.

Ces coffrages outils ont permis de tenir les délais imposés par les "Land Use" (autorisation d'occupation des terrains pour la construction pendant une période définie - cf. infra).

#### Presettlers

Pour la construction des bassins décanteurs de boue ("presettlers"), B7 a utilisé des coffrages de

sa création dont la peau est du "contreplaqué bambou", l'ensemble étant maintenu par des profilés métalliques (photo 9).

#### Dalles des filtres (photos 10 et 11)

Pour des raisons de simplicité, les dalles des filtres ont été préfabriquées par Vinci Construction Grands Projets (via B7) pour OTV, étant normalement fournies par la partie électromécanique.

Pour ce faire, OTV a fourni un moule modèle. Ce moule a été copié en 10 exemplaires de manière rigoureuse afin de respecter les tolérances imposées par OTV.

Une aire de préfabrication a été créée sur site pour mener à bien cette opération d'une durée totale de 95 jours et d'une moyenne journalière de neuf dalles.

#### L'utilisation des "pebbles"

Les "pebbles" sont de gros galets que l'on trouve à foison sur le terrain du site, dégagés lors des travaux de terrassements.

De nombreux bétons de masse ont été remplacés par le sous-traitant B7 en utilisant ces "pebbles" et en les maçonnant à l'aide de mortier.

Ce choix, au départ, a fait l'objet de critiques de notre part, car notre principal souci était la tenue du planning, et donc de raccourcir au maximum la durée des tâches.

Mais une armée de main d'œuvre, très peu coûteuse, a eu bien vite raison de nos inquiétudes.

La maçonnerie de "pebbles" a même remplacé le remblai entre les éléments en pyramide inversée des "sludge hoppers" (récupérateurs de boue), prévus préfabriqués à l'origine par notre bureau d'études : les "pebbles" ont été maçonnes de manière à devenir le négatif de ces éléments et à servir de coffrage perdu. Les éléments ont été coulés en place et le résultat est satisfaisant (photos 12 à 15).

#### Les « land uses » et les prises d'eau/coordinations avec les autorités chinoises

Un des points majeurs de coordination avec les autorités chinoises fut celui des *Land Use* : pour les *culverts* (partie Vinci Construction Grands Projets) et la conduite de distribution et d'amenée d'eau potable (partie Sade), les concessionnaires ont indemnisé les communes via les autorités de Chengdu afin de pouvoir exproprier les paysans et obtenir l'occupation des terrains pour la construction de ces ouvrages, dans une période de temps impartie.

Ces ouvrages étant enterrés, les "Contractors" devaient ensuite les recouvrir de terre végétale de façon à ce que les paysans puissent ensuite y reconstituer au-dessus les rizières (photo 5).

Les prises d'eau et les renforts de berges des rivières Xu Yan et Bo Tiao ont également fait l'objet



Photo 10  
Atelier de préfabrication des dalles de filtres  
Filter slab prefabrication plant



Photo 11  
Un filtre avec toutes ses dalles  
A filter with all its slabs

Photos 12 à 15  
a : Coffrage perdu en "pebble" maçonné -  
b : Coffrage intérieur métallique -  
c : Les *sludges* bétonnés - d : L'ouvrage fini  
a : Lost shuttering in pebble masonry -  
b : Interior steel shuttering - c : Concrete sludge clarifiers - d : The completed structure



a



b



c



d

d'une étroite collaboration avec les autorités du Du Jiang Yan, qui gèrent l'irrigation par canaux de toute la plaine de Chengdu : les travaux n'ont pu être faits qu'aux périodes de maintenance de chacune des deux rivières, lorsque leur niveau est au plus bas.

## ► ■ CONCLUSION

On l'aura compris, le projet de Chengdu n'a pas fait appel à des méthodes opératoires de grandes technicités.

Le rôle principal de VINCI Construction Grands Projets pour la partie génie civil a été de gérer et d'encadrer son sous-traitant pour le forcer à respecter ses obligations contractuelles, la qualité des ouvrages réalisés et le planning. Bien souvent, c'est la solution du système "D" qui a été développée, solution plus facile à faire comprendre au sous-traitant et à mettre en place en fonction de son matériel, faisant plus souvent appel à de la main d'œuvre et du petit matériel, donc moins onéreuse que des gros engins.

Ce projet est un véritable succès : la nouvelle usine est rentrée en opération à la date prévue contractuelle, à la grande satisfaction des concessionnaires et des investisseurs, mais aussi des autorités de Chengdu pour qui cette forme de montage d'affaire était une première.

Enthousiastes et confiantes, ces dernières envisagent d'autres B.O.T comme une troisième usine de production d'eau potable, ou dans un tout autre domaine, la création d'une ligne de métro au cœur de Chengdu ; de beaux projets en perspective...

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### *L'ordonnateur*

La municipalité de Chengdu

#### *Les concessionnaires*

- Vivendi Water (ex-Compagnie Générale des Eaux)
- Marubeni Water Works Corporation

#### *Les "contractors"*

- VINCI Construction Grands Projets pilote des "contractors" et responsable du génie civil
- Omnium de Traitement de Valorisation (OTV), en charge de l'électromécanique et de la conception de l'usine
- La Sade responsable de la conduite d'amenée et de distribution d'eau potable

# Dépollution des eaux pluviales Collecteur ZOH Grigny

Thierry Bauer  
Berest - Bureau d'études

Hervé Sauvestre  
INGÉNIEUR  
CHEF DE PROJET  
Sogea Construction



La mission du nouvel ouvrage est d'améliorer la qualité des eaux de ruissellement qui se jettent dans les lacs de Viry/Grigny.

Les lacs de Viry/Grigny constituent un des plus grands ensembles lacustres d'Ile de France. Mais c'est un milieu naturel fermé et donc fragile. Il est principalement alimenté par des eaux pluviales provenant de terrains urbanisés.

Chargées en hydrocarbures et en métaux lourds, ces eaux perturbent fortement l'équilibre écologique des lacs avec diverses conséquences : pollution des sédiments (azote, phosphore, plomb, zinc, etc.), prolifération d'algues et déficit en oxygène, appauvrissement de la faune aquatique, mauvaises odeurs...

Le principal apport d'eaux dans le lac de l'Arbalète provient d'une grosse canalisation (appelée ZOH) qui récupère des eaux de pluie d'un bassin versant comprenant les communes de Fleury-Mérogis, Grigny, Sainte-Geneviève-des-Bois et Ris Orangis.

Après avoir ruisselé sur des sols urbains, les eaux transportées par le ZOH arrivaient polluées aux lacs. C'est pourquoi, le Syndicat intercommunal de la Vallée de l'Orge Aval (Sivoa), en concertation avec les villes de Ris Orangis, Grigny et Viry-Châtillon, a décidé de réaliser un tel ouvrage.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Maître d'ouvrage*  
Sivoa à Viry-Châtillon

*Maîtres d'œuvre*  
• Berest à Colmar (68)  
• B3E à Nanterre (92)

*Entreprises*  
• Génie civil : Sobeia Environnement  
• Process et équipements : Sogea Construction  
• Electricité : SEIT

*Sivoa*  
MAÎTRE D'OUVRAGE

## ■ DÉTAIL DE LA FILIÈRE

### Regard d'arrivée

Il est équipé :

- ◆ d'un analyseur d'hydrocarbures commandant la fermeture de l'évacuation des eaux claires parasites en cas de pollution par des hydrocarbures dès que leur teneur atteint 100 mg/l au moins. Les eaux parasites sont alors stockées dans les ouvrages de prétraitement, puis, s'il y a lieu, dans les ouvrages de traitement ;
- ◆ d'un capteur de niveau ultrasonique ;
- ◆ d'une vanne motorisée installée en fosse sèche équipée d'une pompe vide cave refoulant dans les ouvrages de prétraitement ;
- ◆ d'un débitmètre à effet Doppler pour la comptabilisation des volumes alimentant l'usine.

### Prétraitements

Un bassin de tranquillisation permet la décantation des gros éléments et la rétention des flottants, des encombrants et des lourds. Cet ouvrage est dimensionné par la vitesse ascensionnelle de 200 m/h avec une hauteur liquide de 5,50 m. Les déchets solides sont récupérés dans une bache pour ex-



Prétraitement  
et local d'exploitation  
*Pretreatment  
and operation room*

traction mécanique par camion muni d'une benne preneuse. La vidange totale de l'ouvrage se fait au moyen d'une pompe, protégée par une grille statique amovible, d'entrefer 80 mm, en acier inox. Le rinçage se fait à l'aide d'augets basculants et la reprise des déchets grossiers par benne preneuse via des trappes d'accès en surface. La vidange partielle de l'ouvrage se fait automatiquement par pompage vers les décanteurs lamellaires via un tamisage spécifique (crépine à nettoyage automatique de maille de 5 mm).



Vue du fonçage  
du collecteur  
de rejet D 2200  
*View of driving  
of the main discharge  
drain, dia. 2200 mm*



Vue intérieure  
d'un décanteur  
avec les modules  
lamellaires  
*Interior view  
of a clarifier  
with the lamellar  
modules*



- Le volume restant et les eaux de rinçage sont dirigés par pompage vers le réseau d'eaux usées.

### Traitement

Il s'agit d'une décantation lamellaire alimentée par pompage et comprenant en sortie de traitement les équipements suivants :

- ◆ une mesure du débit ;
- ◆ une mesure de la turbidité, représentative en MES ;
- ◆ un préleveur automatique réfrigéré ;
- ◆ un poste de pompes à hélice en tube (quatre unités de 550 l/s).

L'ouvrage est constitué de deux files de deux demi-décanteurs.

Des goulottes permettent la répartition homogène de l'eau dans les empilements lamellaires et de stocker 50 m<sup>3</sup> de flottants par file. Il est ainsi réalisé un piégeage des hydrocarbures (non dissous). Un dispositif de rinçage par auget basculant est installé pour chacune des files de demi-décanteur.

#### *Mode de vidange en fin d'événement pluvieux*

La phase peu polluée (dont la limite est détectée par un turbidimètre sur chacune des pompes de vidange partielle) est dirigée vers le milieu récepteur (eaux traitées) par pompage (deux pompes en tube). Puis la phase polluée sera extraite vers le réseau eaux usées (par deux pompes Vortex, permettant le pompage de sable).

Dès la vidange complète, la séquence de rinçage est enclenchée.

Les eaux de rinçage sont également envoyées par pompage vers le réseau eaux usées.

Un ouvrage de rejet, situé sur la berge du lac, permet de raccorder le collecteur de rejet (une vitesse minimale de 0,6 m/s a été retenue).

L'ouvrage est équipé d'un clapet de nez et d'une grille anti-intrusion à fixation perpendiculaire, avec dispositif de relevage manuel.

### ■ STOCKAGE DES FLOTTANTS DANS LES DÉCANTEURS

Les flottants seront stockés à la surface des décanteurs et sont repris lors de la vidange totale de ces derniers, pour être refoulés vers le réseau d'assainissement.

La zone de stockage est située au-dessus des goulottes afin qu'il n'y ait pas de possibilité d'aspiration des flottants ou hydrocarbures et donc de fuites vers l'exutoire.

Le volume stocké est de 50 m<sup>3</sup> pour les quatre décanteurs, soit 12,5 m<sup>3</sup> pour chacun d'eux.

### Définition de l'ouvrage de rejet

Cet ouvrage peut-être classé comme un évacuateur à écoulement libre (ou évacuateur de surface) car une partie de l'ouvrage se trouve hors de l'eau du côté du débouché du collecteur d'amenée et immergée pour la partie qui se trouve dans le lit du lac de l'Arbalète. Pour obtenir une vitesse d'approche relativement faible il est nécessaire de réaliser un débouché, conditionné d'une part par la paroi/brise-flot faisant également déversoir, et d'autre part par la vitesse de passage au droit de la grille qui doit être comprise entre 0,6 et 1 m/s. Lors du débit maximum de 12 m<sup>3</sup>/s avec le plan d'eau situé à la cote basse, la vitesse écoulement est très importante et donc supérieure à la vitesse moyenne de charriage qui est de 1 à 1,50 m/s de gravier, sable, cailloux... Par conséquent il est prévu un compartiment de dissipation d'énergie en créant un mur "brise-flot" s'élargissant au débouché et formant en même temps déversoir afin de réduire la vitesse.

La fonction de cet ouvrage est d'assurer le rejet de l'effluent à faible vitesse tout en piégeant les détritiques qui pourraient passer en surverse.

Une grille de 12 m de largeur constituée de trois panneaux et pivotante au niveau de la dalle de service est articulée avec des barreaux inclinés à 15° environ et espacés de 80 mm.

Une potence manuelle permet l'évacuation des produits de dégrillage sur la dalle de service et pour le soulèvement des panneaux.

Une embouchure avec un déversoir en "u" formant brise-flot de 12 m de largeur avec retour permet de faire chuter la vitesse en particulier au débit maximum.



Vue panoramique  
du chantier

Panoramic view  
of the project

## ■ ANALYSE FONCTIONNELLE

### Ouvrage d'arrivée

Les eaux pluviales aboutissent dans un premier regard dans lequel est installée une vanne murale à commande par vérin hydraulique, qui sert à "by-pass" l'ouvrage de dépollution.

A 10 m en amont du regard d'entrée, est installé un débitmètre à effet Doppler pour la mesure de vitesse et utilisant un capteur hydrostatique séparé pour la mesure de la hauteur d'eau.

Les indications de débit et de volume sont reportées en salle de contrôle.

Le collecteur d'alimentation aboutit ensuite dans un regard avec déversoir à ouverture de radier collectant les eaux parasites en période sèche.

Les eaux parasites claires sont évacuées directement vers l'exutoire, via le "by-pass" général. Dans ce cas une vanne automatique équipée d'un servomoteur électrique reste ouverte.

En cas de pollution par hydrocarbures le seuil du détecteur de HC commande la fermeture de la vanne et initie une alarme.

Les eaux parasites polluées sont alors dirigées vers le bassin de prétraitement où elles sont stockées. Le seuil Bas signale la disparition de la pollution et commande l'ouverture de vanne motorisée.

Lors de l'apparition d'un événement pluvieux, signalé par le débitmètre, le contact de ce dernier commande la fermeture de la vanne, qui est généralement ouverte. A la fin de l'événement pluvieux, le seuil Bas commande sa réouverture.

Un pluviomètre à augets basculants permet de contrôler l'intensité des pluies.

### Prétraitements

La totalité du débit introduit dans le bassin de tranquillisation traverse trois tamis rotatifs, à entraînement par moteurs hydrauliques, pour être dirigée vers le traitement à concurrence d'un débit de 2,2 m<sup>3</sup>/s, le solde étant évacué directement vers l'exutoire via le déversoir de surverse.

Les moteurs hydrauliques sont alimentés par une centrale hydraulique. Ils sont asservis aux contacts de mise en route et arrêt de la jauge de niveau ultrasonique.

Le colmatage des tamis est contrôlé par deux jauges de niveau ultrasoniques, placées respectivement en amont et en aval des tamis.

La différence des mesures des deux jauges est calculée au niveau de l'automate. Cette différence, qui donne le degré de colmatage des tamis, est affichée.

De plus, il est prévu un seuil indiquant que le colmatage maximum admissible a été atteint. Ce seuil initie une alarme.

Ce colmatage excessif entraîne une montée anormale de l'eau dans le bassin de tranquillisation et l'évacuation des eaux par débordement au-dessus des tamis et leur évacuation par le "by-pass".

Le bassin de tranquillisation est équipé de l'instrumentation suivante :

- ◆ une jauge de niveau ultrasonique, avec deux contacts ;
- ◆ un analyseur de M.E.S, en amont des tamis ;
- ◆ un analyseur de M.E.S, en aval des tamis ;
- ◆ un préleveur d'échantillons.

Le prétraitement peut être isolé à l'aide d'une vanne hydraulique, du même type que celle d'entrée. La commande de cette vanne s'effectue par action directe de l'exploitant. L'isolement du traitement peut intervenir en cas de colmatage excessif des tamis rotatifs.

### Procédures en fin d'événement pluvieux

Dès la fin de l'événement pluvieux et l'ouverture de la vanne (contrôlée par fin de course), il est entamé, après une temporisation réglable, une période de décantation des matières grenues.

A la fin de cette période le groupe électropompe est mis en route, pour refouler les eaux dans les ouvrages de traitement (décanteurs lamellaires). Le groupe est contrôlé par deux détecteurs de niveau. Il est protégé par une crépine autonettoyante, alimentée en eau industrielle pour son lavage par l'intermédiaire d'une électrovane asservie à la marche de la pompe.

Dès l'arrêt du groupe électropompe, le bassin ayant été vidé jusqu'au niveau de son radier, intervient le remplissage des trois augets basculants pour le nettoyage du radier. Celui-ci s'effectue par prélèvement dans le réseau d'eaux industrielles, par ouverture des vannes. Leur fermeture intervient après un temps prédéterminé et réglable.

Chaque auget est équipé de contacts de fin de course signalant son basculement.

Les dépôts sont recueillis dans la fosse placée à l'opposé de la position des augets.

Vue des supportages  
des modules lamellaires  
*View of lamellar module  
supports*



Vue de dessous  
d'un ensemble supports  
+ lamelles  
*Bottom view  
of a supports + lamellar  
plates assembly*



- ▶ Après un temps prédéterminé et réglable suivant la fermeture des électrovannes, le groupe électropompe est mis en route pour refouler les eaux de la fosse vers le réseau d'assainissement. La pompe est contrôlée par deux détecteurs de niveau permettant le démarrage et l'arrêt. Elle est protégée par une grille à nettoyage manuel.

### Traitement

L'eau prétraitée est acheminée gravitairement vers les quatre fosses de pompage équipées chacune d'une pompe en tube qui alimentent quatre files de décanteurs lamellaires. Les pompes sont à vitesse variable par l'intermédiaire de convertisseurs de fréquence (un par groupe).

Dès que le débit admis dans l'usine a atteint le débit minimum d'une pompe indiqué par le débitmètre, un premier contact initiera la mise en service de la première pompe, mais le démarrage effectif n'interviendra que lorsque le niveau de consigne fixé dans la chambre de pompage sera atteint. Si le débit augmente, les autres pompes sont mises en route suivant la même procédure.

Lorsque le débit admis dans l'usine diminuera, le débit des pompes en service (entre 1 et 4) se réduira pour atteindre leur débit minimum.

Chacune des chambres d'aspiration des pompes est équipée d'une sonde de niveau ultrasonique. La répartition homogène des eaux dans les empi-

lements lamellaires pour les débits intermédiaires, est assurée par les goulottes de récupération des eaux clarifiées.

### Procédures en fin d'événement pluvieux

En fin d'événement pluvieux, et après la vidange partielle du bassin de prétraitements, son nettoyage et sa vidange totale, on procède à la vidange partielle des eaux claires des décanteurs lamellaires, après un temps (réglable) nécessaire à la décantation des boues.

Les chambres d'aspiration de ces pompes sont alimentées par l'intermédiaire de dispositifs flottants, ce qui permet de privilégier l'aspiration en surface des eaux les plus claires. Chaque chambre de refoulement des pompes est équipée d'un analyseur de turbidité de l'eau.

Si elle atteint une valeur maximum prédéterminée, la pompe correspondante est arrêtée.

Dès l'arrêt des pompes, commandé soit par les détecteurs de niveau, soit par l'analyseur de MES, la vidange des décanteurs se poursuit à l'aide des pompes.

La vidange totale des décanteurs effectuée, les augets basculants sont alimentés en eau industrielle par des électrovannes. Chaque auget est équipé d'une fin de course, qui signale son basculement. Après nettoyage du radier, les fosses de réception des eaux sont vidangées de nouveau par pompage.

### Circuit d'évacuation des eaux chargées vers le réseau d'assainissement

Sur la conduite de refoulement des eaux de vidange du bassin de prétraitements et des décanteurs, est placé un débitmètre électromagnétique.

Les débits évacués sont totalisés quotidiennement. Après passage d'un certain volume prédéterminé (500 m<sup>3</sup>/j) la pompe en service est automatiquement arrêtée, pour être remise en route à 0 h du jour suivant.

### ■ RÉALISATION DU CHANTIER

Prévu sur une durée globale de 14 mois, le chantier a comporté la réalisation des ouvrages suivants :

#### Collecteur d'arrivée

D'un diamètre intérieur de 2 200 mm sur la quasi-totalité de son parcours, le collecteur permettra de faire transiter jusqu'à 14 m<sup>3</sup>/s.

Il accueille à son arrivée dans l'ouvrage une mesure de débit et un détecteur d'hydrocarbures.

## Local d'exploitation

D'une surface d'environ 100 m<sup>2</sup>, il comprend les zones suivantes :

- ◆ atelier : pour entreposer les pièces de réserves ;
- ◆ local groupe électrogène ;
- ◆ local électrique ;
- ◆ local centrales hydrauliques.

## Prétraitements

L'ouvrage de 6 m de hauteur dispose de trois couloirs de 5 m de large et de 22 m de long comportant des tamis rotatifs qui protégeront les décanteurs lamellaires.

## Traitement

Il est constitué de deux décanteurs de 15 m x 30 m pour une hauteur totale de 7 m.

Ils comportent chacun 11 000 plaques de hauteur d'onde 40 mm ; le traitement, alimenté par pompage, permet de traiter les eaux tamisées à hauteur de 2,2 m<sup>3</sup>/s.

## Collecteur et ouvrage de rejet

En sortie de décantation, les eaux traitées sortent par des goulottes perforées pour être évacuées vers un ouvrage de rejet avant de rejoindre le lac de Arbalète. Pour cela, un fonçage sous une voie SNCF a été nécessaire afin de réaliser le collecteur de rejet DN 2200.

Au final, est vérifiée, à l'aide d'analyseurs en ligne, la teneur en MES et hydrocarbures de l'effluent traité.

Un ensemble de mesures de niveau, MES et débit permettent de faire fonctionner l'ouvrage en automatique.

## FINANCEMENT

- **Montant total** : 6,3 M€ HT

### Financement

- Syndicat : 2,66 M€
- Agence de l'Eau : 2,13 M€
- Département : 1,23 M€
- Région : 0,3 M€
- Durée des travaux : 14 mois

## ABSTRACT

Pollution removal from rainwater. Main drain in Grigny residential area

*Th. Bauer, H. Sauvestre*

The structure in Grigny residential area ("ZOH") will be able to receive rainwater drained from a surface area of approximately 430 hectares at a maximum rate of 14 cu. m/s.

A main drain of diameter 2,200 mm can convey the raw rainwater to the treatment structure.

The process adopted involves :

- pretreatment by screening to 5 mm on rotary drums for ten-year rain (namely 12 cu. m/s) ;
- lamellar settling treatment (fed by pumping) with "honeycombs" 80 mm wide, for three-month rain (namely 2.2 cu. m/s).

The structures, of overall volume 6,000 cu. m, will make it possible to discharge into the natural environment (a lake) waters having less than 5 mg/l of total hydrocarbons and a SS content lower than 10 mg/l.

## RESUMEN ESPAÑOL

Descontaminación de las aguas pluviales. Colector ZOH Grigny

*Th. Bauer y H. Sauvestre*

La estructura de ZOH de Grigny permitirá recibir las aguas pluviales drenadas, en una superficie de 430 ha, aproximadamente, y poco más o menos, un volumen de 14 m<sup>3</sup>/segundo como máximo. Un colector de 2.200 mm de diámetro permite encaminar las aguas pluviales brutas hasta la estructura de tratamiento.

El sistema adoptado consiste en :

- un pretratamiento por tamizado de 5 mm, mediante tambores giratorios que se utilizan para las lluvias decenales (o sea, 12 m<sup>3</sup>/seg.) ;
- un tratamiento de decantación laminar (con alimentación por bombeo) con "panales" de una anchura de 80 mm, con destino a la lluvia trimestral (o sea, 2,2 m<sup>3</sup>/seg.).

Estas estructuras, de un volumen global de 6,000 m<sup>3</sup>, permitirán verter en medio natural (lago) aguas con menos de 5 mg/l de hidrocarburos totales y una concentración en MES inferior a 10 mg/l.

# Usine de dépollution de l'agglomération

## Le chantier mois par mois

Soucieuse de respecter les réglementations européennes en matière de protection de l'environnement, la Ville de Valence a décidé, de procéder à l'extension et à la mise aux normes de son usine de dépollution. Pour compléter l'action épuratoire de l'usine, les élus de la Ville de Valence ont décidé de la doter d'un four d'incinération, Niro®, qui éliminera les boues directement sur le site. Suite à un appel d'offres sur performances, elle a retenu, en 2000, la société Ondeo Degrémont (Suez) pour en assurer la conception, la construction et l'exploitation pendant deux ans pour un montant global de 24 millions d'euros.

Destinée à traiter les eaux usées de l'agglomération valentinoise, soit 150 000 équivalents-habitants à l'horizon 2015, et ce par tous les temps, l'usine rejettera dans le Rhône, en aval de Valence, une eau de qualité supérieure aux exigences réglementaires actuelles, qu'elles soient françaises ou européennes; une marge de manœuvre souhaitée par les élus pour pérenniser l'investissement.

Vue d'ensemble de l'usine - Août 2002  
Overall view of the plant - August 2002



© Emmanuel Gaiffard

**A**yant reçu l'ordre de service de démarrage le 8 janvier 2001, Ondeo Degrémont a commencé les travaux le 9 mai 2001. Des travaux qui s'achèveront le 9 mai 2003. Par temps sec, les effluents sont essentiellement constitués d'eaux usées domestiques chargées en matières organiques. Le procédé par boues activées à faible charge retenu abattra 80 % de la Demande Biologique en Oxygène, 75 % de la Demande Chimique en Oxygène, 90 % des matières en suspension et 83 % de l'azote. Pour préserver les performances de traitement de la station lors des événements pluvieux, un procédé physico-chimique développé par Ondeo Degrémont, immédiatement opérationnel fonctionnera en parallèle. Il est constitué de deux décanteurs lamellaires de type Densadeg 4D. Ainsi, le traitement biologique sera assuré jusqu'à un débit de 2 800 m<sup>3</sup>/h, soit pratiquement le volume d'une piscine olympique par heure. Au-delà, il sera secondé par le traitement physico-chimique jusqu'à 16 200 m<sup>3</sup>/h.

Les matières de curage et de vidange seront réceptionnées et traitées sur la station. Les sables et matériaux encombrants seront séparés et les jus recyclés en tête de station. Cet ensemble sera installé dans des locaux fermés et désodorisés. Quant aux boues produites par l'usine de dépollution, elles seront incinérées directement sur le site dans un four Niro®.

Les performances et la fiabilité de l'installation seront encore améliorées par les deux années d'exploitation confiées à Ondeo Degrémont. Au terme de cette "mise en régime", les coûts d'exploitation auront été optimisés.

L'usine ne générera aucune nuisance; les odeurs et les fumées seront traitées. De plus, l'usine bénéficiera d'un traitement architectural et paysa-

ger lui permettant de s'intégrer harmonieusement dans le projet d'aménagement des berges du Rhône. Un parcours pédagogique, un circuit de visite permettront d'expliquer aux valentinois le fonctionnement et le rôle primordial pour la protection de l'environnement d'un tel équipement.

### ■ JUILLET 2001

#### Terrassements

Les terrassements sont achevés pour les bassins d'aération ainsi que pour les clarificateurs.

Un rabattement de nappe permet de maintenir l'étanchéité du chantier, indispensable pour installer les grues à tour et débiter la construction des ouvrages en août.

Le quai provisoire de réception des matières de curage est achevé et est en service depuis la mi-juillet.

### ■ AOÛT 2001

#### Arrivée des grues

En août 2001, trente personnes ont travaillé sur le chantier de construction de la nouvelle usine de dépollution de Valence. Deux des quatre grues à tour ont été montées. D'une hauteur de 36 m et d'une flèche de 65 m de longueur, la première est destinée à la construction des trois bassins d'aération alors que la seconde est dédiée aux trois clarificateurs.

Les bétons de propreté des bassins d'aération ont été coulés. Le ferrailage des radiers a ensuite été réalisé. Au niveau de chaque clarificateur, un puits d'épuisement vient compléter le dispositif de rabattement de la nappe pour permettre le coulage des fûts centraux ainsi que la mise en place de la canalisation d'alimentation en effluent (diamètre 900 mm - matériau fonte).

### ■ SEPTEMBRE 2001

#### Coulage des radiers

Durant le mois de septembre, une quarantaine de personnes sont intervenues sur le chantier. Deux grues supplémentaires ont été montées pour réaliser le bâtiment technique et les ouvrages de traitement des eaux pluviales. Le ferrailage puis le

# des eaux usées valentinoise

coulage des radiers des bassins d'aération ainsi que ceux des clarificateurs se sont poursuivis conformément aux jalons du planning général d'exécution.

## ■ OCTOBRE 2001

### Ferrailage des voiles

En octobre 2001, les équipes se sont renforcées. Une cinquantaine de personnes ont travaillé sur le chantier. Les radiers des clarificateurs ont été intégralement coulés.

Le terrassement des ouvrages de traitement des eaux pluviales (Densadegs) s'est poursuivi afin de préparer le coulage du béton de propreté au début du mois de novembre.

Au niveau du bâtiment technique, le ferrailage des fosses a débuté. Il concerne dans un premier temps la fosse de réception des matières de curages ainsi que la fosse toutes eaux.

Conjointement, le ferrailage des voiles extérieurs des clarificateurs ainsi que des bassins d'aération a été mis en place. Le coulage des premiers voiles courbes et droits a ensuite été réalisé. L'optimisation des méthodes constructives ainsi qu'une faible pluviométrie ont permis de prendre un mois d'avance sur le planning général d'exécution au niveau de la construction de ces ouvrages de contenance.

## ■ NOVEMBRE 2001

### Coulage des voiles

En novembre 2001, les équipes se sont encore renforcées avec maintenant l'intervention d'une soixantaine de personnes. A cette date, 520 t d'acier ont été utilisées et 5 850 m<sup>3</sup> de béton ont été coulés. Les voiles extérieurs de deux bassins d'aération sont sur le point d'être achevés.

Le troisième bassin d'aération voit son ferrailage avancer rapidement. Le ferrailage des voiles intérieurs va ensuite débiter.

Les voiles extérieurs de deux bassins d'aération sont sur le point d'être achevés. Le troisième bassin d'aération voit son ferrailage avancer rapidement. Le ferrailage des voiles intérieurs va ensuite débiter.

Les voiles d'un premier clarificateur sont totalement achevés alors que le coulage des voiles des

deux autres clarificateurs est en cours. Il restera à ferrailer puis à couler les goulottes de reprise d'eau traitée ainsi qu'à réaliser les fûts centraux.

Au niveau des Densadegs, le béton de propreté a été coulé. Les fosses les plus basses ont été réalisées et la mise en place des canalisations inox sous radier achevée.

Conjointement, le radier du bâtiment de flottation/désodorisation a été construit.

Les ouvrages ainsi que les fosses des bâtiments sortent de terre à vive allure.



Schéma de principe eau : filière biologique

Schematic diagram for water biological process

## ■ JANVIER 2002

### Coulage des voiles

Durant le mois de janvier 2002, c'est près de 90 personnes qui ont travaillé sur le chantier ; 815 t d'acier ont été utilisées et 12 500 m<sup>3</sup> de béton ont été coulés.

Les voiles extérieurs des trois bassins d'aération sont achevés. Le clavetage des poutres tirants a débuté dans deux bassins. Au niveau du troisième, les voiles intérieurs courbes sont en cours de coulage.

Les voiles extérieurs des trois clarificateurs sont également achevés. Les tests d'étanchéité débiteront mi-février dans un clarificateur alors que dans les deux autres, les fûts centraux, les goulottes ainsi que les ouvrages de récupération des flottants sont en cours de coulage.

Au niveau des Densadegs, le coulage des voiles extérieurs a débuté. Il succède à la réalisation du radier effectuée à la fin du mois de décembre 2001.

Le préterrassement du poste de relèvement est achevé. Les palplanches d'une hauteur de 8 m sont en cours de mise en place par vibrofonçage.

Conjointement, les fosses de stockage des boues physico-chimiques et des boues flottées ont été réalisées. Les tests d'étanchéité de ces fosses sont en cours. La mise en place des canalisations au niveau du fût central du flottateur permettra d'engager le terrassement nécessaire à la réalisation du flottateur d'un diamètre de 14 m.

Le terrassement de la bâche de dégazage et de la

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maître d'ouvrage

Ville de Valence, Direction Gestion de l'Espace public, Service Eau-Assainissement

### Maître d'œuvre

Groupement IRH Environnement (mandataire)/Cabinet Dutoit

### Concepteur-Constructeur

Ondeo Degremont

### Sous-traitants

- Génie civil : Campenon Bernard Méditerranée
- Electricien : Allez

► bache de contact est en cours. Il sera suivi par la mise en place des canalisations de transfert des effluents des bassins d'aération vers les clarificateurs et de recirculation des boues des clarificateurs vers la bache de contact. L'implantation de ces canalisations est un préalable au démarrage des travaux relatifs au bâtiment d'air surpressé, situé à proximité.

Schéma de principe eau :  
filrière de traitement  
physico-chimique (temps  
de pluie)

*Schematic diagram  
for water : physico-chemical  
treatment process  
(in rainy weather)*



Schéma de principe  
traitement des boues

*Schematic diagram  
of sludge treatment*



## ■ FÉVRIER 2002

### Coulage des voiles

Quatre-vingt-dix personnes étaient encore présentes sur le chantier en février 2002.

L'ensemble des voiles des trois bassins d'aération est achevé. Dans deux bassins, les finitions sont en cours avant la réalisation des tests d'étanchéité. Le clouage des poutres tirants est sur le point d'être terminé dans le troisième bassin.

Deux clarificateurs sont achevés (y compris les ouvrages de récupération des flottants). Les tests d'étanchéité ont débuté pour l'un d'entre eux alors qu'au niveau du second, une équipe réalise les finitions (rebouchage des trous de banches notamment). La goulotte est en cours de coffrage dans le troisième clarificateur. Entre les clarificateurs, les travaux de la bache de dégazage ont démarré. Les canalisations Hobas de liaison entre cette bache et la bache de contact ont été partiellement implantées.

Au niveau des Densadegs, le coulage des voiles extérieurs avance rapidement.

Au niveau du poste de relèvement, les palplanches d'une hauteur de 8 m ont été mises en place. Le lien entre ces éléments est assuré par butonnage. L'entreprise de terrassement évacue les matériaux sur 5 m de profondeur grâce à une pelle mobile. Un bouchon béton de lestage sera ensuite coulé avant d'engager l'assèchement du poste au moyen de pompes portables de grande capacité.

Le béton de propreté du flottateur est en cours. Il fait suite au terrassement de la zone contiguë aux fosses de stockage des boues flottées et physico-

chimiques sur lesquelles les tests d'étanchéité ont été menés avec succès en janvier 2002.

## ■ MARS 2002

### Coulage des voiles et tests d'étanchéité

Durant le mois de mars 2002, 90 personnes ont travaillé sur le chantier.

Dans deux bassins d'aération, les finitions ont été achevées. Les tests d'étanchéité sont en cours. Le clouage des poutres tirants est terminé dans le troisième bassin. Les finitions sont en cours. Les ouvrages annexes en sortie des trois bassins d'aération sont en cours de réalisation.

Deux clarificateurs sont achevés (y compris les ouvrages de récupération des flottants). Les tests d'étanchéité sont terminés sur le premier et en cours sur le deuxième. Le coffrage de la goulotte du troisième clarificateur est sur le point d'être achevé.

Entre les clarificateurs, les travaux de la bache de dégazage avancent rapidement : coulage du radier et coffrage des voiles.

Au niveau des Densadegs, le coulage des voiles extérieurs et intérieurs progresse.

Le puits d'alimentation des Densadegs est en cours de réalisation.

Au niveau du poste de relèvement, le béton de lestage a été coulé. Cela a permis d'assécher la fosse pour engager la réalisation du radier en avril. Le radier du flottateur est achevé. Les voiles extérieurs sont en cours de coffrage.

Pour ce qui concerne le bâtiment technique, le gros-œuvre des dessableurs-dégraisseurs y compris le canal de comptage venturi est achevé. Les tests d'étanchéité pourront être conduits en avril ainsi que la pose de la charpente métallique.

## ■ JUIN 2002

### Achèvement gros œuvre, début de montage des équipements

C'est désormais 80 personnes qui interviennent sur le chantier.

Les tests d'étanchéité des trois bassins d'aération sont achevés. Le montage des collecteurs et des rampes de diffusion d'air en inox 304L est en cours dans un bassin. Les diffuseurs fines bulles seront implantés après soufflage des collecteurs.

Les ouvrages annexes en sortie des trois bassins d'aération sont également terminés. Les tests d'étanchéité vont démarrer.

Le gros œuvre du bâtiment d'air surpressé est également terminé. Les travaux de corps d'état secondaires vont débiter par la mise en place des

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Plus de 80 plans (guide, équipement, fonctionnement)
- Plus de 60 spécifications techniques de matériel
- Plus de 150 plans d'exécution (terrassement, génie civil, second œuvre)
- Plus de 55 000 m<sup>3</sup> de terrassements généraux
- Plus de 2 800 m<sup>3</sup> de substitution de sols sous les ouvrages
- Plus de 13 500 m<sup>3</sup> de béton
- Plus de 41 000 m<sup>3</sup> de coffrages
- Plus de 1 100 t d'armatures (H.A et T.S)
- Plus de 900 ml de fonte (inférieure à DN 250)
- Plus de 300 ml de béton 135A (DN 600 et DN 1000)
- Plus de 400 ml de canalisation Hobas (DN 700 à DN 1600)
- Plus de 3000 ml de fourreaux électriques
- Plus de 35 chambres de tirage

grilles de ventilation, la peinture de sol, et la pose des portes métalliques notamment.

Les trois clarificateurs sont achevés. Les ponts racleurs/sucés de type diamétral à entraînement périphérique réalisés en aluminium ont été montés sur deux clarificateurs.

Les voiles de la bache de dégazage située au centre des trois clarificateurs sont aussi terminés. La dalle de couverture est en cours de coffrage et de ferrailage.

Au niveau des deux Densadegs 4D TGV, les voiles extérieurs et intérieurs sont achevés. Les inserts inox sont en cours de pose dans un Densadeg alors que le coffrage de la dalle de couverture est en phase de réalisation au niveau du second Densadeg. Les remblais techniques permettent de préparer la zone de travail pour la réalisation des locaux "électriques et groupe électrogène" accolés aux Densadegs. La canalisation DN 1200 sous radier a été mise en place.

Au niveau du poste de relèvement, les voiles périphériques sont terminés. Le voile intérieur guide flux est en cours de coffrage. Les remblais techniques doivent débuter en juillet pour engager la réalisation du local électrique accolé.

Pour ce qui concerne le bâtiment technique, l'ensemble du gros œuvre est achevé. La charpente métallique a été mise en place. Le bardage double peau et l'étanchéité de la toiture sont en cours de réalisation. Les portes métalliques ainsi que rideaux automatiques sont en cours de pose. La pose des équipements a débuté depuis la livraison des ponts des dessableurs/dégraisseurs rectangulaires.

Le bâtiment salle de contrôle avance rapidement. Le coffrage des voiles est en cours.

## ■ JUILLET 2002 À NOVEMBRE 2002

### Poursuite du montage des équipements et réalisation des corps d'état secondaires

En juillet, le montage des agitateurs de type pale banane a été réalisé dans les trois bassins d'aération. Pendant ce temps, le bardage du bâtiment prétraitement s'est poursuivi et le gros œuvre de la salle de commande de l'usine a débuté.

Le montage des équipements, notamment les ponts des dessableurs-dégraisseurs longitudinaux ainsi que les aéroflots, dans le bâtiment prétraitement a alors été effectué. Le gros œuvre de la salle de commande s'est poursuivi en août 2002.

En septembre 2002, le montage du racleur de la flottation ainsi que la mise en place des quatre surpresseurs de type *roots* bivitesse a été réalisé.

Le terrassement de la plate-forme qui reçoit le bâtiment d'incinération a démarré rapidement pour ensuite réaliser les fondations.



Vue des bassins d'aération - Août 2002

View of the aeration tanks - August 2002



Four d'incinération des boues d'épuration - Février 2003

Sewage sludge incineration furnace - February 2003

Le groupe électrogène de 2 000 kVA a été testé puis réceptionné chez le fournisseur, en attente d'une livraison sur le chantier.

En octobre 2002, le gros œuvre de la salle de commande est achevé. La charpente du bâtiment de désodorisation est également terminée et le bardage est en cours de pose. Les trois tours de désodorisation ont ensuite été mises en place. Le montage des gaines de désodorisation est en cours.

La bache de dégazage/répartition est achevée. Les tests d'étanchéité doivent débuter à la fin du mois d'octobre avant l'installation du racleur de dégazage et des pompes de recirculation des boues.

En novembre 2002, la livraison des équipements annexes se poursuit (par exemple, les formes du canal Venturi pour le comptage des eaux brutes de la filière biologique).

La mise en place des chemins de câbles ainsi que le câblage des actionneurs dans le bâtiment prétraitement a également débuté. La réception des armoires électriques du relèvement, du prétraitement, de la flottation et de la production d'air surpressé a été réalisée avec succès chez le fournisseur. Les armoires seront livrées dans les prochaines semaines sur le chantier.

Le 20 novembre 2002, le silo de stockage des boues déshydratées (capacité utile 120 m<sup>3</sup>) a été livré puis mis en place sur les massifs prévus à cet effet au niveau du bâtiment d'incinération.

La sole de fixation du four d'incinération a également été fixée sur son massif, en prévision de la livraison imminente du four.

## ■ DÉCEMBRE 2002 À JANVIER 2003

### Montage des équipements, raccordements électriques, mise en place des réseaux enterrés

Concernant le bâtiment d'incinération, la mise en place de la charpente métallique s'est effectuée après les livraisons et montage du four d'incinération, de l'échangeur/refroidisseur, du silo à sable, du silo à Sorbalite et du silo de stockage des boues déshydratées.



Le montage des passerelles techniques métalliques du bâtiment d'incinération est achevé. La mise en place du bardage est programmée pour février - mars.

Le gros œuvre du local déshydratation des boues étant achevé, la livraison des deux centrifugeuses a été réalisée dans les temps.

Conjointement, la mise en place des réseaux humides enterrés (jusqu'à DN 1400) de liaison inter-ouvrages a débuté. L'achèvement de l'ensemble des réseaux principaux et secondaires est programmé pour la mi-mars.

L'implantation des réseaux secs se fera à compter de la mi-février conformément au planning général des travaux.

La livraison des tours de désodorisation ainsi que le montage des gaines de ventilation est en cours. Les cuves de stockage des réactifs ainsi que les pompes doseuses ont été également montées.

Les armoires électriques du poste de relèvement, du bâtiment technique, de la flottation et du bâtiment d'air surpressé ont été livrées. Le raccordement des nombreux actionneurs est en cours et se cale après la fin du montage des équipements.

Les ouvrages de traitement des eaux pluviales (Densadegs 4D TGV) reçoivent actuellement leurs formes de pente afin d'engager le montage des herses. Les voiles périphériques des locaux électriques et groupe électrogène (2000 kVA) sont achevés. Les prédalles de couverture seront ensuite mises en place.

Le montage des équipements dans la galerie des pompes des Densadegs est en cours. La livraison des pompes de recirculation, du groupe hydrophore pour la production d'eau industrielle, des surpresseurs et des dégrilleurs est intervenue au début du mois de janvier.

Dans la configuration actuelle, le basculement des effluents de l'ancienne station d'épuration vers cette nouvelle usine est prévu à la fin du mois d'avril. A cette période débutera la mise en service de la filière de traitement biologique. Celle-ci sera suivie de la mise en service des filières de traitement des eaux de pluie et enfin de l'incinération.

## ABSTRACT

Sewage pollution control plant in the Valence urban area. The project month by month

*R. Mégnegeau*

Following a performance-based invitation to tender in 2000, the City of Valence commissioned Ondeo Degrémont (Suez) to perform the extension and backfitting of its pollution control plant, and then the construction of an incineration furnace, Niro®, which will eliminate the sludge directly on site.

Designed to treat the sewage from 150,000 inhabitant equivalents on the 2015 horizon with a quality higher than the prevailing standards, and this in all weather, the plant will employ the most efficient water treatment and nuisance abatement technologies.

Having received the start-up work order on 8 January 2001, Ondeo Degrémont began the works on 9 May 2001. These works will be completed on 9 May 2003.

## RESUMEN ESPAÑOL

Planta de descontaminación de las aguas residuales de la aglomeración de Valencia - Las obras mes por mes

*R. Mégnegeau*

A raíz de una licitación, en 2000, con condiciones de resultados, la ciudad de Valencia ha encargado a Ondeo Degrémont (Suez) la ampliación y la ejecución según la normativa de su planta de descontaminación, y seguidamente, la construcción de un horno de incineración, Niro®, que habrá de eliminar los lodos producidos directamente en la propia planta.

Esta planta está destinada al tratamiento de las aguas residuales de 150.000 eq. habitantes en el horizonte 2015, con una calidad superior por comparación con las normas vigentes, y ello con cualquier tiempo. Una vez construida, la planta aplicará las tecnologías más modernas de tratamiento de las aguas y la reducción de los efectos nocivos y la protección contra los daños al medio ambiente. Al haber recibido la orden de inicio de las obras el 8 de enero de 2001, Ondeo Degrémont ha dado comienzo a las obras el 9 de

mayo de 2001, obras que se habrán de terminar el 9 de mayo de 2003.

# Protection côtière par tubes conteneurs brise-lames

## Cas de la plage de l'Amélie dans le Médoc

La plage sableuse de l'Amélie, située sur la côte atlantique à la Pointe du Nord Médoc, est exposée aux fortes houles d'ouest et de nord-ouest. Il en résulte une érosion importante du cordon dunaire dont le taux moyen avoisine 3,4 m/an. Les protections en structures lourdes classiques mises en place dans le passé n'ont pas donné les résultats escomptés. De nouvelles structures plus souples et plus légères ont été essayées. La dernière en date est composée par des brise-lames réalisés en tubes conteneurs : ils consistent en une enveloppe textile filtre tubulaire remplie avec le sable de la plage. Cette technique est très rapide à mettre en œuvre et moins chère que les solutions classiques. Elle présente également l'avantage d'être facilement réversible si nécessaire. Le comportement de la structure, plusieurs mois après sa mise en œuvre, est très encourageant quant à l'avenir de cette technique.

### ■ INTRODUCTION

La côte Aquitaine est une côte sableuse qui s'ouvre sur l'océan Atlantique entre l'embouchure de la Gironde au nord, et celle de l'Adour au sud (figure 1). Elle s'étend sur 240 km et représente 1/20 du littoral français. La côte Aquitaine est globalement nord-sud, dépourvue d'îles et directement exposée aux houles. Le rivage est constitué de sables en perpétuel remaniement et les côtes sont globalement en érosion. L'ensemble du littoral aquitain est bordé par des formations dunaires. L'influence des fonds marins s'exerce à une distance variable suivant les caractéristiques de la houle. Ils provoquent un gonflement des vagues, une augmentation de leur cambrure et un déferlement en gros rouleaux près du rivage.

Le littoral Nord Médoc est soumis à une érosion à la fois irrégulière et violente sous l'action de la mer et du vent depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. C'est au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle que le recul du trait de côte devient problématique. L'élévation du niveau marin, estimée à 3 mm/an dans cette région, participe au modelage du trait de côte, mais ne joue qu'un rôle secondaire dans les processus d'érosion. Il apparaît clairement que la raison principale du recul du rivage réside dans la réduction des quantités de sables mobilisables sur la plate-forme continentale. En effet, les sables de la plage ne compensent plus le retour à la mer des sables constituant la dune. C'est donc dans l'amincissement du cordon dunaire que réside l'ensemble des préoccupations. Par ailleurs, une étude récente souligne qu'en Aquitaine les tempêtes sont moins fréquentes depuis une quarantaine d'années mais elles sont beaucoup plus intenses. Ainsi, leur pouvoir dévas-

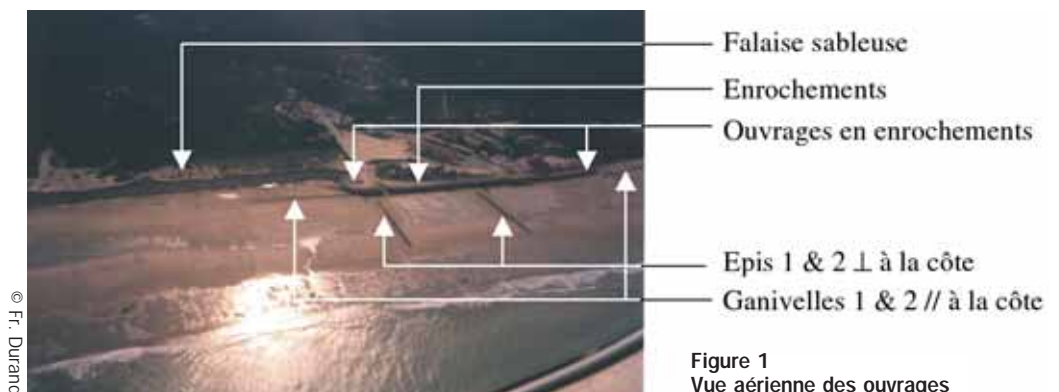


Figure 1  
Vue aérienne des ouvrages de protection de la plage de l'Amélie en mars 1998

*Aerial view of the protection structures for l'Amélie Beach in March 1998*

tateur serait renforcé, de même que l'énergie de la houle qu'elles engendrent, de l'ordre de 30 %. L'érosion du Nord Médoc résulte donc d'un déficit sédimentaire important. En fait, ce littoral ne reçoit aucun sédiment qui pourrait compenser les départs de sable. La perte a été chiffrée à environ 1 750 000 m<sup>3</sup>/an, expliquant l'importance des phénomènes d'érosion, processus plus ou moins prononcés suivant les secteurs considérés. Sur une centaine d'année (1890-1994), le recul moyen annuel de la côte a été de 3,4 m/an. Entre 1888 et 1979, la côte a reculé de plus de 300 m, engloutissant deux rues habitées. Puis, cette érosion s'est accélérée, passant à un taux de 8 m/an. Avec la tempête du 27 décembre 1999, c'est 10 à 15 m d'épaisseur de dune qui ont été emportés.

Les onze communes de la Pointe du Médoc, associées au sein d'une communauté de communes, montrent une volonté déterminée de prendre en compte les aménagements de lutte contre l'érosion de façon, d'une part, à ne plus agir dans l'urgence, et donc d'avoir la solution la mieux adaptée à la défense du trait de côte et à la vocation de

Olivier Artières

CHEF DE PROJETS  
DE DÉVELOPPEMENT  
Bidim Geosynthetics S.A.



Michel Dunand

DIRECTEUR TECHNIQUE  
SUD  
Guintoli



Françoise Durand

GÉOLOGUE CONSULTANT  
Bureau d'études MD Consultants





Figure 2  
La plage de l'Amélie avant la construction des tubes brise-lames. Partie nord : à gauche. Partie sud : à droite  
*L'Amélie Beach before construction of the breakwater tubes. Northern section : on the left. Southern section : on the right*

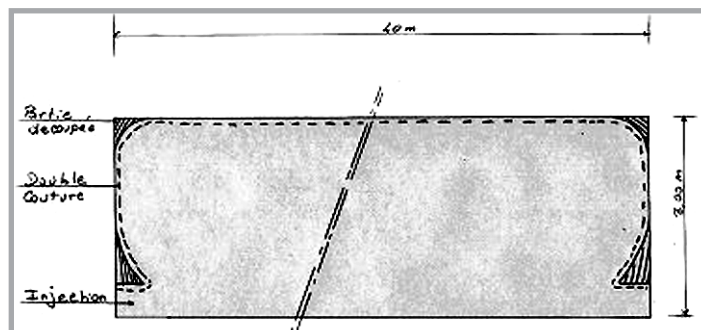


Figure 3  
Schéma d'un tube  
*Tube diagram*

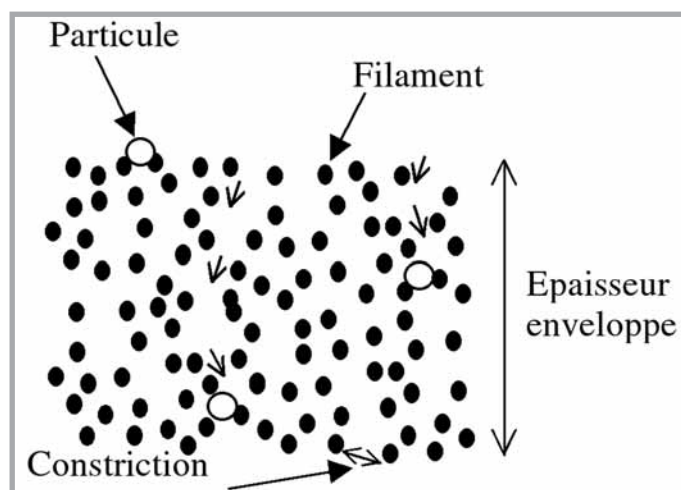


Figure 4  
Coupe schématique de l'enveloppe textile du tube  
*Schematic cross section of the tube's textile enclosure*

► leurs communes, et d'autre part, à agir plus rapidement dans les zones les plus sensibles à l'érosion.

C'est la nécessité d'avoir une réflexion concertée et globale sur la protection du littoral, en relation avec le développement touristique, qui est à l'origine de cette prise de décision, basée sur des solutions d'aménagement du rivage s'adaptant le mieux aux contraintes liées à l'économie et à l'environnement naturel. La gestion de l'érosion côtière se doit de dépasser le cadre local afin d'avoir une stratégie d'ensemble concernant le choix des sites à protéger.

### ■ LE CAS PARTICULIER DE LA PLAGE DE "L'AMÉLIE"

C'est au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle que le recul du trait de côte devient problématique sur la côte méditerranéenne. L'Amélie, sur la commune de Soulac-sur-Mer, ne bénéficiera des premiers aménagements qu'en

1994. Un cordon en enrochements, d'une longueur de 270 m, est édifié suite aux dégâts causés par les tempêtes de 1993-1994 (figure 1). L'hiver suivant lui inflige des dommages importants. En 1996, l'enrochement est conforté et des ouvrages en retour sont édifiés de part et d'autre de celui-ci pour éviter un contournement de l'ouvrage. Mais ces protections ne font que déplacer les érosions encore plus vers l'intérieur des terres où les dunes subissent les attaques frontales de la mer (figure 2).

### ■ CHOIX D'UNE STRUCTURE LÉGÈRE DE PROTECTION LITTORALE

La protection du littoral a fait le plus souvent appel à des techniques mettant en œuvre des enrochements (épis, de front de mer et de brise-lames), des ouvrages en maçonnerie ou en béton (épis ou front de mer) et à un moindre degré, des rechargements de plage. Ces ouvrages en enrochement ou en béton ne sont pas toujours exempts d'inconvénients (érosion des zones situées au-devant et de part et d'autre de l'aménagement) et posent le problème de leur intégration dans le paysage. C'est de cette volonté commune, de freiner et d'accompagner les phénomènes d'érosion marine, mais aussi de cette prise de conscience que les ouvrages en dur ne sont pas la panacée, que les élus se sont naturellement orientés vers les aménagements en technique douce. De plus, le caractère réversible de ces protections en techniques douces est un atout supplémentaire en cas de constat négatif de leur fonctionnement.

En 1998, une protection expérimentale est implantée sur le haut de plage. Il s'agit de quatre rangées de pieux en quinconce, disposées soit perpendiculairement au trait de côte (épis 1 et 2), soit parallèlement à celui-ci (ganivelles hydrauliques 1 et 2) (figure 2). En 2000, sous l'action des houles de la tempête de décembre, l'enrochement de l'Amélie montre des signes d'affaissement et la dégradation de l'ouvrage donne lieu à des travaux de confortement en urgence. En juin 2002, des opérations de reprofilage de la plage ont été entreprises. Ces travaux étaient nécessaires afin de préserver la plage destinée aux activités touristiques. En septembre 2002, le caractère d'urgence est décrété par le tribunal administratif et un aménagement mettant en œuvre des tubes conteneurs remplis de sable est implanté sur la plage.

### ■ LE TUBE BRISE-LAMES

#### Le tube conteneur

Le tube est réalisé à partir d'une enveloppe filtre cousue sur place. Les dimensions du panneau uti-

lisé est de 40 m de long et 6 m de large, à partir duquel un cylindre de base circulaire de 1,80 m de diamètre (figure 3) est construit. L'enveloppe est pliée en deux dans le sens de la largeur et cousue sur toute sa longueur, sauf aux extrémités, laissant ainsi deux manches d'injection.

### Propriétés principales de l'enveloppe filtre du tube

L'enveloppe filtre doit posséder à la fois des propriétés hydrauliques et mécaniques, nécessaires lors de l'étape de construction des tubes.

#### Propriétés hydrauliques

L'enveloppe textile agit comme un filtre industriel qui doit séparer les particules solides du fluide dans lequel elles sont transportées.

Le premier paramètre hydraulique concerne la plage d'ouvertures de filtration de l'enveloppe qui contrôle la taille des particules de sol retenues dans le tube : il faut retenir la matrice du sol, sans toutefois retenir les fines (eau boueuse) qui risquent de colmater trop rapidement (figure 4). Deux caractéristiques de l'enveloppe filtrante permettent d'ajuster cette rétention aux propriétés de la mixture de sol :

- ◆ l'ouverture de filtration (mesurée selon NF EN ISO 12956) détermine la taille des plus grosses particules retenues ;
- ◆ le nombre de constriction (mesuré selon NF G 38030) correspond à l'épaisseur filtrante de l'enveloppe, qui a un lien direct avec le risque de colmatage. L'épaisseur filtrante optimale doit correspondre à un nombre de constriction compris entre 25 et 40.

La perméabilité de l'enveloppe (mesurée selon NF EN ISO 11058) est le second paramètre hydraulique : plus l'enveloppe est perméable, plus la pression d'eau dans le tube est dissipée rapidement, ce qui permet d'atteindre des vitesses et des taux de remplissage élevés. De plus, le matériau à l'intérieur du tube consolide plus vite, car drainé sur toute la périphérie.

#### Propriétés mécaniques

L'enveloppe du tube est soumise à des contraintes mécaniques au cours du remplissage : le mélange sol/eau qui s'écoule à l'intérieur du tube produit une abrasion de la paroi interne de l'enveloppe. Cette abrasion est compensée par une surépaisseur de paroi, mais sa structure et sa densité sont également importants.

La pression hydraulique interne occasionne d'autre part des tensions tangentielles et longitudinales dans l'enveloppe. Ces contraintes dépendent de la pression du mélange et de la forme finale du tube : plus la section se rapproche du disque, plus les tensions sont élevées.

Cependant, un tube parfaitement cylindrique n'est

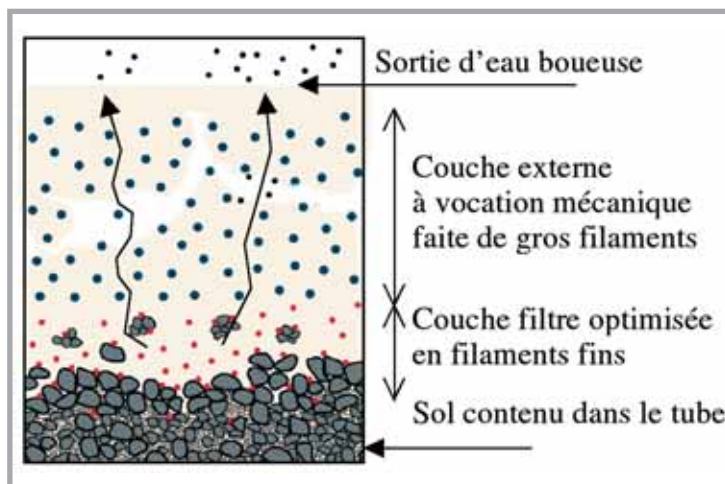


Figure 5  
Coupe schématique de l'enveloppe filtre bicouche du tube utilisé à "l'Amélie"

*Schematic cross section of the double-layer filter enclosure of the tube used on "l'Amélie"*

pas une exigence habituelle pour les ouvrages de protection de côtes.

#### Propriétés optimales

En conclusion, le choix d'une enveloppe filtre pour tube conteneur est une approche globale qui nécessite un compromis entre plusieurs caractéristiques :

- ◆ ouverture de filtration optimale : plus petite que la taille de particules à retenir dans le tube, mais plus grande que la taille des fines qui ne peuvent pas décanter ;
- ◆ nombre de constriction optimum : supérieur à 25 pour l'homogénéité du filtre, mais inférieur à 40 pour retarder le colmatage interne de l'enveloppe ;
- ◆ épaisseur optimale pour avoir d'une part une résistance à l'abrasion suffisante et une résistance à la traction suffisante, et d'autre part, une perméabilité d'enveloppe suffisante.

### L'enveloppe filtre bicouche

Ce non-tissé aiguilleté de filaments continus associe dans un même produit une couche de filtration avec des propriétés hydrauliques optimisées ( $50 \leq$  ouverture de filtration  $\leq 80 \mu\text{m}$ ,  $25 \leq$  nombre de constriction  $\leq 40$ ), et une couche externe pour accroître les propriétés mécaniques (résistance à l'abrasion et résistance à la traction) (figure 5). La couche externe faite de filaments plus gros que la couche interne possède une ouverture de filtration plus grande, ce qui augmente la perméabilité globale de l'enveloppe filtre et réduit la vitesse de colmatage interne.

La résistance à la traction de l'enveloppe filtre Bidim F80 utilisée sur "l'Amélie" est de 35 kN/m, qui s'est avérée tout à fait suffisante. Une propriété des non-tissés aiguilletés est la possibilité de réaliser des assemblages par couture très résistants. Par cette technique, la résistance des assemblages des tubes est très proche de la résistance propre de l'enveloppe. Par sécurité, on réalise une double couture parallèle.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### Maître d'ouvrage

Communauté de communes de la Pointe du Médoc

#### Entreprise

Guintoli

#### Assistance à maître d'ouvrage

Bureau d'études MD Consultants

#### Fournisseur des enveloppes filtrantes pour tubes

Bidim Geosynthetics

Figure 6  
Coupe schématique  
de la structure  
brise-lames de la plage nord  
Schematic cross section  
of the breakwater  
structure on the northern  
beach

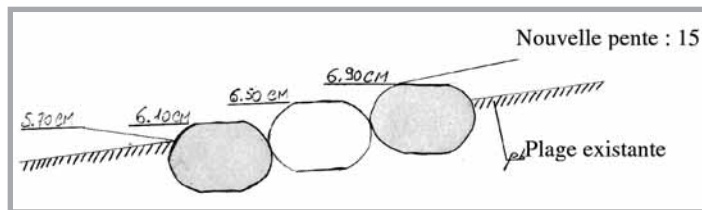


Figure 7  
Tubes en cours  
de remplissage. Première  
rangée sur la droite.  
Remplissage  
de la troisième rangée  
(à gauche)  
Tubes being filled.  
First row on the right.  
Filling the third row  
(on the left)



## Le brise-lames

Les tubes sont positionnés vides à leurs emplacements définitifs et sont remplis de sable. La pente transversale des tubes, résultat de l'empilement de trois tubes sur la plage nord et de deux sur la plage sud, est de 20 %. Sur la plage nord, l'altitude du tube médian est de 6.50 CM, pour la plage sud c'est le deuxième qui est à cette cote. Sur la plage nord, l'altitude des tubes est donc respectivement 6.10, 6.50 et 6.90 CM et pour la plage sud 6.10 et 6.50 CM. La dénivellée entre le sol et la génératrice supérieure du premier tube est de 0,40 m (figure 6 et figure 8).

Une fois le sable injecté, nous obtenons un cylindre de section "circulaire écrasée". La hauteur est de 1,40 m et la largeur 2,10 m. Les manches d'injection sont légèrement moins gonflés que le corps du tube lui-même.

## La dune

La dune est recréée par apport de sable pris dans des bancs situés à proximité du chantier. La pente en travers des dunes reconstituées est de 15 % pour le nord et 20 % pour le sud. La partie nord, plus large, nécessite une forte épaisseur de sable en remblai. Afin d'améliorer la tenue et le drainage, le sable est mis en place par couches successives et confiné par des nappes en géotextile qui se superposent en se décalant des tubes vers la dune. Le "talus" ainsi formé est renforcé par le géotextile. La partie sud, de largeur plus réduite, ne reçoit qu'une seule couche de géotextile. Il s'agit d'un géotextile utilisé dans le renfort des ouvrages de fondation et de soutènement, le Bidim Rock75.

C'est un géosynthétique qui associe renfort et drainage ; renfort par un réseau de câbles qui reprend les efforts qui se développent dans le talus et drainage par le géotextile qui assure les fonctions de drainage et de filtration.

Cette solution a été choisie pour deux raisons :

- ◆ le remblai renforcé a une meilleure stabilité contre les tempêtes : le sable de couverture peut être enlevé jusqu'à atteindre la couche de géotextile, mais le sable en dessous est mieux confiné ;
- ◆ le drainage à l'intérieur de la dune réduit l'érosion de surface causée par le ruissellement à chaque fois qu'une vague dépasse la plus haute rangée de tubes.

Côté nord, des lés de 11,00 m de long constituent cette protection. La continuité des nappes est assurée par un recouvrement de 0,50 m.

## ■ MISE EN OEUVRE

### Procédure de remplissage

Une fois le tube positionné, il est raccordé à la pompe de remplissage. Elle est positionnée au plus près des tubes afin de limiter les pertes de charge. L'eau chargée de sable (15 à 20 %) est injectée dans le tube par l'une de ses extrémités. Le tube se gonfle du mélange eau-sable, prenant ainsi sa forme finale. Le sable se dépose sur le fond par gravité et l'eau s'évacue surtout par la surface filtrante de l'enveloppe et par l'extrémité opposée à l'injection. Le remplissage se réalise de la chaussette d'injection vers le fond du tube, l'épaisseur de la couche de sable diminuant avec la distance. Une fois la section pleine, il se crée à la cime du tube une rigole qui permet le passage de la mixture. Le tube est considéré plein quand il ne reste plus que la rigole à la cime de celui-ci, et que de ce fait l'eau qui ressort est chargée de sable. Les deux chaussettes d'injection sont ligaturées afin d'assurer l'étanchéité du tube. Le temps de remplissage moyen est de deux heures. Le volume de chaque tube est d'environ 100 m<sup>3</sup>. Le sable injecté est mis en place hydrauliquement, donc la compacité est très forte (figure 7).

### Installation

Les tubes mis en œuvre sur la plage de l'Amélie ont une longueur standard de 38 m. Nous commençons par la rangée la plus proche de la mer. Elle est enterrée de un mètre environ pour limiter l'affouillement devant les tubes. La période de réalisation coïncidait avec la période de grandes marées aussi avons-nous perdu très rapidement 0,50 m de sable devant nos tubes les laissant ainsi émergés d'environ un mètre. Pour réaliser cette rangée nous implantons l'axe et nous terrassons un caniveau dont le fil d'eau correspond à l'altitude de la

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Pied de dune protégé : 200 m
- Longueur de tubes : 700 m

génératrice inférieure du tube et dont la forme épouse celle du tube. Lors du remplissage il se crée un ruissellement que nous devons canaliser afin de garantir l'altimétrie finale du tube.

La continuité de la barrière est réalisée par la superposition des extrémités des deux tubes successifs. Cette phase est délicate et seule la compétence de l'équipe de pose permet de pallier ce problème.

Les tubes d'extrémités sont enfoncés dans la dune sur une dizaine de mètres. La deuxième rangée est mise en œuvre en respectant deux critères importants :

- ◆ la pente. La deuxième rangée de tubes est décalée de 0,40 m vers le haut, créant ainsi une pente de 20 % ;

- ◆ le décalage des joints. Le premier tube de cette deuxième rangée a une longueur de 19 m afin de décaler les joints. Cette disposition améliore "l'étanchéité" de la barrière vis-à-vis du sable stocké à l'arrière.

Les rangées suivantes sont réalisées de la même façon que la première : implantation et terrassement du caniveau. Il faut en plus veiller à ce que le tube vienne s'appuyer sur celui de la rangée précédente lors du remplissage.

Une fois la barrière créée, le remplissage en sable à l'arrière commence.

La dune de la plage nord est recréée avec quatre couches de géotextile de renforcement, formant une pente de l'ordre de 15 %.

## ■ PREMIÈRES OBSERVATIONS SUR LE COMPORTEMENT DU BRISE-LAMES DE L'AMÉLIE

Lors de la construction sur la plage nord nous avons eu quelques tempêtes de forces grandissantes. La première n'a fait que prélever le sable devant la première rangée de tubes laissant ainsi à découvert une marche de l'ordre de un mètre à la place des 40 cm prévus.

La deuxième plus sérieuse (avec des creux de 2,50 m) est survenue avant la fin des tubes. Les trois rangées de tubes parallèles aux ganivelles étaient finies mais le retour ne comportait qu'une seule rangée ancrée dans la dune. Les tubes ont résisté et certains se sont déformés sans se déchirer. Mais plus important, la première rangée s'est enfoncée dans le sable laissant dépasser le tube d'environ 0,40 m.

Cette position semble être une position d'équilibre (figure 8).

La troisième, et dernière à ce jour, présentait des creux de 6 m, montant ainsi à la cote + 8.00 CM. L'ensemble a résisté mais une très grande quantité de sable a été emportée, dont 50 cm devant la première rangée redécouvrant ainsi le tube de 1,00 m (figure 9).

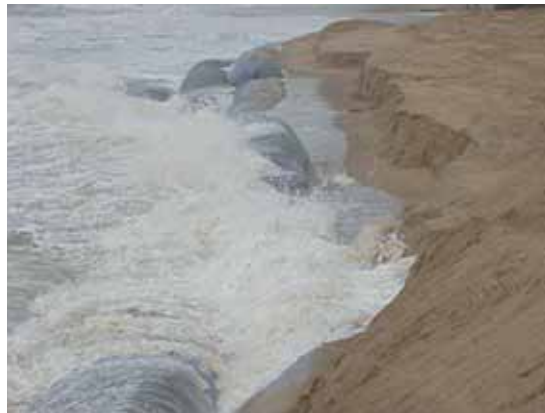


Figure 8  
Brise-lames en tubes de la plage nord pendant (en haut) et après (en bas) la deuxième tempête



*Tubular breakwater on the northern beach during (at top) and after (at bottom) the second storm*



Figure 9  
Brise-lames nord en tubes (à gauche) et dune (à droite) avec géotextile de renforcement (au milieu) après la première tempête

*Northern tubular breakwater (on the left) and dune (on the right) with geotextile reinforcement (in the middle) after the first storm*

## ■ CONCLUSION

Les brise-lames en tubes conteneurs sont des alternatives intéressantes aux solutions classiques, comme les brise-lames en enrochement, et s'adaptent mieux aux contraintes liées à l'économie et à l'environnement naturel. Ils consistent en de longs "boudins" de sable confinés à l'intérieur d'une enveloppe filtre. Ce type de structure est rapide à mettre en œuvre (20 m/heure pour un tube de 1,4 m de haut), réversible si nécessaire, et entre 20 % et 30 % moins cher que les solutions classiques. Le brise-lames en tubes construit en décembre 2002 stabilise l'érosion dunaire le long de la plage de l'Amélie. Il a montré un bon comportement hydraulique et fait preuve d'une bonne sta-

Coastal protection by breakwater container tubes. Case of l'Amélie Beach in the Médoc region

*O. Artieres, M. Dunand, Fr. Durand*

The sandy beach of l'Amélie, situated on the Atlantic Coast at the tip of northern Médoc, is exposed to the strong west and northwest swells. The result is extensive erosion of the belt of dunes at an average rate of close to 3.4 m/year. The conventional heavy protection structures set up in the past did not give the expected results. New lighter, more flexible structures have been tested. The latest to date consist of breakwaters made in container tubes : they consist of a tubular filtering textile enclosure filled with sand from the beach. This technique can be implemented very rapidly and is less expensive than conventional solutions. It also has the advantage of being easily reversible if necessary. The structure's performance, several months after its implementation, is very encouraging for the future of this technique.

Protección costera mediante tubos contenedores rompeolas. El caso de la playa de Amélie, en el Médoc

*O. Artieres, M. Dunand y Fr. Durand*

La playa de arena de Amélie, situada en la costa atlántica, en la Pointe du Nord Medoc, se encuentra expuesta a las fuertes marejadas del oeste y del noroeste. De ello se deriva una erosión importante del cordón de dunas, cuya importancia de promedio es cercana de 3,4 m/año. Las protecciones mediante estructuras pesadas convencionales instaladas en el pasado, no han dado los resultados apetecidos. Así, se han sometido a prueba nuevas estructuras más flexibles y más ligeras. La última de ellas está compuesta por rompeolas ejecutado en tubos contenedores, que consiste en un forro textil filtro tubular relleno mediante las arenas de la playa. La aplicación de esta técnica es sumamente rápida y más económica que las soluciones convencionales. También presenta la ventaja de ser fácilmente reversible, de ser necesario. El comportamiento de la estructura, transcurridos algunos meses después de su ejecución es sumamente alentadora por lo que se refiere al futuro de este procedimiento técnico.

bilité après avoir essuyé une forte tempête hivernale avec une houle de 6 m avant la fin du chantier. Cette solution technique montre également un avenir prometteur dans d'autres applications hydrauliques.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Communauté de communes de la Pointe du Médoc et le Service Maritime et de la Navigation de la Gironde pour leur assistance au cours de ce projet.

# Modernisation des postes 415-416 au port de Bordeaux Bassens

Hervé Duplaine  
RESPONSABLE EXPLOITATION  
Balineau SA

Jacques Garrissou  
DIRECTEUR DE TRAVAUX  
Balineau SA

Jean-Yves Coutures  
RESPONSABLE PROJET  
Port Autonome de Bordeaux

Les postes 415 et 416 du Port de Bordeaux sont situés dans le secteur Bassens Amont (figure 1). Ces postes sont dédiés à l'activité multivrac et plus particulièrement adaptés aux produits suivants : pâte à papier, mélasse et céréales.

L'augmentation constante des tonnages traités en multivrac a conduit le Port Autonome de Bordeaux à décider de moderniser ces installations. L'accueil des navires de 33 000 t, représentatifs de la taille courante actuelle, nécessite de garantir un tirant d'eau de 10,5 m minimum par tous coefficients de marée. Cette garantie implique pour les fonds en bord de quai un passage d'une côte marine de - 9.00 à - 12.00. La solution choisie consiste en un nouveau rempiètement, le premier ayant été réalisé pendant la Seconde Guerre mondiale, complété par un dragage.

Les travaux ont été confiés à l'entreprise Balineau SA dans le cadre d'un marché d'environ 2 280 000 € à réaliser en 10 mois y compris la période de préparation. Les travaux seront terminés en juillet 2003.

## ■ LA GÉOLOGIE

Les différentes couches rencontrées à partir du fond de la Garonne se décomposent comme suit :

- ◆ les alluvions fines de la Garonne (sable vasard finement graveleux) sur 1,5 m environ ;
- ◆ les alluvions grossières (graves) sur 2 m environ ;
- ◆ le substratum oligocène (marnes verdâtres à marne-calcaire) avec des niveaux marneux et des niveaux sableux moins indurés.

La résistance du substratum est extrêmement variable selon que l'on se trouve dans un niveau marneux ou non. Cette variabilité se retrouve dans les courbes de battage des caissons.

## ■ LA NOUVELLE STRUCTURE

Les figures 2 et 3 reprennent une coupe sur un massif et une élévation.

La nouvelle magistrale du quai reste très proche de l'ancienne puisqu'elle laisse juste l'espace nécessaire à la réalisation de la nouvelle structure comme on peut l'observer sur la photo 1. On y voit que la nouvelle structure se compose de massifs en béton armé destinés à recevoir des défenses d'accostage ainsi que de poutres reliant ces massifs.



Figure 1  
Plan de situation  
Location drawing

La partie béton de l'ouvrage est réalisée au moyen d'éléments préfabriqués : partie basse des massifs et poutres et de parties coulées en place : partie haute des massifs. Ce choix est dicté par une optimisation des moyens de levage, le poids maximum des éléments préfabriqués étant fixé à 25 t. La partie inférieure des massifs en béton armé est préfabriquée et repose sur quatre caissons en palplanches par l'intermédiaire de quatre tubes en acier d'un diamètre extérieur de 273 mm et de 25 mm d'épaisseur. La partie supérieure des tubes est noyée dans le béton sur toute sa hauteur et la



Figure 2  
Coupe au droit  
d'un massif  
*Cross section  
of a foundation*

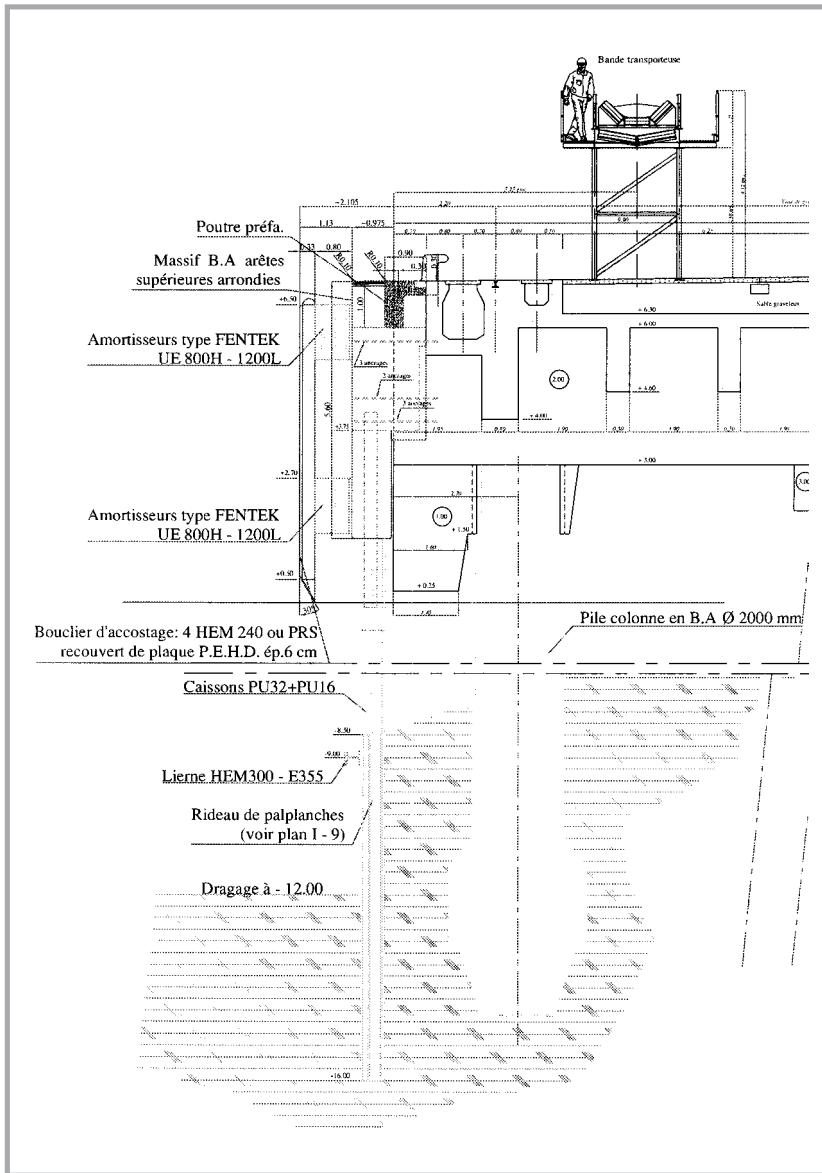


Photo 1  
Vue d'une partie  
d'ouvrage finie  
*View of part  
of the completed  
structure*



partie inférieure est scellée sur 2 m dans les caissons en utilisant les tubes eux-mêmes comme colonnes de bétonnage.

Les massifs sont rendus solidaires du quai existant au moyen de huit barres d'ancrage de diamètre 40 mm scellées.

Les caissons en palplanches sont dissymétriques et composés chacun d'une PU32 et d'une PU16. Le pied des caissons pour des raisons de stabilité doit être amené à la cote - 16 ce qui donne une longueur de caisson de 17,40 m.

Les parties supérieures des massifs sont ensuite réalisées de manière traditionnelle, c'est-à-dire coulées en place, en laissant deux engravures latérales pour les poutres longitudinales. Le coffrage contre l'ancien quai est un coffrage perdu en béton préfabriqué.

Les poutres longitudinales, préfabriquées elles aussi, portent d'un massif à l'autre. Un clavage des nœuds termine les opérations de génie civil.

Les boucliers d'accostage sont ensuite fixés aux massifs béton au travers d'amortisseurs de type Fentek UE 800 H - 1200 L - E 2.4. Les boucliers d'accostage sont constitués de quatre HEM 240 recouverts de plaques en PEHD de 6 cm d'épaisseur.

La fonction soutènement des terres était assurée par un rideau sous-fluvial de palplanches PU 16 relié aux caissons et raidi par une lierne de type HEM 300. La cote de tête des palplanches correspond à celle du pied de talus avant dragage soit - 8,50 et leur pied se situe à la cote - 16 soit une longueur de 7,5 m.

Les palplanches et les caissons ont reçu une protection anticorrosion de type Im2A NI 434 qui comprend :

- ◆ 1 sablage SA3 ;
- ◆ 1 couche primaire de Sigmacover Zinc Primer de 250 µ ;
- ◆ 1 couche de Sigma TCN 300 de 210 µ ;
- ◆ 1 couche tertiaire de Sigma TCN 300 de 200 µ.

#### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Caissons de palplanches : 240 t
- Palplanches : 160 t
- Liernes : 54 t
- Tubes de liaison caisson/béton : 54 t
- Armatures BA : 56 t
- Béton : 480 m<sup>3</sup>
- Profilés pour défenses : 75 t
- Défenses : 18 unités

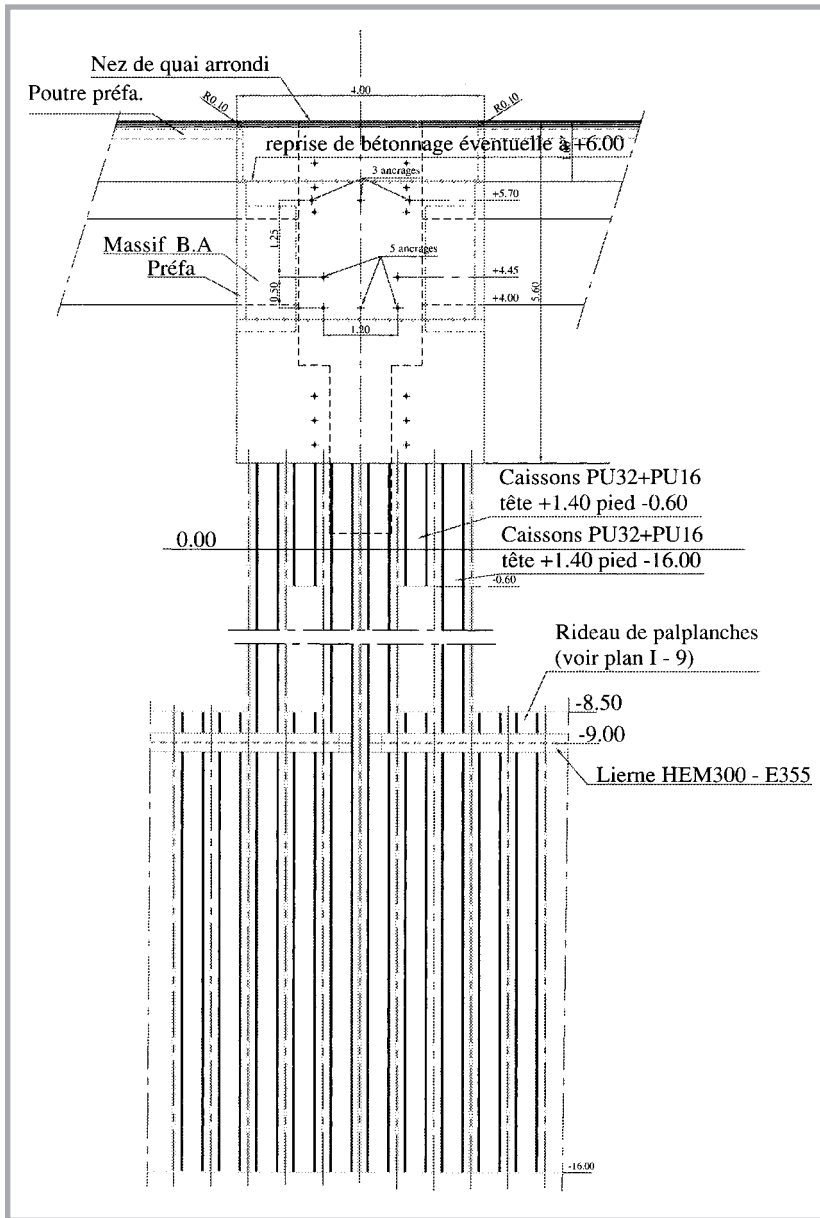


Photo 2  
Mouton hydraulique  
Hydraulic hammer

Figure 3  
Élévation  
Elevation view



Photo 3  
Vue d'ensemble  
Overall view

## ■ LES MOYENS MIS EN ŒUVRE

Une bande transporteuse parallèle (photos 1 et 2) au quai existant ne laissait que 3 m de disponibles en bordure du quai et l'utilisation permanente des grues portuaires sur rail le long des quais ne permettait pas de réaliser les travaux par voie terrestre. Il ne restait donc que la voie nautique. La préfabrication a toutefois été réalisée dans une zone mise à disposition à proximité du site.

Les moyens nautiques mis en œuvre étaient constitués d'un ponton de travail, d'un ponton de servitude et d'un pousseur de 340 CV.

Le ponton de travail "Cernam" de 24 x 12,2 m, était équipé de six treuils et recevait une grue Liebherr 851 HD de 60 t de capacité et du matériel de battage. Le ponton de servitude "LTC" de 30 m par 9 m permettait les approvisionnements du chantier. On peut voir l'ensemble des moyens sur la photo 4.

Les moyens de battage étaient composés d'un vibrofonneur PTC 13 H, d'un mouton hydraulique BSP 357 de 82 kJ pour les caissons (photo 2) et d'un mouton diesel Delmag D22 pour les palplanches. Des guides de battage et des faux-pieux ont été construits spécialement pour le projet (photo 3).

## ■ PHASAGE DES TRAVAUX

Il s'agit d'un chantier linéaire avec des séquences répétitives :

- ◆ forage des zones de scellement des ancrages ;
- ◆ battage des caissons et palplanches de deux massifs ;
- ◆ mise en place de la lierne ;
- ◆ battage des palplanches entre les deux massifs ;
- ◆ pose du massif en béton préfabriqué ;
- ◆ clavage des tubes dans les caissons ;
- ◆ réalisation de la partie haute du massif en place ;
- ◆ pose des poutres entre massifs ;
- ◆ clavages des nœuds ;
- ◆ pose des défenses et des boucliers d'accostage.

Pour la partie caissons et palplanches, le sous-détail du phasage est le suivant :

**1** - Mouillage du ponton-grue à proximité du massif. Le ponton-grue sera maintenu en place par six corps morts et manœvrera grâce à ses treuils hydrauliques ;

**2** - Mise en place du guide de battage pour mettre en œuvre les caissons du massif. Le dessus du guide se situera à la cote + 6.00 N.H. et le fond à la cote + 2.50 N.H. ;



Photo 4  
Battage  
des caissons

*Driving  
caissons*



- ▶ **3** - Mise en place du caisson C1 dans le guide de battage. Celui-ci sera descendu jusqu'à ce que son pied repose sur le terrain naturel ;
- 4** - Enclenchement de la palplanche P1 dans le caisson C1. La tête de la palplanche sera arrêtée juste au-dessus du guide et brochée pour la maintenir suspendue ;
- 5** - Enclenchement des caissons C2, C3, de la palplanche P2, et pour finir du caisson C4 de la même manière que dans les phases 3 et 4 ;
- 6** - Mise en place d'une fausse palplanche sur les palplanches P1 et P2. La liaison entre les deux sera assurée par des points de soudures ;
- 7** - Mise en fiche par vibrofonçage des palplanches P1 et P2. La tête des palplanches sera arrêtée à la cote - 8.50 N.H. ;
- 8** - Enlèvement des deux fausses palplanches ;
- 9** - Mise en fiche par vibrofonçage des caissons C1, C2, C3 et C4. La tête des caissons sera laissée à environ 50 cm au-dessus du guide ;
- 10** - Enclenchement des caissons Q1 et Q2 dans les caissons C1, C2 et C3, C4. La tête des caissons sera arrêtée juste au-dessus du guide et brochée pour empêcher leurs descentes lors du battage des caissons C1, C2, C3 et C4 ;
- 11** - Mise en place d'un faux pieu sur les caissons C1, C2, C3 et C4 ;
- 12** - Battage des caissons C1, C2, C3 et C4. La tête des caissons sera arrêtée à la cote + 1,70

N.H., soit 30 cm au-dessus de la cote définie sur les plans d'exécution (photo 4) ;

**13** - Descente des caissons Q1 et Q2. La tête des caissons sera arrêtée à la cote + 1.40 N.H. ;

**14** - Enlèvement des faux pieux et du guide de battage ;

**15** - Mise en place du guide pour recéper les têtes des caissons C1, C2, C3 et C4 ;

**16** - Recépage des têtes des caissons C1, C2, C3 et C4 à la cote + 1.40 N.H. ;

**17** - Enlèvement du guide de recépage des têtes des caissons ;

**18** - Soudure de 10 cm des caissons Q1 et Q2 sur les caissons C1/C2 et C3/C4 ;

**19** - Mise en place des opercules dans les caissons pour servir de fond de coffrage aux clavages en béton. Les opercules seront positionnés 1,50 m au-dessous de la cote de recépage de la tête des caissons. Ils seront constitués d'une plaque métallique et seront maintenus par trois barres de fer soudées en tête ;

**20** - Mise en œuvre des caissons du massif suivant de la même manière.

**NB** : les phases n° 15 à 19 seront réalisées à marée basse.

**21** - Mise en place de la lierne entre les deux massifs de la manière suivante :

- assemblage de toutes les parties de la lierne,
- descente à l'aide de la grue de l'ensemble de la lierne à environ 2,00 m au-dessus de l'emplacement définitif,

- rotation des cadres d'appuis de manière à avoir les UPN 120 horizontal, opération réalisée par les plongeurs,

- passage des cadres d'appuis entre les caissons C1/C2 et C3/C4, opération assistée par les plongeurs,

- remise en position des cadres d'appuis de manière à avoir les UPN 120 verticaux, opération réalisée par les plongeurs,

- descente de la lierne jusqu'à sa position définitive,

- boulonnage et serrage de la lierne, opération réalisée par les plongeurs ;

**22** - Mise en place du guide de battage pour mettre en œuvre les palplanches entre les deux massifs ;

**23** - Mise en place de deux caissons de guidage qui s'emboîteront sur le caisson C4 du premier massif et sur le caisson C1 de l'autre ;

**24** - Enclenchement de la 1<sup>re</sup> paire de palplanches dans la serrure du caisson de guidage. La tête des palplanches sera arrêtée juste au-dessus du guide et brochée ;

**25** - Mise en place d'une fausse paire de palplanches sur la 1<sup>re</sup> paire de palplanches. La liaison entre les deux sera assurée par des points de soudures ;

**26** - Descente jusqu'au T.N. de la paire de palplanches et enclenchement des autres palplanches sur le même principe jusqu'à l'enclenchement sur caisson C1 ;

27 - Mise en fiche par vibrofonçage de la paire de palplanches jusqu'au refus ou jusqu'à la cote définitive ;

28 - Battage des paires de palplanches ;

29 - Enlèvement des fausses palplanches, des caissons de guidage et du guide de battage.

## ■ SITUATION ACTUELLE DU CHANTIER

Les caissons seront tous battus à la fin du mois de mars et les battages entièrement terminés mi-avril 2003 et la fin des travaux sera conforme au délai prévu, soit dix mois, se terminant début juillet 2003.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### *Maîtrise d'ouvrage*

Port Autonome de Bordeaux

#### *Maîtrise d'œuvre*

Port Autonome de Bordeaux

#### *Entreprise*

Balineau SA

#### *Les principaux sous-traitants*

- Éléments préfabriqués béton : GTM
- Structures métalliques : CESM
- Travaux subaquatiques : Romeuf
- Ancrages : Forbeton

### ABSTRACT

Modernisation of berths  
415-416 in Bordeaux  
Bassens Port

*H. Duplaine, J. Garrissou, J.-Y. Coutures*

The 190 metres of quay for multi-bulk berths 415 and 416 in the Port of Bordeaux are being modernised with a new foundation. Boats displacing 33,000 tonnes will thus be able to be received thanks to an increase in the draught from 7.5 to 10.5 metres. Since the site continued to operate and due to the presence of a belt conveyor on the edge of the quay, the work had to be carried out on the water. The quay is constructed of prefabricated elements resting on sheet piling caissons and elements poured in place. A sheet piling curtain under the river supports the ground to the rear of the quay following the dredging work needed to increase the draught by 3 metres. These works, for a cost of about 2,280,000 euros, are being executed over 10 months and will be completed by the end of July 2003.

### RESUMEN ESPAÑOL

Modernización  
de los atracaderos 415-416  
del puerto de Burdeos  
Bassens

*H. Duplaine, J. Garrissou y J.-Y. Coutures*

Los 190 metros de muelle de los atracaderos para graneleros del puerto de Burdeos se encuentran en curso de modernización mediante un nuevo sistema de cimientos. De este modo, los buques de 33.000 toneladas podrán ser recibidos debido a un aumento del calado de 7,5 a 10,5 m. El mantenimiento en actividad del muelle, así como la presencia de una cinta transportadora en el borde del propio muelle, han precisado una ejecución de las obras por vía náutica. El muelle se construye por medio de elementos prefabricados que toman apoyo en recintos de tablestacas y elementos hormigonados in situ. Una cortina de tablestacas subfluvial permite mantener los terrenos por la parte posterior del muelle, una vez efectuados los dragados necesarios para el aumento del calado de 3 m. Estas obras, de un importe de 2.280.00 euros aproximadamente, se desarrollan en un plazo de 10 meses y quedarán terminadas a finales de julio de 2003.

# Synthèse sur le système des sanitaire (ACS) françaises au contact des eaux propres

Le SIEP, syndicat professionnel, regroupe les entreprises spécialisées dans la conception et la réalisation d'unités de production d'eaux potables, d'eaux de process et d'eaux de piscine.

Les membres du SIEP, directement liés aux questions de Santé publique et de protection de l'environnement, participent au travers d'une commission technique et d'une commission prospective, à l'évolution des dispositions réglementaires nationales et européennes.

La commission technique du SIEP est pour cela en contact avec la Direction générale de la santé (DGS), dépendant du ministère chargé de la Santé, pour la bonne compréhension des dernières dispositions réglementaires.



Production de 30 000 m<sup>3</sup>/j d'eau potable par décantation lamellaire, ozonation et CAG

*Production of 30,000 cu. m/day of potable water by lamellar settling, ozonation and GAC treatment*

**E**n 1997, l'Arrêté du 29 mai a défini les principes sanitaires généraux applicables aux matériaux entrant en contact d'eau destinée à la consommation humaine et précisé les obligations incombant aux différents fabricants (innocuité des matériaux vis-à-vis de la santé...).

Les fabricants d'équipements et les constructeurs d'ouvrages pour les installations fixes de production, de traitement et de distribution des eaux destinées à la consommation humaine, sont aujourd'hui bien sensibilisés au système des Attestations de conformité sanitaire (ACS) mis en place par la France depuis la parution de l'Arrêté du 29 mai 1997, tout comme en principe, les opérateurs, les ingénieries, les maîtres d'œuvre et les administrations concernées.

En 1998, la commission de l'Union européenne a entrepris la mise en place d'un système européen d'acceptabilité des matériaux en contact de l'eau destinée à la consommation humaine.

La directive 98/83/CE du 3 novembre 1998, incite désormais les Etats membres à prendre les mesures appropriées pour limiter les effets des matériaux sur la qualité des eaux.

Ces dispositions sont transposées dans le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine. Ainsi, l'article 32 du présent décret, reprend et renforce les dispositions concernant les matériaux puisqu'il précise :

- ◆ qu'ils ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau ;
- ◆ que leur utilisation est soumise à autorisation du ministre chargé de la Santé, donnée après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA).

Néanmoins, le SIEP propose ci-après une synthèse générale sur les objectifs du système ACS, sur l'historique des différents textes officiels parus sur ce sujet, sur les échéances de mises en application et sur les difficultés actuelles rencontrées par les fabricants d'équipements.

## ■ LE SYSTÈME FRANÇAIS DES ACS

Les matériaux utilisés pour le transport et le stockage de l'eau destinée à la consommation humaine peuvent influencer négativement la qualité de l'eau livrée aux consommateurs.

Cette influence peut devenir importante lorsque se développent des phénomènes de corrosion ou de

dégradation organique. S'il y a altération des matériaux et migration des substances qui les composent, cela peut entraîner pour l'eau transportée une modification des propriétés organoleptiques, une dégradation de la qualité microbiologique et voir même l'apparition d'éléments toxiques indésirables dans une eau destinée à la consommation humaine.

### Contexte réglementaire

L'ancien décret 89-3 du 3 janvier 1989 sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine stipulait que les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution et qui sont en contact de cette eau ne doivent pas être susceptibles d'en altérer la qualité. Mais aucun contrôle systématique n'était prévu.

L'Arrêté du 29 mai 1997 définit les principes sanitaires généraux applicables aux matériaux entrant au contact d'eau destinée à la consommation humaine et indique les obligations des fabricants et opérateurs.

Les fabricants doivent maintenant s'assurer de la compatibilité des matériaux qu'ils fabriquent avec la qualité des eaux d'alimentation et de leur innocuité vis-à-vis de la santé, en constituant un dossier de demande adressé à un laboratoire habilité par le ministère chargé de la Santé.

Quant aux opérateurs (constructeurs, exploitants des installations de potabilisation, de transport et de stockage), ils doivent s'assurer auprès de leurs fournisseurs que les matériaux ou préparations qui leur sont fournies sont conformes à la réglementation, en exigeant auprès d'eux les Attestations de conformité sanitaire de tous les équipements qu'ils achètent et installent.

Les dispositions prévues par le présent Arrêté, ont été mises en application progressivement et des reports de dates ont été décidés suite à certaines difficultés rencontrées :

- ◆ 1<sup>er</sup> juin 1998 pour les installations neuves ou faisant l'objet de rénovations ;
- ◆ 1<sup>er</sup> juin 1999 pour les joints, les raccords de canalisations et les accessoires (Arrêté du 24 juin 1998) et 1<sup>er</sup> avril 2002 pour les matériaux constitutifs des accessoires (Arrêté du 13 janvier 2000) puis cette année, report au :
- ◆ 31 décembre 2002 pour les robinets vanne à opercule, les robinets à papillons à joints sur le papillon, les robinets à papillons à joints sur le corps et les poteaux et bouches d'incendie, et 24 décembre 2003 pour l'ensemble des autres accessoires (Arrêté du 22 août 2002).

# Attestations de conformité concernant les matériaux à la consommation humaine

*Patrick Pellarin*  
PRÉSIDENT SOUS-COMMISSION ACS  
DU SIEP  
SIEP (Syndicat national des industries  
de production d'eaux potables, de process  
et de piscines)

*Abdel Khadir*  
PRÉSIDENT COMMISSION  
PROSPECTIVE DU SIEP  
SIEP (Syndicat national des industries  
de production d'eaux potables, de process  
et de piscines)

Des listes dites "positives" de matériaux ayant obtenu individuellement une ACS sont présentées en annexes de l'Arrêté, concernant les :

- ◆ métaux, alliages, revêtements métalliques ;
- ◆ liants hydrauliques, émaux, céramiques, verres ;
- ◆ matériaux organiques, plastiques, bitumineux ; caoutchouc, élastomères.

La liste des matériaux organiques ayant obtenu l'ACS, particulièrement longue et en évolution permanente, fait l'objet d'une révision tous les 6 mois de la part de la DGS. Sont aussi abordées, les résines échangeuses d'ions.

Les membranes de filtration sont considérées comme des produits de traitement et sont soumises à la réglementation propre à ces produits, c'est-à-dire soumis à autorisation du ministère chargé de la Santé après avis de l'AFSSA.

## La preuve de la conformité des matériaux : l'Attestation de conformité sanitaire (ACS)

La France a mis en place le système des ACS permettant de tester l'innocuité des matériaux au contact des eaux destinées à la consommation humaine. L'obtention d'une ACS pour ces produits repose sur le respect des deux conditions suivantes :

- ◆ la conformité de la formulation aux listes positives de référence ;
- ◆ la conformité des résultats des tests de migration vis-à-vis des critères d'acceptation.

Actuellement, le protocole d'obtention de l'ACS est disponible pour les matériaux comprenant des substances organiques.

Pour les autres types de produits, les tests de migration n'étant pas encore disponibles à l'heure actuelle, l'ACS n'est pas exigible :

- pour les matériaux non organiques (métal, minéral...), seule une attestation sur l'honneur de l'industriel certifiant la conformité du matériau aux règles de composition fixées aux annexes I et II de l'Arrêté du 29 mai 1997 modifié est demandée. Sur demande, ce professionnel doit pouvoir fournir les éléments de preuve de la conformité de son produit à la réglementation en vigueur ;
- pour les colles, adhésifs, graisses et lubrifiants, seule la conformité aux listes positives de référence est demandée à ce jour ;
- pour les matériaux à base de ciment, les méthodes d'essais sont en cours de normalisation et ce type de produits fera l'objet d'une ACS dès la publication de la norme expérimentale (norme XP P 41-260).

## L'ACS pour les matériaux organiques et les "accessoires"

Trois circulaires de la DGS, prises en application de l'Arrêté du 29 mai 1997 modifié, précisent les modalités d'obtention de l'ACS.

Les circulaires du 12 avril 1999 et du 27 avril 2000, relatives aux matériaux, posent les bases et décrivent les procédures administratives concernant le système d'ACS.

La circulaire DGS/VS4 n° 99/305 du 26 mai 1999, relative aux "accessoires" placés au contact de l'eau destinée à la consommation humaine, décrit les dispositions applicables à cette catégorie de produits, pour lesquels un délai supplémentaire de mise en application a été accordé, compte tenu des difficultés rencontrées pour obtenir des informations précises sur le très grand nombre de matériaux constitutifs des accessoires et de la nécessité de mettre en place un protocole d'essais de migration adapté.



**Production de 4 500 m<sup>3</sup>/j d'eau potable par microfiltration tangentielle**  
**Production of 4,500 cu. m/day of potable water by tangential microfiltration**

L'ACS est délivrée par l'un des trois laboratoires actuellement habilités par le ministère chargé de la santé, pour une durée de 5 ans, période à l'issue de laquelle elle doit faire l'objet d'une demande de renouvellement.

Il s'agit des laboratoires suivants :

- ◆ le CRECEP : Centre de recherche et de contrôle des eaux de Paris ;
- ◆ le Laboratoire d'hygiène et de recherche en santé publique de Nancy - Vandœuvre ;
- ◆ l'Institut Pasteur - Service des eaux de Lille.

### *Pour les matériaux organiques*

Lorsqu'un industriel souhaite obtenir une attestation de conformité sanitaire pour l'un des matériaux qu'il fabrique, il doit constituer un dossier de de-

mande d'ACS comprenant l'ensemble des éléments relatifs au matériau concerné comme indiqué dans le guide pratique fourni en annexe de la circulaire du 12 avril 1999 et s'adresser auprès d'un des trois laboratoires actuellement habilité par le ministère chargé de la Santé afin qu'il s'assure de l'innocuité des matériaux entrant au contact de l'eau de consommation.

Le laboratoire vérifie d'abord la conformité de la formulation du matériau aux listes positives de référence.

Sont actuellement prises en compte toutes les listes de substances chimiques autorisées pour les matériaux au contact des denrées alimentaires françaises (brochure 1227 du Journal Officiel) et européennes aussi.

Si la formulation du matériau est conforme aux listes positives mentionnées ci-dessus, des essais de migration peuvent alors être entrepris sur le matériau.

Le laboratoire réalise des essais sur l'eau de migration. Des mesures analytiques sont réalisées. Les tests sont menés selon la norme expérimentale française XP P 41-250

Le laboratoire compare ensuite les résultats vis-à-vis des critères d'acceptabilité.

Le laboratoire délivre enfin directement l'ACS si les résultats obtenus sont conformes aux exigences.

Sinon, les essais de migration peuvent être réitérés, au maximum trois fois. Si les résultats ne sont pas satisfaisants à l'issue du troisième essai, le matériau est rejeté. Sa commercialisation doit être abandonnée avec cette formulation.



Production de 203 000 m<sup>3</sup>/j d'eau potable

Production of 203,000 cu. m/day of potable water

#### *Cas particulier des matériaux renforcés par des fibres de verre*

Les solutions d'ensimage utilisées pour faire adhérer les fibres entre elles sont généralement constituées de substances non conformes aux listes positives de référence. Cependant, est pris maintenant en considération le fait que ces substances ne soient pas au contact direct de l'eau, puisque recouvertes par une couche d'enrobage conforme à la réglementation il a été décidé d'adapter la réglementation à ces cas particuliers.

Une décision du ministère chargé de la Santé datant de mai 2001 prévoit désormais qu'une ACS puisse être délivrée à un matériau composite renforcé par des fibres de verre ensimées.

#### *Pour les "accessoires"*

Les "accessoires" sont des équipements composés des deux matériaux au moins, dont l'un au moins est organique.

Pour les accessoires, la circulaire du 26 mai 1999 prévoit actuellement plusieurs cas de délivrance d'ACS. Ainsi, si pour un accessoire donné, tous les matériaux organiques constitutifs ont une ACS et que tous les matériaux métalliques sont conformes à l'annexe I de l'Arrêté du 29 mai 1997, alors l'accessoire obtiendra directement une ACS, sans essais complémentaires.

De même, une ACS est délivrée sans essais si au moins 95 % de la surface totale mouillée de l'accessoire est conforme à la réglementation en vigueur et les 5 % complémentaires disposent d'une autorisation d'emploi valide délivrée par un Etat membre de l'Union européenne.

Sinon, si les formulations des constituants représentant plus de 80 % de la surface organique mouillée sont conformes, alors des essais (dynamiques ou statiques) pourront être réalisés sur l'accessoire. Si les résultats sont conformes aux critères d'acceptabilité, l'accessoire obtiendra alors une ACS. Les industriels et les laboratoires ayant rencontré depuis 1999 des difficultés dans la mise en œuvre de la deuxième partie du protocole, cette circulaire est actuellement en cours de révision. Un nouveau protocole d'obtention de l'ACS devrait être proposé prochainement.

#### *Des ACS délivrées au cas par cas*

Dans certains cas, la DGS se charge de la délivrance éventuelle de l'attestation pour un matériau ou un accessoire particulier. En effet, dans le cas où un matériau par exemple contient une (ou plusieurs) substance(s) non incluse(s) dans une liste positive de référence, mais qui n'a pas été détectée lors des essais de migration, alors une Attestation de conformité sanitaire peut être délivrée pour le matériau concerné, après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA).

#### Retour d'expériences des fabricants

Les délais d'obtention d'une ACS sont actuellement plutôt longs, du fait que seuls trois laboratoires en France soient agréés. Ils se retrouvent assez souvent engorgés de demandes. Des situations de blocage ont même été signalées.

De plus, il n'est pas encore possible de s'adresser à un laboratoire étranger européen même agréé dans son propre pays.

La DGS conseille vivement aux fabricants demandeurs d'une ACS de préparer des dossiers de demande bien complets, en particulier sur tous les composants des matériaux organiques, ainsi que les formules chimiques complètes.

La DGS conseille aussi aux fabricants de bien suivre leurs dossiers en cours d'analyse et de fournir rapidement les éléments complémentaires ou manquants qui leur sont réclamés par le laboratoire.

## ■ LE PROJET EUROPÉEN

La Commission de l'Union européenne a entrepris la mise en place d'un système européen d'acceptabilité des matériaux au contact de l'eau nommé EAS (European Acceptance Scheme).

### Contexte réglementaire

La directive 89/106/CEE du 21 décembre 1988 vise au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres concernant les produits de construction. Parmi les exigences essentielles distinguées, l'une concerne l'hygiène, la santé et l'environnement. Dans le domaine des eaux destinées à la consommation humaine, la nouvelle directive 98/83/CE du 3 novembre 1998, révisant l'ancienne directive 80/778/CEE du 15 juillet 1980, incite désormais les Etats-membres (article 10) à prendre les mesures appropriées pour limiter les effets des matériaux sur la qualité des eaux.

Afin d'attester le respect des exigences sanitaires pour un produit de la construction, la Commission a décidé la mise en œuvre du système européen d'homologation (EAS) des matériaux au contact de l'eau potable qui fixera les dispositions relatives à l'obtention du logo EAS, placé aux côtés du marquage CE. Actuellement, plusieurs Etats membres de l'Union européenne disposent de systèmes d'homologation différents pour les produits de construction en contact avec l'eau potable.

Un groupe de travail a été mis en place pour, entre autres, l'élaboration du futur cahier des charges pour l'obtention du marquage CE/EAS des produits. Si certains Etats-membres disposent actuellement de normes d'essais pour la plupart des paramètres précités, il demeure cependant indispensable que ces normes soient harmonisées au niveau européen. Cette tâche est menée par un groupe de travail du Comité technique du Comité européen de normalisation (CEN).

Un programme de recherche a été lancé par le Comité européen de normalisation (CEN), avec pour objectif le développement et l'harmonisation des tests et méthodes d'analyses existants dans différents pays de la Communauté européenne.

### Et demain...

La fin des travaux d'harmonisation européenne est prévue pour 2005. L'objectif du projet européen est la constitution et la mise en place du système de l'EAS avec son marquage CE/EAS pour tous les produits pouvant être mis sur le marché européen. Cette démarche entraînera une augmentation perceptible du coût des unités de production d'eaux destinées à la consommation humaine, mais va dans le sens d'une protection sanitaire toujours plus performante des utilisateurs.

## ABSTRACT

Synthesis regarding the French Sanitary Conformity Certificates (ACS) system concerning materials in contact with water intended for human consumption

*P. Pellarin, A. Khadir*

**SIEP is a professional syndicate representing companies specializing in the design and production of drinking water, process water and swimming pool water production plants.**

**SIEP members, linked directly with questions of public health and environmental protection, participate through a technical commission and a prospective commission in a development of national and European regulatory provisions. The SIEP technical commission, for this purpose, maintains contact with the General Health Directorate (DGS), reporting to the Ministry of Health, for the understanding of the latest regulatory provisions.**

## RESUMEN ESPAÑOL

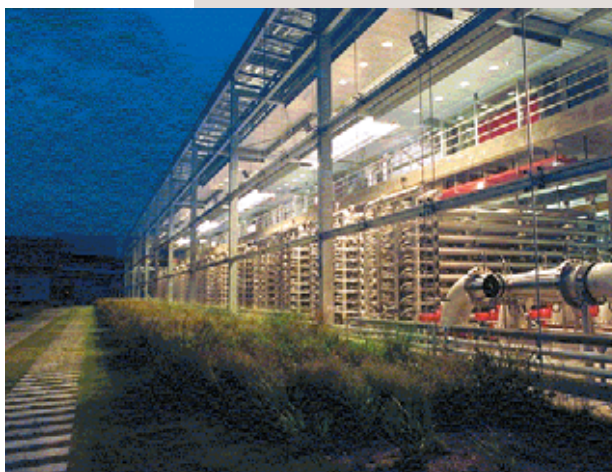
Síntesis acerca del sistema de Certificaciones de conformidad sanitaria francesas (ACS) relativas a los materiales que entran en contacto con las aguas destinadas al consumo humano

*P. Pellarin y A. Khadir*

**El SIEP (Federación nacional de las industrias de producción de agua potable, de proceso y de piscinas), agrupación profesional, reúne a las empresas especializadas en el diseño y ejecución de unidades de producción de agua potable, aguas destinadas a procesos industriales y aguas de piscinas.**

**Los miembros del SIEP, directamente relacionados con los problemas de sanidad pública y de protección del medio ambiente, participan por mediación de una Comisión técnica y una Comisión de prospectiva, en la evolución de las disposiciones reglamentarias nacionales y europeas.**

**La comisión técnica del SIEP actúa en este contexto en contacto con la Dirección general de sanidad (DGS), adscrita al ministerio responsable de la Salud, para la correcta comprensión de las últimas disposiciones de la normativa.**



**Production de 340 000 m<sup>3</sup>/j d'eau potable par nanofiltration**

**Production of 340,000 cu. m/day of potable water by nanofiltration**



# L'eau a son école à

L'École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg a été délocalisée dans cette ville en 1960. D'abord centrée sur l'équipement de l'exploitation agricole, elle s'est ensuite orientée vers l'hydraulique agricole et l'aménagement foncier pour se concentrer actuellement sur l'hydraulique urbaine, l'aménagement des eaux, la protection des ressources en eau et les déchets. Outre les 70 à 80 ingénieurs diplômés chaque année, elle propose des formations spécialisées (eau potable et assainissement, maîtrise des déchets...), et participe à trois DEA; elle présente une offre consistante de sessions courtes de formation continue. L'ENGEES abrite trois unités de recherche dont deux sont mixtes avec l'université et le Cemagref : systèmes hydrauliques urbains, écologie végétale et hydrologie, gestion des services publics.

La formation se veut très professionnelle grâce à un partenariat étroit avec les entreprises et le monde économique au sens large :

- participations aux instances de direction,
- mobilisation comme enseignants (cours, TD et projets),
- accueil des stagiaires.

A titre d'illustration la formation d'ingénieur comprend cinq stages individuels et trois stages collectifs sur le terrain. La mise en œuvre de l'harmonisation européenne de l'enseignement supérieur et l'introduction du "LMD" devraient se faire en préservant ces liens avec les opérateurs de l'eau et des déchets et en les élargissant aux acteurs de l'Union européenne.



L'École nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (ENGEES) est l'un des dix-huit établissements d'enseignement supérieur du ministère chargé de l'Agriculture. A l'exception notoire de l'École nationale du génie rural des eaux et des forêts qui a prioritairement un positionnement d'école d'application après l'X ou l'INAPG notamment, ces établissements forment des vétérinaires, des paysagistes et des ingénieurs spécialisés en agronomie, en agroalimentaire mais aussi dans la gestion des ressources naturelles et en environnement. Ils sont regroupés dans une conférence au sein de laquelle les questions de stratégie sont largement débattues; l'ENGEES est aussi membre du Polytechnicum Louis Pasteur regroupant les six écoles d'ingénieurs de Strasbourg, entre autres, et de la conférence des grandes écoles. Délocalisée de la région parisienne en 1960, elle a été installée à Strasbourg à la limite de la vieille ville et du quartier universitaire sous l'intitulé d'École nationale des travaux ruraux et des techniques sanitaires (ENITRTS) pour se focaliser dans un premier temps sur les équipements de l'exploitation agricole puis sur l'aménagement, l'irrigation, le drainage, le remembrement, et plus récemment sur l'hydraulique (urbaine, rurale, rivières, protection des milieux aquatiques) et la gestion des déchets. Parallèlement, outre la formation d'ingénieurs, l'ENGEES est fortement engagée dans des certificats d'études supérieures, des masters spécialisés, une licence professionnelle, de nombreuses sessions courtes de formation continue, ainsi que trois DEA; elle admet, en outre, un flux régulier de thésards au sein de ses trois unités de recherche.

## Privilégier l'enseignement en petites classes

### Priority to teaching in small classes

## LA FORMATION DES INGÉNIEURS

La formation d'ingénieurs constitue évidemment l'épine dorsale de l'école. Habilitée par la Commission du titre d'ingénieur, l'école forme actuellement en trois ans de 70 à 80 ingénieurs diplômés chaque année.

L'axe principal de la formation est l'hydraulique dans ses composantes scientifiques (mécanique des fluides, mécanique des milieux continus), techniques (hydraulique à surface libre, hydraulique en charge, hydrologie) et les applications particulières (assainissement, alimentation en eau potable).

En fait, la formation se décline en six semestres ayant tous des thèmes majeurs cohérents :

- ◆ semestre 1 : mécanique des milieux continus, mécanique des fluides, hydraulique;
- ◆ semestre 2 : cycle de l'eau (hydrologie, hydrogéologie, hydraulique fluviale, hydrobiologie et aménagement des eaux);
- ◆ semestre 3 : hydraulique urbaine - réseaux hydrauliques;
- ◆ semestre 4 : épuration des eaux usées - production d'eau potable;
- ◆ semestre 5 : fortement diversifié avec une carte très riche :

### - trois voies d'approfondissement sur site à vocation professionnelle :

- génie urbain : les réseaux d'eau potable et d'assainissement, y compris la problématique de leur réalisation et de leur gestion,
- génie de l'environnement : l'eau et le bassin versant, eau et sol, aménagement foncier, hydraulique agricole, les crues et la gestion des risques,

### • maîtrise des déchets : caractéristiques, textes et acteurs, collecte, tri, traitement et valorisation; - trois voies d'approfondissement à vocation recherche dans le cadre des DEA cohabilités avec des universités ou d'autres écoles d'ingénieurs :

- mécanique et ingénierie : sciences de l'eau, hydraulique des réseaux et des milieux poreux,
- systèmes spatiaux et environnement : éco-géographie, cycle de l'eau, SIG, hydrologie qualitative et quantitative,
- protection, aménagement et exploitation du sol et du sous-sol : eaux et sols, hydrogéologie, écou-

# Strasbourg

lements en milieux poreux ;

- des options offertes par d'autres institutions partenaires :

- en France à vocation professionnelle : génie sanitaire à l'ENSP de Rennes, ouvrages hydrauliques à l'ENTPE à Vaulx-en-Velin, irrigation au CNEARC à Montpellier, halieutique à l'ENSA de Rennes...

- en France à vocation recherche : essentiellement en termes de DEA orientés hydrologie, milieux aquatiques, hydrobiologie, hydroécologie, en région parisienne, à Grenoble, Montpellier, Toulouse, Rennes...

- à l'étranger : systématiquement avec les universités de Southampton (UK) et Santander (Espagne) avec des doubles diplômes et de façon plus irrégulière avec des instituts allemands (Stuttgart, Hanovre...), suisses (Zurich, Lausanne), canadiens (Polytechnique Montréal...);

- ◆ semestre 6 : essentiellement consacré au travail de fin d'études (TFE) qui donne lieu à la rédaction d'un rapport et soutenance devant un jury après un stage de 5 à 6 mois.

Cet ensemble est complété et enrichi par :

- ◆ une formation humaine prise au sens large, depuis l'enseignement des langues étrangères, deux langues obligatoires, jusqu'au droit en passant par l'économie, la gestion, les techniques de communication, les relations humaines et la conduite des projets, elle occupe pratiquement un tiers du temps scolaire ;

- ◆ un apprentissage par étude de projets et de cas : deux à trois par semestre ;

- ◆ des stages multiples : la scolarité comprend cinq stages individuels et trois déplacements collectifs, tous inscrits dans une démarche d'appropriation de compétences et de connaissance des milieux professionnels ;

- ◆ les activités périscolaires et le développement personnel, sportif, culturel, humanitaire.

## ■ LES AUTRES ACTIVITÉS DE FORMATION

Partant de son savoir-faire en termes d'ingénierie pédagogique, de sa connaissance des besoins des employeurs, l'école s'est lancée dans une politique de diversification et de meilleure lisibilité de son système de formation.

L'offre de formation continue consiste en quelque 70 sessions courtes de trois à cinq jours portant



La géologie se découvre aussi sur le terrain

*Geology is also discovered in the field*



L'analyse des eaux de consommation

*Analysis of potable water*

sur des sujets variés, souvent techniques : assainissement, épuration des eaux usées, production d'eau potable, protection et gestion des ressources en eau, marchés publics, gestion des services publics, protection des milieux naturels, développement personnel.

La session consacrée à la réhabilitation des réservoirs au sol et montée en liaison avec les organisations professionnelles concernées qui s'est déroulée au siège de la FNTP à Paris est exemplaire d'un partenariat qui devrait être reproduit plus fréquemment.

La licence professionnelle "Protection de l'environnement" délivrée avec la mention "gestion des eaux urbaines et rurales" s'intéresse à l'ensemble du cycle de l'eau depuis la protection de la ressource jusqu'à l'alimentation en eau potable, les systèmes d'assainissement, la station d'épuration et l'impact sur les milieux aquatiques récepteurs. Gérée conjointement avec l'université Louis Pasteur et bénéficiant du soutien des lycées agricoles d'Obernai et de Rouffach, cette formation permet de proposer chaque année 40 jeunes professionnels pour des emplois dans les collectivités locales,

\* Directeur de l'ENGEEES de 1993 à 2003

Visite d'un bassin  
de décantation

Visit  
to a settling pond



Visite d'une passe à poissons

Visit to a fish pass



Découverte de la végétalisation des berges

Discovery of revegetation of the banks



les services de gestion des eaux ou les institutions de conseil, notamment en interface avec les milieux professionnels agricoles, industriels...

En collaboration avec l'ENSG (Géologie de Nancy) et l'EMN (Mines de Nancy), l'ENGEES offre une formation spécialisée en "maîtrise des déchets" qui permet aux 20 à 35 bénéficiaires de cette formation de disposer soit d'un certificat d'études supérieures à Bac + 5, soit d'un mastère spécialisé à Bac + 6 ; orientée vers la gestion des déchets depuis la collecte jusqu'à la valorisation en passant par le tri, le traitement et le stockage, cette formation s'intéresse d'abord aux déchets ménagers mais ne néglige pas les déchets industriels grâce à son partenariat avec les deux écoles de Nancy. Le mastère spécialisé "eau potable et assainissement" traite de l'hydraulique urbaine. La formation consiste en un semestre académique à l'école et un stage de travail de fin d'études sur un projet réel en bureau d'études ou en entreprise. Le semestre académique comprend quatre modules : réseaux d'eau potable, production et gestion de l'eau potable, réseaux d'assainissement, épuration des eaux usées et devenir des effluents et des boues. Les différents modules se déclinent sous forme de cours, travaux dirigés, travaux pratiques et de projets...

## ■ UNE RECHERCHE ÉMERGENTE

Avec un décalage certain sur les universités et d'autres grandes écoles, l'ENGEES a initié des activités de recherche à la fin des années 80. Actuellement, elle est le siège de trois unités de recherche dont deux sont des unités mixtes. Ces trois unités reçoivent plus de trente chercheurs si l'on y incorpore la douzaine de thésards, qui y préparent un doctorat.

Le **Centre d'Ecologie Végétale et d'Hydrologie** est une unité mixte de recherche entre l'ENGEES et l'université Louis Pasteur. Les principaux thèmes de recherche sont relatifs aux inondations, aux transferts de pollutions diffuses et à la gestion durable des espaces naturels.

En matière d'hydrologie, l'accent a été mis sur les crues et les inondations qui en découlent : discrétisation spatiale des bassins versants, prise en compte fine des paramètres de pluies extrêmes et adaptation au contexte tempéré du modèle SHYPRE, extension des modèles statistiques aux matières en suspension, impact des évolutions climatiques sur les inondations.

A l'inverse, la suppression des inondations joue un rôle majeur sur la composition floristique des forêts alluviales, elle modifie profondément la distribution des espèces boisées et leur régénération. En matière de pollution diffuse, une attention particulière a été portée aux zones de piémont vosgien, notamment pour ce qui concerne les nitrates et les produits phytosanitaires. L'effet de l'enherbement du vignoble a été examiné et une spatialisation du risque d'infiltration verticale des nitrates et du stress hydrique liés à l'enherbement a été proposée à l'échelle du vignoble alsacien. Dans les zones alluviales, c'est le rôle épuratoire du sol vis-à-vis des nitrates qui a été modélisé ; pour les nutriments (nitrates et phosphates), c'est la zone non saturée qui joue le rôle de zone de rétention. Un accent particulier est mis sur les flux de produits phytosanitaires, même si les bilans sont difficiles compte tenu des faibles concentrations et d'une éventuelle biodégradabilité.

En matière de gestion des espaces, l'unité de recherche s'est intéressée à des dynamiques de long terme en secteur viticole ou en espaces boisés en relation avec d'autres activités.

L'unité de recherche "**Systèmes Hydrauliques Urbains**" s'est concentrée sur l'assainissement urbain.

L'activité la plus originale porte sur la modélisation des déversoirs d'orage. Ce programme a démarré en 1997 avec une étude bibliographique et une typologie des différentes catégories de déversoirs d'orage. Il s'est poursuivi par la mise en place d'un banc d'essai numérique monodimensionnel et tridimensionnel comportant l'élaboration de codes de calcul spécifiques et l'utilisation de logiciels existants.



Mise au point du dispositif de suivi de ruissellement dans le vignoble, débits solides, nitrates et phytosanitaires

*Development of the runoff monitoring system in the vineyard, solid flows, nitrates and plant health products*

tants tels que FLUENT 3D. Cette modélisation est calée sur des modèles réduits physiques mais aussi sur l'étude fine de déversoirs en situation réelle (à Sélestat par exemple).

L'étude de la qualité des eaux de ruissellement en réseau d'assainissement s'est traduite par un examen des techniques les plus adéquates de métrologie des débits et des charges polluantes ; une thèse vient d'être lancée pour apprécier l'incidence écologique des rejets urbains sur les systèmes aquatiques en zone urbanisée. L'étude fine des procédés d'épuration des eaux usées a fait l'objet de stages de fin d'études, de DEA et de plusieurs thèses portant sur le prétraitement en assainissement non-collectif, la modélisation du traitement par cultures fixées sur matériaux granulaires fins ainsi que l'optimisation de la nitrification en boues activées et ses performances à basse température.

L'unité mixte de recherche "**Gestion des services publics**" est issue de l'association du Cemagref et de l'ENGEES.

Les recherches et études méthodologiques qu'elle conduit sont orientées vers la gestion des services publics locaux, l'alimentation en eau potable,

l'assainissement et les déchets ménagers. Leur objectif commun est d'élaborer des outils et des méthodes au bénéfice des élus et des différents acteurs concernés : services de l'Etat, services des collectivités, sociétés de service déléguées, bureaux d'études.

Les réseaux hydrauliques constituent un patrimoine considérable dont la gestion mérite une attention particulière : modèles de prévision des défaillances, analyse du fonctionnement hydraulique, évaluation des coûts de maintenance du service et des coûts de renouvellement, optimisation des échéances de renouvellement. Ces études sont conduites dans le cadre de programmes européens CARE-S et CARE-W associant des collectivités locales, d'autres unités de recherche et des bureaux d'études. L'analyse du fonctionnement des services s'appuie sur le concept de performance et l'évaluation de cette performance à partir de l'analyse des pratiques concrètes de gestion.

L'unité a contribué à la mise au point du logiciel GSP développé par le ministère de l'Agriculture afin d'apporter des outils et une méthodologie pour ses services déconcentrés dans leurs missions de conseil et d'appui auprès des collectivités locales

déléguées. D'autres études ont porté sur la demande en eau et les choix tarifaires telles que la demande en eau "alternative" à l'eau du réseau public, la faisabilité d'un observatoire des consommations d'eau à l'échelle du quartier, l'analyse des structures de tarification et leurs conséquences sur la consommation en eau.

Enfin la place et le rôle des usagers dans la mo-

La découverte  
des milieux aquatiques

*Discovery of aquatic  
environments*



La pêche électrique  
pour identifier  
la population piscicole

*Electric fishing  
to identify the fish-farm  
population*



dernisation des services liés à l'environnement est un sujet de recherche, tant dans ses aspects acceptabilité sociale des équipements susceptibles d'être réalisés ou de déchets éventuellement polluants que de la relation à l'usager dans la gestion, aussi bien en période de crise qu'en fonctionnement normal.

## ■ LE PARTENARIAT AVEC LES PROFESSIONNELS

Ce partenariat est d'abord institutionnel. Les représentants des grands groupes de l'environnement (eaux et déchets notamment) ainsi que les bureaux d'études et les services des collectivités locales sont représentés et participent effectivement au conseil d'administration, au conseil scientifique, au conseil de l'enseignement et de la

pédagogie ainsi qu'à la commission d'orientation de la formation continue au sein de l'ENGEES. Leurs indications sur les évolutions qu'ils pressentent dans les besoins de leurs cadres en termes de compétence ou de savoir-faire sont essentielles dans la gouvernance de l'établissement.

Leur participation à l'enseignement est très importante ; elle varie en fait de 30 à 50 % selon les cursus et les modules. Elle est particulièrement marquée pour tout ce qui relève des process (production d'eau potable, incinération des ordures ménagères, compostage des déchets organiques, valorisation matière) et de la formation à travers les études de cas ou les projets (réseaux d'AEP, réseaux d'assainissement, procédés d'incinération, épuration des eaux usées...).

Tout aussi évidemment, l'entreprise est le site d'accueil d'une majorité de stagiaires, notamment dans les formations d'ingénieurs :

- ◆ le stage "ouvrier" : 2 semaines en début de scolarité sur un chantier de réseau hydraulique (assainissement ou eau potable) ou sur le site d'une station en cours de réalisation ou en fonctionnement. Les entreprises qui accueillent systématiquement des étudiants et les initient à la connaissance de la réalité des chantiers de travaux d'hydraulique sont essentiellement Sogea, Eurovia, Sade, Colas... Lorsqu'il s'agit de stages sur une station d'épuration des eaux usées ou une station de production d'eau potable, on retrouve les trois groupes de l'eau, Vivendi Environnement, Suez Lyonnaise des Eaux, et Saur-Cise mais aussi des collectivités locales ;

- ◆ le stage "pratique de l'ingénierie" se situe en juin et juillet en fin de deuxième année de scolarité en formation d'ingénieur. Il a pour objectifs de :
  - tester et valider les connaissances théoriques acquises dans les domaines des sciences de l'ingénieur "de l'acquisition de connaissance à leur mise en œuvre et à l'acquisition d'un savoir-faire",
  - mener une activité d'ingénierie, mobilisant des techniques et des compétences d'ingénieur "diagnostic et expertise technique, faculté de synthèse et aptitude à la résolution de problèmes",
  - s'intégrer dans une équipe de travail et participer à la réalisation de projets "partager les conditions de travail d'une équipe (immersion professionnelle)".

Pour 60 % des étudiants, ce stage a lieu à l'étranger, notamment dans les filiales à l'étranger des trois grands groupes de l'eau et de l'environnement ou dans des établissements partenaires de l'école (sociétés de services, laboratoires liés à l'enseignement supérieur, instituts d'aide au développement).

Pour les étudiants qui choisissent de rester en métropole, les principaux établissements d'accueil sont le groupe Suez (Lyonnaise des Eaux et Safège) et les collectivités locales ou leurs E.P.C.I.

- ◆ les "travaux de fin d'étude" (T.F.E.) durent en gé-

néral six mois ; ils se déroulent soit de janvier à juin, soit d'avril à septembre selon le calendrier du semestre précédent ; de toute façon, c'est le dernier stage dans le cadre de la scolarité ; il constitue un moment fort du cursus en formation d'ingénieur et figure en général de façon explicite dans le C.V. du jeune diplômé. C'est la concrétisation des acquis pédagogiques à travers une expérience professionnelle consistante. Le stagiaire doit répondre à une double attente, celle de l'organisme d'accueil qui lui confie une mission et en général le rémunère pour cette mission, mais il doit aussi répondre au cahier des charges de l'école. Les objectifs pédagogiques peuvent se décliner en cinq points :

- la mise en situation professionnelle,
- l'approfondissement d'un thème,
- l'élaboration d'une démarche personnelle cohérente dans un projet plus global,
- la conduite d'un projet,
- la valorisation du travail réalisé à travers la rédaction d'un mémoire et une soutenance devant un jury.

Pour les étudiants qui ont effectué simultanément un DEA en 3<sup>e</sup> année, il est exigé que la composante "approfondissement d'un thème – développement d'une activité de recherche" soit centrale pour pouvoir bénéficier de ce deuxième diplôme. Les unités de recherche sont très friandes de tels stagiaires (Cemagref, ENGEES, CNRS, laboratoires dans les universités ou d'autres écoles d'ingénieurs) ainsi que les centres de recherche des trois grands groupes de l'eau ; il faut souligner l'intérêt de stages sur des sites ou opérations pilotes pour lesquels l'entreprise souhaite une démarche exemplaire, notamment vis-à-vis des maîtres d'ouvrage, donneurs d'ordre.

Même si ce taux est très variable d'une année sur l'autre, on peut considérer qu'environ 20 % des étudiants effectuent ce stage à l'étranger, les destinations privilégiées étant l'Angleterre et le Canada. En outre avec ses formations spécialisées et professionnelles, l'ENGEES mettra en œuvre en 2003 environ 100 stages longs supplémentaires sous forme de travaux de fin d'études, pour environ :

- ◆ 30 étudiants spécialistes en gestion des déchets (mastère spécialisé, CES) ;
- ◆ 30 étudiants spécialisés en eau potable et assainissement (mastère spécialisé, CES) ;
- ◆ 40 étudiants de licence professionnelle, protection de l'environnement, fin de scolarité à Bac + 3.

A travers cet article, je souhaiterais passer deux messages auprès des entreprises "citoyennes" qui acceptent de recevoir des stagiaires de l'ENGEES et de contribuer à leur formation :

- ◆ les stages entrent dans le cadre de la formation, ils sont préparés, ils donnent lieu à fiche descriptive, à convention et à évaluation ; dans beaucoup de cas, il y a même un travail collectif de retour d'expériences en matière de relations humaines et



Barrage en terre pour un réservoir dédié à l'irrigation (visite dans le département parrain)

*Earth dam for a reservoir dedicated to irrigation (visit in the sponsoring region)*

de perception des exigences des milieux professionnels par les stagiaires ; dans ces conditions, il est évident que la qualité de l'encadrement et la prise en compte du cahier des charges sont essentielles pour que les objectifs du stage soient pleinement remplis ;

◆ si l'offre de stages longs est surabondante, par contre les entreprises sont parfois frileuses pour accueillir des étudiants en stage court, et pour recevoir des étudiants étrangers. A l'heure où les directives ministérielles sont explicites et insistantes (soyez plus lisible à l'international, recevez plus d'étudiants étrangers), il est clair que le partenariat avec les entreprises se traduit pour celles-ci par des sollicitations plus fortes, mais il est nécessaire pour que les écoles d'ingénieurs jouent pleinement leur rôle.

En guise de **conclusion**, je souhaiterais m'exprimer sur les perspectives offertes par l'harmonisation européenne en cours d'élaboration.

Le développement de partenariats avec des établissements de l'Union européenne est un objectif essentiel de l'école ; il a pris la forme de doubles diplômes avec les universités de Southampton (UK) et de Santander (Espagne) ; il s'est traduit par des contacts réguliers avec des instituts de recherche (Institut d'Hydrologie à Wallingford, Abwasser Institut à Stuttgart...), des régies (StadtWerke), des bureaux d'études ou des opérateurs privés. La scolarité a été structurée en semestres avec évaluation sous forme d'ECTS (European Credit Transfer System) et édition de documents de présentation de la scolarité en deux langues pour pouvoir s'in-

tégrer dans des programmes de type Erasmus, Socrates et Leonardo. Le fait nouveau est l'articulation de la scolarité aux niveaux 3, 5 et 8 avec l'émergence des grades de licence, master et doctorat (le fameux LMD). Faut-il inscrire la scolarité des écoles d'ingénieurs dans ce système avec articulation à la fin de la 1<sup>re</sup> année ? Faut-il structurer les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> années de formation d'ingénieurs en masters :

◆ master professionnel pour les voies d'approfondissement à vocation d'emploi, immédiatement à la fin du cursus ;

◆ master recherche pour les anciens DEA avec vocation à effectuer un parcours dans la recherche (master ou master + thèse).

Cette réforme me paraît essentielle compte tenu de ses enjeux de partenariat avec les autres établissements de l'enseignement supérieur (nationaux et européens) et d'émergence d'une ENGEES insérée dans un pôle de l'eau et de l'environnement de lisibilité européenne.

Je souhaiterais, en conséquence, insister auprès de tous les cadres du secteur privé qui participent à la gouvernance des écoles d'ingénieurs afin qu'ils s'impliquent dans les réflexions qui ont démarré l'année dernière pour que ces réformes se fassent au bénéfice des étudiants et en étroite liaison avec leurs futurs employeurs ; le monde économique, notamment l'entreprise, doit être associé en toute priorité à cette vaste réforme, c'est la perspective d'une authentique professionnalisation à l'européenne.

## ABSTRACT

### School for water studies in Strasbourg

*D. Loudière*

Strasbourg water and environmental engineering school "Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement" (ENGEES) was delocated to this city in 1960. Originally focused on farming equipment, it then moved into agricultural hydraulic engineering and land development, and now focuses on urban hydraulic engineering, water development, protection of water resources, and wastes. In addition to the 70 to 80 engineers graduating each year, it offers specialised training courses (potable water and drainage, waste management, etc.), and takes part in three "DEA" courses (roughly similar to a Master's degree); it presents a strong offering of short further training sessions. The ENGEES houses three research units, two of which are joint units with the university and Cemagref : urban hydraulic systems, plant ecology and hydrology, and public service management.

The training is designed to be highly professional thanks to a close partnership with businesses and the economic world in the broadest sense :

- Participation in management bodies;
- Mobilisation as teachers (lectures, tutorials and projects);
- Induction of trainees.

By way of illustration, the engineer's training comprises five individual courses and three collective courses in the field. The implementation of European harmonisation of higher education and the introduction of the LMD diploma should take place while preserving these links with the water and waste operators and extending them to the European Union players.

## RESUMEN ESPAÑOL

### El agua tiene su escuela en Estrasburgo

*D. Loudière*

La Escuela Nacional de la Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de Estrasburgo (ENGEES), se ha trasladado a esta ciudad en 1960. Centrada en primer lugar hacia el equipo de explotación agrícola, se ha orientado seguidamente hacia los equipos de explotación

agrícola, y poco después hacia la hidráulica agrícola y la ordenación rural para concentrarse en la actualidad hacia la hidráulica urbana, la ordenación de las aguas, la protección de los recursos hídricos y los residuos. Además de los 70 a 80 ingenieros diplomados anualmente, la Escuela propone formaciones especializadas (agua potable y saneamiento, control de los residuos, etc.), y ha participado en tres DEA. La Escuela presenta una oferta que consiste en sesiones cortas de capacitación continua. La ENGEES dispone de tres unidades de investigaciones, dos de las cuales son mixtas conjuntamente con la Universidad y el Cemagref : sistemas hidráulicos urbanos, ecología vegetal e hidrología, gestión de los servicios públicos.

La formación tiene propósitos sumamente profesionales, debido a una estrecha asociación con las empresas y el mundo económico en su sentido más amplio :

- participaciones en las instancias de dirección,
- movilización como personal docente (cursos, TD y proyectos),
- acogida de cursillistas.

A título de ilustración, cabe señalar que la formación de ingeniero consta de cinco cursos individuales y tres cursos colectivos sobre el terreno. La implementación de la armonización europea de la enseñanza superior y la introducción del "LMD" se deberían llevar a cabo preservando estos vínculos con los operadores del agua y de la gestión de residuos y ampliándolos a los actores de la Unión Europea.