

n° 746

## ALIMENTATION

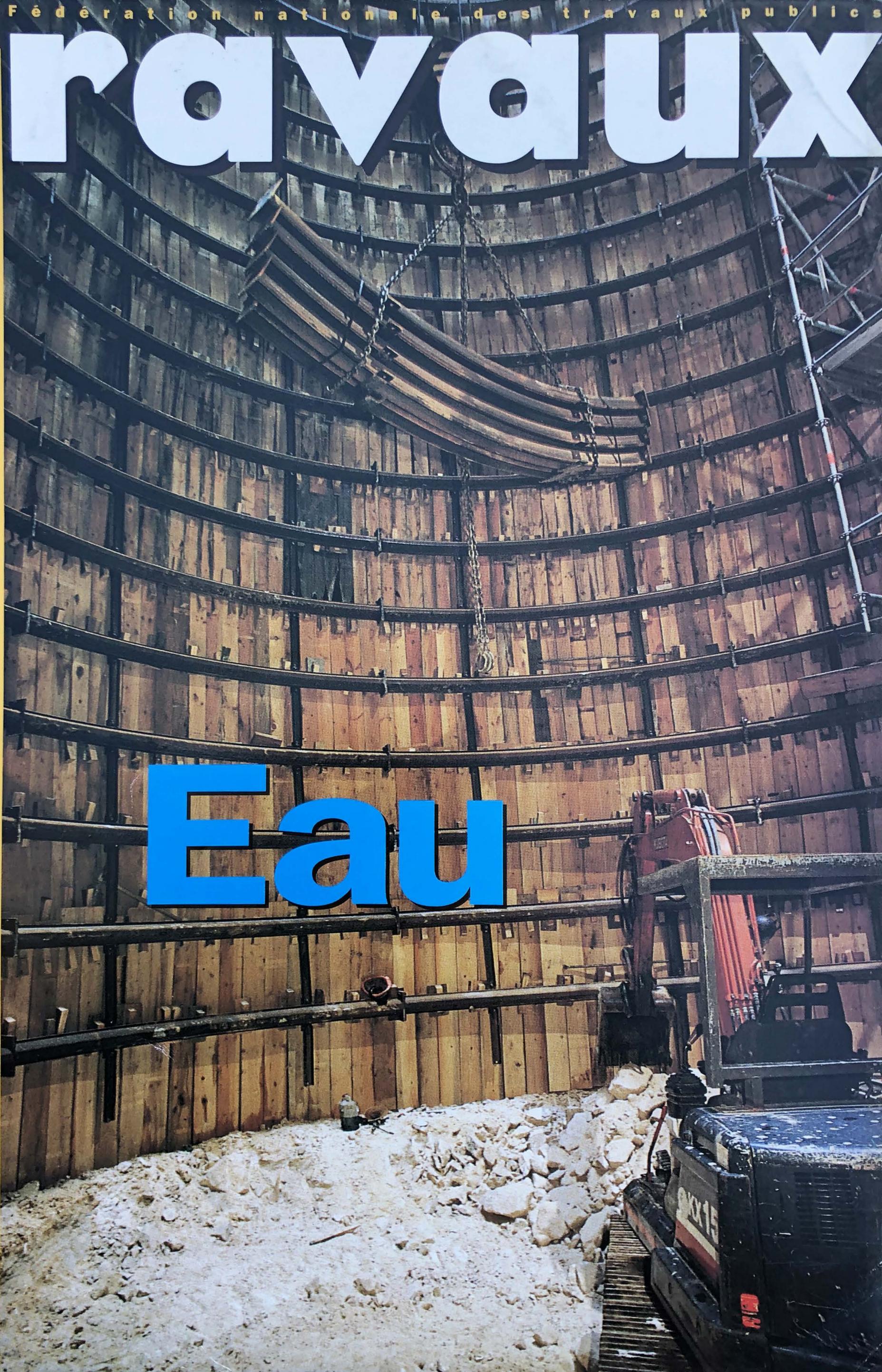
- Les réseaux d'alimentation en eau potable de la Manche. Un patrimoine à sauvegarder
- De nouvelles conduites d'eau de grand diamètre sur Paris. Le projet LIRE
- Saint-Cassien (Alpes-Maritimes). Pose de grosses canalisations dans un site difficile
- La station de production d'eau potable de Méry-sur-Oise. L'extension à 340 000 m<sup>3</sup>/jour
- Le réservoir de Montsouris
  - Travaux de réhabilitation de deux réservoirs d'eau à Tilly

## ASSAINISSEMENT

- Le nouveau collecteur NCSM dans le Val-de-Marne
- La station d'épuration de Colombes
- Blagnac : une usine de dépollution des eaux usées 100 % écologique

## BARRAGES - ÉCLUSES

- Le barrage de l'Ortolo. Etanchéité par une géomembrane Colétanche
- La construction d'un barrage en site urbain. Le barrage de Nancy
  - Une écluse pour naviguer au gabarit rhénan : l'écluse de Clévant à Nancy



# Eau

# Travaux

# numéro 746

# octobre 1998

# Eau

# sommaire



## Notre couverture

### Le projet LIRE à Paris

Photo : E. Gaffard

## 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 35 09 95

## MAQUETTE

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

## VENTES ET ABONNEMENTS

Colette Robert  
RGRA  
9, rue Magellan - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 40 73 80 05  
  
France : 900 FF TTC  
Etranger : 1100 FF  
Prix du numéro : 115 FF (+ frais de port)

## PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle  
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° 57304

## éditorial

Daniel Tardy

## actualités

## matériels

## PRÉFACE

Jean-François Le Grand

## ALIMENTATION

◆ Les réseaux d'alimentation en eau potable de la Manche. Un patrimoine à sauvegarder  
- *The drinking water supply of France's Manche department (region). A heritage to be saved*  
**A. Orange**

◆ De nouvelles conduites d'eau de grand diamètre sur Paris. Le projet LIRE  
- *New, large diameter water piping for Paris. The LIRE project*  
**A. Perrillat, G. Lebaigue, Fr. Maquennehan, J.-P. Thoreau**

◆ Saint-Cassien (Alpes-Maritimes). Pose de grosses canalisations dans un site difficile  
- *Saint-Cassien (Alpes-Maritimes region). Placing of large-diameter piping in a difficult site*  
**Ph. Brault, A. Girka**

◆ La station de production d'eau potable de Méry-sur-Oise. L'extension à 340 000 m<sup>3</sup>/jour  
- *The drinking water production station of Méry-sur-Oise. Extension to 340,000 cu. m per day*  
**J.-L. Charvet, M. Ramet, P. Margier**

◆ Le réservoir d'eau de Montsouris  
- *The Montsouris water reservoir*  
**N. Tsoumas**

◆ Réhabilitation de deux réservoirs d'eau à Tilly  
- *Rehabilitation of two water reservoirs at Tilly*  
**J.-P. Toupenet, P. Valente**

## ASSAINISSEMENT

◆ Le nouveau collecteur Nogent - Champigny - Saint-Maur  
- *The new Nogent - Champigny - Saint-Maur collector*  
**D. Siredey, Ph. Vega**

◆ La station d'épuration de Colombes  
- *The Colombes treatment station*  
**Fr. Delettrez, M. Beaubernard**



# Sommaire

octobre 1998

Eau

Dans les prochains numéros

- Terrassements
- International
- Ponts
- Routes
- Travaux urbains
- Sols et fondations
- Tunnels
- Offshore - Travaux en mer
- Environnement



◆ Blagnac : un concentré de technologie. Une usine de dépollution des eaux usées 100 % écologique  
- *Blagnac : concentrated technology. A 100 % ecological waste-water treatment plant*

**A. Rousse**

52



## BARRAGES - ÉCLUSES

◆ Le barrage de l'Ortolo. Etanchéité par une géomembrane Colétanche  
- *The Ortolo dam. Waterproofing with Colétanche geomembrane*

**Cl. Tisserand, J.-A. Sanguinetti, B. Breul, Y. Gimenes, E. Antomarchi, R. Herment**

55



◆ Construction d'un barrage en site urbain. Le barrage de Nancy  
- *Building a dam in an urban site. The Nancy dam*

**Fr. Aury**

61



◆ Nancy : une écluse pour naviguer au gabarit rhénan. L'écluse de Clévant  
- *Nancy : a lock for Rhine gauge navigation. The Clévant lock*

**Fr. Aury**

65

**économie**

69

**recherche**

77

**répertoire des fournisseurs**

82

Les progrès scientifiques, les bouleversements technologiques, l'essor industriel... la vie change à très grande vitesse. Si brutalement, parfois, que nos ressources fondamentales peuvent être mises en péril. C'est le cas pour l'eau.

Dans la Manche, nous l'avons compris depuis longtemps. L'eau demeure aujourd'hui le bien le plus précieux pour toute activité humaine. Elle est omniprésente et omnipotente. Sans une eau de qualité, il y a danger pour la santé, l'hygiène, la vie quotidienne. Mais aussi pour l'environnement, le tourisme, l'économie. Que deviendrait notre conchyliculture – la première de France – sans elle ? Et notre élevage ? Et notre industrie agroalimentaire ? On pourrait multiplier les exemples à l'infini...

La qualité de l'eau, chez nous, c'est la qualité de la vie. La condition *sine qua non* de pouvoir gérer notre présent et façonner notre avenir, en tendant vers cet esprit "à l'irlandaise" qui colle si bien à la réalité de notre *Manche, pays de la mer et de la nature*.

Actuellement, nous sommes considérés comme un modèle du genre. Ce n'est pas de la forfanterie, c'est la réalité. Nous sommes département pilote en matière de qualité de l'eau et de traitement des pollutions. Une image positive. Une *pole position* que nous voulons garder. C'est pourquoi nous conduisons une politique dynamique, volontariste et pour tout dire ambitieuse. Une politique constamment fondée sur la prévoyance, la préparation objective de l'avenir.

Car la bataille de l'eau potable est permanente. Surtout en ces temps de multipollution inhérente à l'évolution des activités humaines, principalement, chez nous, l'habitat dispersé, l'élevage, les petites entreprises. Nous disposons d'un atout important : la Manche est un département pratiquement autonome en ce qui concerne les ressources en eau, avec la plupart des rivières qui naissent sur son sol et se jettent sur le littoral. Cette situation, bien sûr, entraîne pour l'ensemble de nos collectivités gestionnaires de l'eau potable et de l'assainissement, une responsabilité essentielle. Pour l'instant, les résultats de notre politique sont plus qu'encourageants, puisqu'ils révèlent une desserte à 100 % en eau potable avec une qualité en tous points conforme à la réglementation.

Mais dans ce domaine, les résultats ne sont jamais acquis définitivement. Notamment en matière de canalisations. La qualité et la densité des réseaux d'adduction d'eau potable constituent un élément capital qu'il faut sans cesse préserver, contrôler, entretenir, améliorer, adapter, développer...

Après la guerre, un effort considérable avait été conduit, amenant l'eau potable dans les coins les plus reculés des campagnes. Aujourd'hui, avec 15 000 km de réseaux déclarés à l'Agence de l'Eau,

la Manche présente la plus grande longueur (12 %) de tous les départements du bassin Seine-Normandie. Un patrimoine énorme, largement expliqué par la grande dispersion de l'habitat rural. Mais l'ensemble a vieilli, la vétusté frappe un certain nombre de tronçons, et de nouveaux impératifs surgissent sans cesse, liés au développement touristique et aux nouvelles données socio-économiques. Il faut donc maintenir un effort permanent et investir régulièrement. L'article d'Alain Orange, qui suit, donne une idée précise de la situation actuelle et de la manière d'aborder l'avenir avec réalisme. Les chiffres (impressionnants) qui l'émaillent donnent la mesure de l'enjeu, et celle des investissements nécessaires. Il s'appuie en grande partie sur l'inventaire des réseaux d'alimentation en eau potable de la Manche.

Cette étude, qui a été menée à bien en collaboration avec les Canaliseurs de France, intervient dans cette affaire, comme un élément d'appréciation incontournable. Elle constitue non seulement un moyen de connaissance de ce patrimoine, mais se présente aussi comme un outil de programmation. Elle s'ajoute aux actions déjà

engagées par le Conseil général de la Manche, comme le Schéma départemental d'AEP ; l'accord sur les périmètres de protection passé avec la profession agricole ; les aides au PMPOA (Programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole) ; l'action en milieu rural menée de front avec l'AESN (Agence de l'eau Seine-Normandie) et le FNDAE (Fond national pour le développement des adductions d'eau) ; la charte qualité signée par les canaliseurs, etc.

Et puis, comme de nos jours, on ne peut mobiliser les volontés sans une information accessible à tous, une politique active de communication a été mise en place. Son aspect le plus spectaculaire sera la tenue, fin janvier 1999, de deux "Journées de l'Eau" exceptionnelles, organisées en partenariat avec tous les professionnels. C'est une grande première. On y présentera la qualité de l'eau dans la Manche, mais aussi les nouvelles technologies

applicables aux travaux (étanchéité, surveillance des réseaux...) et à la gestion (informatisation). Toute la politique du Département tourne autour de ce volontarisme. Car il n'est pas question de nous retrouver un jour – comme tant d'autres collectivités – devant d'insurmontables problèmes d'insuffisance ou de vétusté. Ces problèmes signifieraient à la fois un frein sérieux à la vie économique, et une hémorragie financière quasi inextinguible.

Nous sommes fiers de cette *pole position* dont je parlais plus haut. Mais pour la conserver il faut maintenir nos efforts dans ce domaine crucial, l'intégrer complètement à notre politique d'aménagement du territoire. Afin qu'on puisse toujours dire que, dans la Manche, la politique de l'eau... ça coule de source !



■ **JEAN-FRANÇOIS  
LE GRAND**

**Président du Conseil  
général de la Manche**

# Les réseaux d'alimentation en eau

## Un patrimoine à sauvegarder

Dans le département de la Manche, sur 41 000 000 m<sup>3</sup> d'eau injectés dans le réseau, 12 300 000 m<sup>3</sup> disparaissent chaque année à travers des canalisations qui datent de plus de 25 ans. Le réseau de distribution publique est constitué à 20 % de conduites en métaux ferreux non revêtus ce qui n'est pas sans poser des problèmes sur le plan qualitatif.

A l'initiative du Conseil général, le recensement exhaustif de ce patrimoine vieillissant aura permis de mettre en lumière la diminution alarmante des investissements consacrés par les collectivités à ce renouvellement des réseaux. D'autre part, la connaissance précise du type de matériau employé, des diamètres mis en jeu, des linéaires posés, ainsi que de l'âge des canalisations va servir à élaborer, avec l'aide de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, une politique volontariste de renouvellement des réseaux basée sur des critères fiables et concrets.

Conscients de l'enjeu économique que représentent pour les générations à venir ces incontournables travaux, les élus du département de la Manche, vont faire de cette enquête un véritable outil d'aménagement du territoire.

### ■ UN INVENTAIRE POURQUOI FAIRE

Le patrimoine considérable que représentent aujourd'hui les canalisations d'eau potable, reste largement méconnu à l'échelle des décideurs en particulier, de l'Agence de l'Eau et du Conseil général.

C'est à ce titre, qu'est apparu le besoin dans le département de la Manche, de disposer d'un inventaire aussi complet que possible tant sur le plan des matériaux utilisés que sur l'âge des canalisations.

Véritable outil de programmation, ce recensement, couplé dans le futur à un système d'informations géographiques, permettra la mise en place d'une politique spécifique de renouvellement des réseaux d'eau potable.

### ■ LE CONSTAT

Les études menées à l'échelle nationale et plus particulièrement dans la Manche par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et Géophen (université de Caen) montrent que les réseaux d'eau potable présentent depuis plusieurs années des rendements primaires de l'ordre de 70 %. Quoique supérieur à bien des réseaux ruraux, ce taux peut et doit être encore amélioré.

Jusqu'au milieu des années 1970, le secteur a connu une importante activité, liée à la période d'adduction d'eau en milieu rural. Compte tenu d'une "durée de vie", ou pour le moins, d'une durée d'amortissement de trente à cinquante ans des canalisations, sans parler de viabilité technique, il paraît évident qu'une partie des réseaux devrait à l'heure actuelle, être en cours de changement, avec une pointe jusqu'en 2010.

Or, un recoupement avec les programmes annuels départementaux en matière de pose de canalisations par les collectivités gestionnaires de réseaux, laisse entrevoir une baisse régulière des investissements depuis 10 ans.

Aujourd'hui, le linéaire de réseaux posés n'excède pas 100 km par an.

Lié le plus souvent à des travaux de réfection de voirie, ce renouvellement forcé laisse entrevoir le manque de sensibilisation réelle des collectivités à ce problème.

Ce constat est d'autant plus alarmant dans un département où la demande ne cesse de croître tant pour des usages touristiques qu'industriels.

### ■ LA DISTRIBUTION DE L'EAU DANS LA MANCHE

L'adduction d'eau potable est achevée dans la Manche, depuis le milieu des années 1970 pour l'essentiel, et le milieu des années 1980 pour les habitations les plus isolées. Les principales villes de la région ont connu leur premier réseau à la fin du siècle dernier, comme partout ailleurs en France, mais ont été détruites par les bombardements alliés ou les combats terrestres lors de la Seconde Guerre mondiale. Les conséquences à la reconstruction, furent la dotation de ces communes, par les pouvoirs publics, de financements spécifiques pour les canalisations d'eau potable évitant l'endettement et l'amortissement de ces installations. Nombre de ces communes sont encore aujourd'hui sous le régime de la régie directe. Le département comptait en 1997, 118 réseaux de distributions d'eau potable desservant une population de 476 000 habitants pour 223 000 abonnés, soit un ratio de 2,13 personnes par branchement. La distribution est assurée par des structures de taille plutôt importante pour la Basse-Normandie et les grandes collectivités dominent essentiellement dans le Cotentin et le centre Manche : 7 500 en moyenne dans le Cotentin, contre 4 000 dans le centre et 2 500 dans le sud. La gestion des réseaux d'eau potable se répartit pour moitié en régie et pour l'autre en affermage, auprès de six gestionnaires différents. Quarante-et-un millions de mètres cubes sont ainsi mis en distribution, soit 184 m<sup>3</sup> par abonné.

### ■ LES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

De tous les départements du bassin Seine-Normandie, la Manche compte avec ses 15 000 km de réseaux déclarés à l'Agence de l'Eau, la longueur la plus grande de canalisations (12 % du total). Ces chiffres soulignent donc l'importance du patrimoine des canalisations, du fait de la grande dispersion de l'habitat rural. Toutefois, les données mentionnées dans les réponses aux enquêtes annuelles de l'Agence de l'Eau et de l'université de Caen entre 1987 et 1996 ne sont pas exemptes de confusions. Les renseignements en possession du groupe de travail (ACGEP, Conseil général, Agence de l'Eau, Géophen, Canaliseurs de France) se révélaient donc trop grossières et ne permettaient pas une connaissance suffisamment précise de l'état du patrimoine. D'autre part, ces données ne



# potable de la Manche

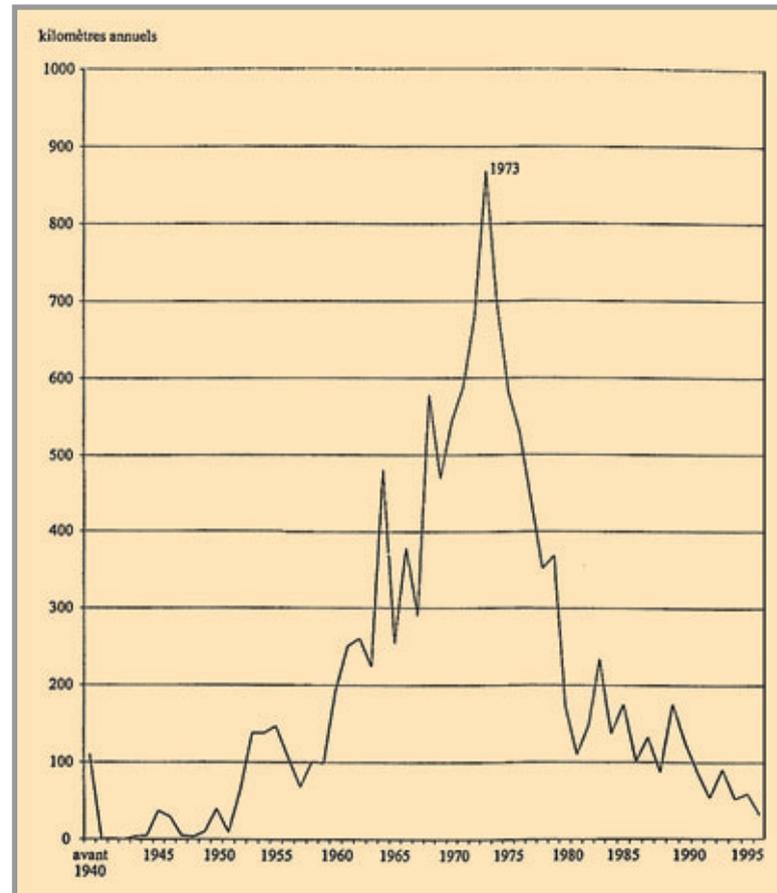
fournissaient de renseignements que sur la longueur et sur l'état global du réseau, apprécié par son rendement primaire, valeur elle aussi de portée trop limitée.

Une enquête beaucoup plus ambitieuse a donc été menée, à une tout autre échelle et avec un tout autre degré de précision, permettant de quantifier aussi précisément que possible l'état du patrimoine "Canalisations d'AEP". Les éléments recueillis ont donc été, pour chaque tronçon : sa longueur en mètres, son diamètre, son matériau, son année de pose. Les enquêteurs ont compulsé différents documents dans les principaux organismes suivant : DDAF de la Manche, maîtres d'ouvrage, entreprises de pose, bureaux d'études, sociétés fermières, Archives départementales, Agence de l'Eau, fontainiers, services techniques du département. L'étude concerne 458 000 habitants et près de 214 000 abonnés, soit, 96 % des totaux départementaux pour 86 % des structures. Le traitement statistique des données a été assuré par Jean-Michel Cadot, maître de conférences à l'université de Caen, sans qui cet article n'aurait pu se réaliser.

## Chronologie de la pose des canalisations

L'examen de la chronologie des poses de canalisation fait ressortir des points intéressants sur la manière dont s'est constitué ce patrimoine (figure 1). Les longueurs posées avant 1950 sont insignifiantes et ne dépassent pas quelques kilomètres par an, pour atteindre la centaine de kilomètres annuels durant les années cinquante. Le rythme s'accélère ensuite rapidement, avec quelques pics ponctuels jusqu'en 1973. Cette année marque un record en matière de pose avec près de 900 km. La pose des canalisations s'est donc effectuée de 1949 à 1973 au rythme de 15,5 % de croissance annuelle, soit pratiquement un temps de doublement du patrimoine de canalisations tous les 5 ans. Cependant, à partir de l'année 1973, la tendance s'inverse brutalement, avec une phase de chute très rapide jusqu'en 1981, qui se stabilise lentement pour la quinzaine d'années suivante. Cela correspond à une baisse annuelle de l'ordre de 11 % des longueurs de canalisations posées, soit une baisse de moitié de l'activité tous les 6 ans.

Trois phases de pose sont ainsi différenciables. La période de croissance de l'après-guerre au milieu des années 1970, au cours de laquelle se distingue



**Figure 1**  
Historique de la pose des canalisations d'eau potable dans la Manche

*History of drinking water pipe laying in the Manche department*

nettement une pointe au milieu des années 1950, reflet des efforts consentis par la reconstruction et la mise en place du fonds national pour le développement de l'adduction en milieu rural (FNDAE). La phase d'adduction des campagnes étant en grande partie achevée au milieu des années 1970, les marchés chutent rapidement et régulièrement jusqu'au début des années 1980, pour adopter un rythme de croisière, très bas et en diminution sensible. Il est particulièrement important de noter l'ampleur de la baisse, les travaux passant de près de 1 000 km par an à 100 km au plus.

## Répartition par matériaux

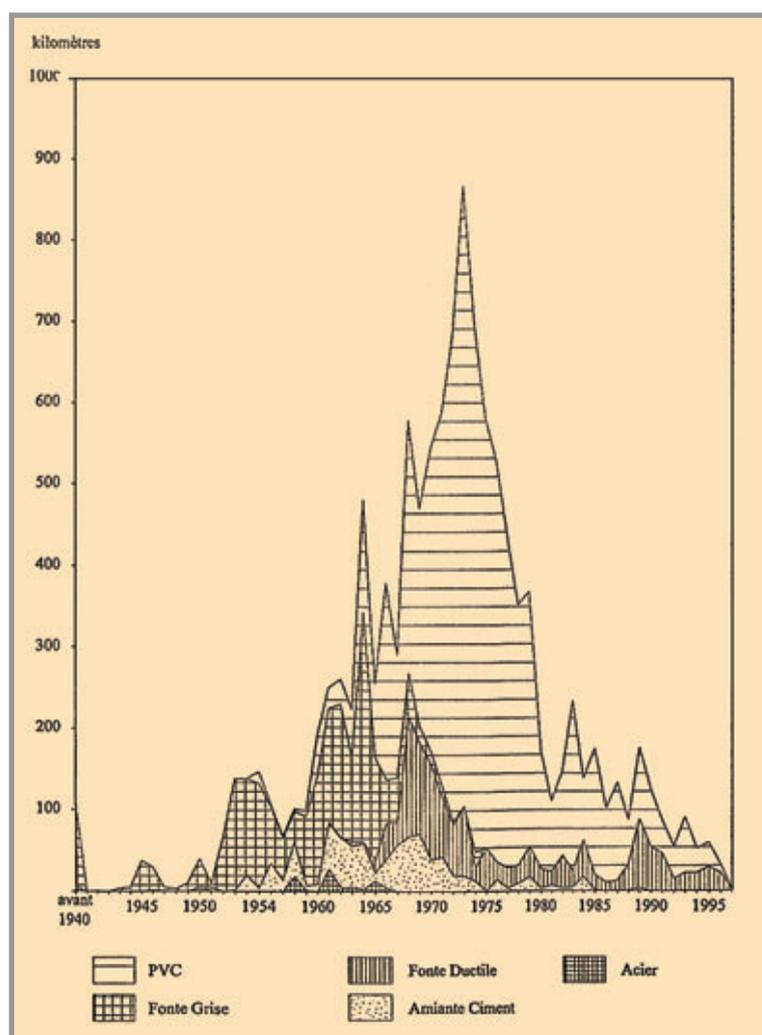
L'enquête a permis le recensement de six matériaux différents et inégalement représentés dans les canalisations d'AEP de la Manche. L'examen des répartitions des tronçons par matériau, fait immédiatement ressortir la nette prédominance du PVC dans le patrimoine actuel, avec environ les deux tiers des longueurs posées. Les autres types de matériau sont beaucoup moins représentés,

## DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE

### Moyens humains

- 3 équipes de 2 enquêteurs retraités, anciens professionnels de l'eau
- Durée** : 1 an et demi
- 101 entités de gestion visitées sur 118
- 40 000 km parcourus
- 1 200 dossiers manipulés
- 5 125 tronçons répertoriés
- 12 109 896 m de réseau relevés hors branchement
- 217 534 abonnés enregistrés

**Figure 2**  
**Historique de la pose des canalisations d'alimentation en eau potable selon les matériaux**  
*History of drinking water supply pipe laying from the viewpoint of materials*



Matériau	Kilomètres	%
PVC	7 720	64%
Fonte grise	2 110	17%
Fonte ductile	1 378	11%
Amiante-ciment	805	7%
Acier	88	1%
PEHD	5	≈0%

**Tableau I**  
**Les matériaux utilisés dans la Manche**  
*Materials used in the Manche department*



avec 17 % pour la fonte grise, 11 % pour la fonte ductile et 7 % pour l'amiante-ciment. L'acier et le PEHD restent anecdotiques avec moins de 1 % chacun (tableau I).

Les données recueillies pour les 5 000 tronçons de canalisations, offrent la possibilité de reconstituer le calendrier de pose selon les matériaux, après estimation de l'année "moyenne" de pose. S'intéressant uniquement aux événements postérieurs à 1940, il apparaît que la fonte grise est le matériau exclusif jusqu'au milieu des années 1950 (figure 2). Il partage ensuite peu à peu la place avec l'amiante-ciment, et de moindre manière le PVC et l'acier. Au début des années 1960, la fonte grise représente encore 50 % des canalisations posées, mais seulement 15 % en 1965 et n'est plus du tout utilisée au début des années 1970. La fonte ductile apparaît de manière isolée en 1951 avec 50 % du linéaire posé, mais connaît surtout un usage croissant à partir de 1960, avec une croissance exponentielle de son usage, puisqu'elle représente aujourd'hui 50 à 60 % des matériaux utili-

sés. Il est à noter qu'à la fin des années 1960, des pointes à 25 % ont été observées. L'acier et l'amiante-ciment restent des matériaux qui ont toujours été secondaires dans la Manche. Ainsi l'acier représente au plus 10 à 20 % des kilomètres posés et sur quelques années seulement : milieu des années 1940, décennie de 1955 à 1965. Il n'est plus utilisé depuis la fin des années 1960. L'amiante-ciment apparaît au début des années 1950 et connaît une croissance importante culminant avant 1960, où il représente jusqu'à 40 % des kilomètres posés, puis est de moins en moins utilisé. Il n'apparaît plus que de manière anecdotique depuis 1975. Le matériau dominant est le PVC, qui est utilisé depuis 1955 dans la région et connaît une utilisation en très forte croissance, jusqu'en 1975. Il est alors le matériau quasi exclusif avec plus de 90 % des linéaires posés. Il connaît ensuite un lent et régulier déclin, cédant peu à peu du terrain à la fonte ductile. Il représente encore aujourd'hui la moitié des longueurs de tuyaux posés.

**■ LA VALEUR DU PATRIMOINE**

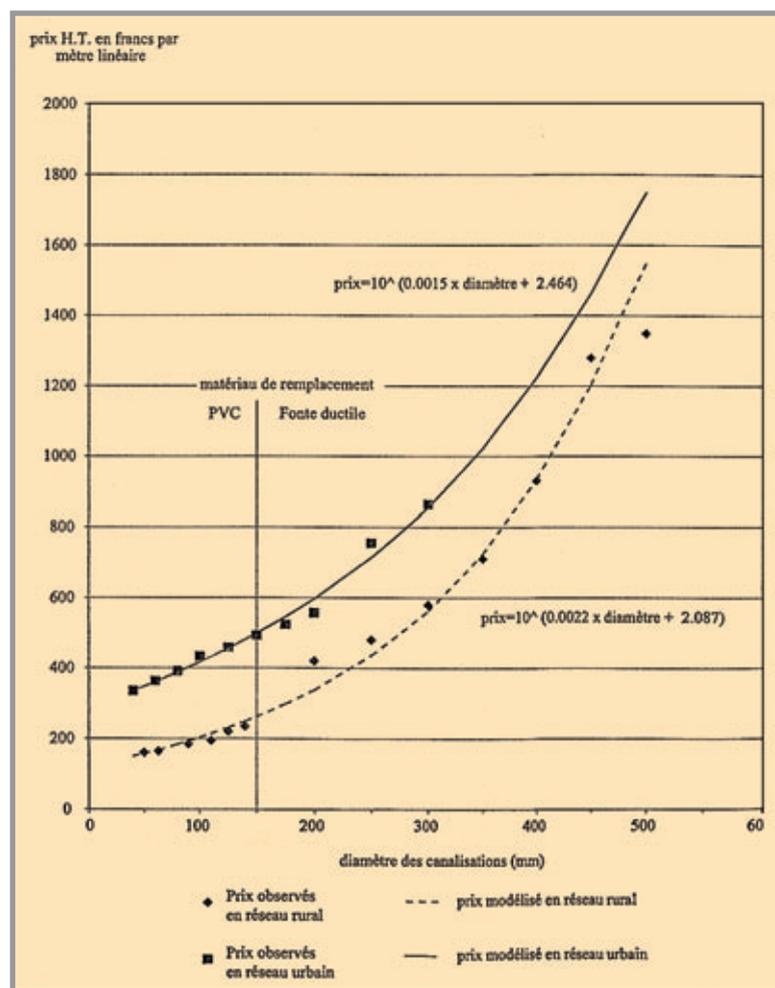
La recherche du coût de chaque tronçon de canalisation passe au préalable par l'estimation du prix au mètre linéaire de tuyaux. Celui-ci dépend de nombreux facteurs, comme le matériau, le diamètre, et il comprend de nombreuses composantes : terrassement, revêtement, blindage, tuyaux, raccordement, autocontrôle, compactage, contrôles divers, recollages... Il a été décidé que la valeur de chaque tronçon serait estimée par son coût de remplacement en francs courants par une canalisation de même diamètre. Le renforcement de cette dernière n'a donc pas été envisagé à cette échelle de travail. Les hypothèses retenues par le groupe de travail, nécessairement schématiques et réductrices, furent les suivantes :

- ◆ calcul de la valeur d'un tronçon par le coût de remplacement;
  - ◆ remplacement par un diamètre égal;
  - ◆ travaux effectués sous charte de qualité;
  - ◆ pour les diamètres inférieurs ou égaux à 150, le matériau servant de base au calcul de la valeur, est le PVC;
  - ◆ pour les diamètres supérieurs, la fonte ductile est utilisée;
  - ◆ les travaux sont effectués à 50 % en tranchée simple et autant en tranchée double;
  - ◆ les réseaux urbains et ruraux sont distingués.
- Ainsi, une enquête auprès de quelques fournisseurs a été effectuée par le groupe de travail et a permis de dresser une liste de prix au mètre linéaire des canalisations, selon leur diamètre et selon la distinction milieu urbain et rural. La figure 3 permet de juger du bon ajustement obtenu par ce type de modèle exponentiel, qui lie diamètre et prix HT de la canalisation, même si des modèles séparés

pour les deux gammes de diamètres précédemment cités, pourraient offrir des résultats bien meilleurs. Néanmoins compte tenu de la précision recherchée, ces relations paraîtront largement suffisantes. Chaque tronçon, selon son diamètre et selon le type de réseau auquel il appartient est chiffré en francs de remplacement. Le cumul des valeurs des 5 125 tronçons permet de connaître la valeur globale du patrimoine des canalisations d'AEP de la Manche, qui s'élève alors à la somme, en francs actuels, de : 2,6 milliards de francs HT. De manière plus détaillée, les réseaux posés avant 1940, représentent 41,7 millions de francs. De 1940 à 1973, la valeur des canalisations posées varie exponentiellement de quelques millions de francs à 160 millions. De 1973 à 1981, les réseaux posés varient selon les années, de 160 à 35 millions de francs. Depuis, chaque année, 30 à 40 millions de francs ont été posés. De 1940 à 1967, soit la première partie de la phase de croissance mentionnée précédemment, le patrimoine posé représente 755 millions de francs. Il s'agit de canalisations anciennes, datant de plus de 30 ans, voire plus de 50 ans, qui représentent le premier lot qu'il convient d'envisager de changer. Il faut y ajouter les 42 millions encore plus anciens, soit 796 millions de francs. Les canalisations datant de la seconde partie de la grande phase de croissance du marché de 1968 à 1973, représentent une somme du même ordre de grandeur, avec 720 millions. La première partie de la phase décroissante, de 1974 à 1981 représente une valeur cumulée de 642 millions de francs, pour des canalisations datant de 15 à 20 ans. Enfin, ces 15 dernières années, les tronçons posés affichent une valeur globale de 466 millions. De la même manière, il est possible de quantifier la valeur du patrimoine en fonction des types de matériaux. Le PVC, matériau dominant en linéaire l'est aussi en valeur monétaire, malgré la faiblesse des diamètres caractérisant généralement ce matériau : il représente 1 430 millions de francs, soit 55 % du patrimoine départemental. Ensuite, viennent la fonte grise avec 538 millions de francs, soit 20 %, puis la fonte ductile pour 428 millions de francs, soit 16 %. L'amiante-ciment, bien que peu représenté en kilométrage, représente une valeur de 204 millions de francs, pour 8 % de la valeur totale. Enfin, l'acier reste négligeable, avec moins de 24 millions de francs, c'est-à-dire moins de 1 % de la valeur du patrimoine du département.

## ■ L'ÉVOLUTION À VENIR DU PATRIMOINE

Au rythme actuel de pose, environ 70 km par an, le renouvellement complet du parc des canalisations dépasse 170 ans. Il semble évident que même avec un entretien soigneux, aucune canalisation



**Figure 3**  
Relations prix/diamètre des canalisations selon le type de réseau  
*Piping price/diameter relations according to type of network*

ne saurait atteindre cet âge. La recherche de critères permettant de guider le choix des éléments de canalisations à remplacer, a fait partie des discussions du groupe de travail, qui n'a pu apporter de réponse concrète tant le problème est délicat. Le rôle des facteurs physiques a été démontré par de nombreux chercheurs et on signalera l'importance pour le vieillissement des canalisations, des sols et formations superficielles dans lesquels elles sont posées, ainsi que la qualité physico-chimique des eaux, tant dans les terrains environnants, que dans les canalisations elles-mêmes. Ces éléments ont fait l'objet de recherches à grande échelle, d'analyses fines métriques et micrométriques. Ces paramètres ne sauraient donc être pris en compte à la petite échelle de travail qui est celle du département. De même, le seul élément disponible que constitue l'âge des canalisations, du fait des facteurs ci-dessus énumérés, n'est pas un élément discriminant et déclenchant du renouvellement. Par ailleurs, il est prouvé que la réparation et la réhabilitation des canalisations usées se justifient au moins sur le plan économique, jusqu'à un point avancé. Ont donc été pris en compte des nécessités telles que le remplacement des branchements en plomb, qui devra logiquement s'accompagner de celui des canalisations qui les supportent :

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maitre d'ouvrage**

Association des collectivités gestionnaires de l'eau potable et de l'assainissement (A.C.G.E.P.A.)

### **Maitre d'œuvre**

Conseil général de la Manche. Service de l'Eau

### **Plan de financement**

- Agence de l'Eau : 50 %
- Canalisateurs de France : 40 %
- A.C.G.E.P.A. : 10 %

### **Coût de l'étude**

300 000 F. TTC



les canalisations anciennes comme la fonte grise ou l'acier sont au premier rang. L'autre facteur retenu est celui du remplacement de l'amiante-ciment, vieillissant mal et dont les conséquences sur la santé, qui sont encore discutées, risquent d'occasionner un remplacement prématuré dans certains cas. Ainsi, en se basant sur la nature des matériaux anciennement posés, il est possible de présenter un volume de canalisations, qui devront être changées à court terme. Il est envisageable de distinguer :

- ◆ l'ensemble de la fonte grise : 2 110 km, pour 558 millions de francs ;
- ◆ l'acier : 88 km, pour 24 millions de francs ;
- ◆ l'amiante-ciment : 805 km pour 204 millions de francs.

Ces travaux représentent 3 000 km de canalisations, soit le quart de l'existant, pour une valeur de 765 millions de francs. Compte tenu des nouvelles mises aux normes, du maintien de la sécurité contre l'incendie en milieu urbain, des travaux à effectuer sur les entités non enquêtées, le groupe de travail a estimé l'investissement à réaliser dans la prochaine décennie à 85 millions de francs par an pour 300 km de canalisations renouvelées.

## CONCLUSION

Le territoire du département de la Manche est desservi en totalité par l'alimentation en eau potable malgré une grande dispersion de l'habitat rural. Plus de 75 % des structures bénéficient de matériaux fiables. De longue date, la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales a imposé et suivi un traitement adapté des eaux brutes évitant la dégradation rapide des réseaux. Le taux de rendement des réseaux à hauteur de 70 %, doublé de bons indices de réparations grâce à la mise en place de compteurs de sectorisation, font que ce département rural se situe parmi les meilleurs du bassin Seine-Normandie. Cependant, sur les 41 000 000 m<sup>3</sup> injectés dans les réseaux, 12 300 000 m<sup>3</sup> disparaissent à travers des canalisations qui datent de plus de 25 ans. A l'initiative du Conseil général, le recensement exhaustif de ce patrimoine vieillissant aura permis de mettre en lumière la diminution alarmante des investissements consacrés par les collectivités à ce renouvellement des réseaux. D'autre part, la connaissance précise du type de matériau employé, des diamètres mis en jeu, des linéaires posés, ainsi que de l'âge des canalisations va permettre d'élaborer, avec l'aide de l'Agence de l'Eau, une politique volontariste de renouvellement des réseaux basée sur des critères fiables et concrets. Conscients de l'enjeu économique que représentent pour les générations à venir ces incontournables travaux, les élus du département de la Manche, vont faire de cette enquête un véritable outil d'aménagement du territoire.

## ENGLISH SUMMARY

**The drinking water supply of France's Manche department (region). A heritage to be saved**

A. Orange

In France's Manche department, of the 41 million cu. m. of water delivered to the network, 12.3 million cu. m. disappear each year through piping more than 25 years old. Some 20 % of the public distribution network is made up of unlined ferrous metal pipes, which does not fail to pose problems from the qualitative standpoint. At the initiative of the regional council, an exhaustive survey of this ageing patrimony has revealed the alarming decline in investments devoted by communities to the renewal of water supply systems. Further, a precise determination of the type of material used, the diameters and lengths of piping in place, as well as its age will help to work out, with the aid of the Seine-Normandie Water Agency, a deliberate policy of piping network replacement based on reliable and concrete criteria. Aware of the economic importance of this rehabilitation essential for future generations, officials of the Manche department will be making this survey a real regional development tool.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

**Trinkwasserversorgungsnetz im Département Manche. Bestandssicherung**

A. Orange

Im über 25 Jahre alten Trinkwassernetz des Départements Manche werden 12 300 000 der insgesamt 41 000 000 pro Jahr ins Netz gespeisten Kubikmeter Wasser als Verluste verbucht. Das öffentliche Versorgungsnetz umfaßt zu über 20 % Leitungen aus Eisenmetallen ohne Beschichtung, was auch zu Problemen in qualitativer Hinsicht führt. Die auf Initiative des Generalrates durchgeführte komplette Bestandsaufnahme dieser alternden Anlagen hat gezeigt, daß die Investitionen der Gebietskörperschaften für die Netzerneuerung in besorgniserregendem Maße zurückgehen. Desweiteren liefert die präzise Kenntnis der eingesetzten Werkstoffe, der verschiedenen Durchmesser, der vorliegenden Trassen und des Alters

der Leitungen zuverlässige und konkrete Kriterien für die Festlegung einer gezielten Erneuerungspolitik des Trinkwassernetzes in Zusammenarbeit mit der Wasserbehörde Seine-Normandie. Die gewählten Volksvertreter des Département Manche sind sich der wirtschaftlichen Tragweite dieser notwendigen Arbeiten für die künftigen Generationen voll bewußt und werden daher diese Studie als Instrument der Raumgestaltung einsetzen.

## RESUMEN ESPAÑOL

**Las redes de alimentación de agua potable del departamento de La Manche. Un patrimonio a proteger**

A. Orange

De los 41 000 000 de m<sup>3</sup> de agua inyectados en la red de distribución, 12 300 000 m<sup>3</sup> desaparecen cada año por las canalizaciones que se remontan a más de 25 años. La red de distribución pública está formada por un 20 % de conductos de metales ferrosos sin revestimiento alguno, lo cual no deja de plantear problemas desde el punto de vista cualitativo. Debido a la iniciativa de la Diputación provincial, el censo exhaustivo de este patrimonio que envejece a ojos vistas habrá permitido hacer resaltar la disminución alarmante de las inversiones dedicadas por los entes locales para esta renovación de las redes. Por otra parte, el conocimiento preciso del tipo de canalizaciones utilizado, de los diámetros considerados, así como la antigüedad de los conductos habrá de servir para mejorar con aquella de la Agencia del Agua Sena-Normandía (Confederación hidrográfica) una política resuelta de renovación de las redes que estriba en criterios seguros y concretos. Conscientes del reto económico que representan para las generaciones venideras estas inevitables obras, el personal político del departamento de La Manche, habrán de hacer de esta encuesta una verdadera herramienta de ordenación del territorio.

# De nouvelles conduites d'eau de grand diamètre sur Paris

## Le projet LIRE

La structure du réseau d'alimentation en eau de Paris ainsi que celle des moyens de production remonte à la période comprise en 1855 et 1900. Les concepteurs de ce réseau ont tenu à mettre en place une double ceinture pour constituer un réseau structurant sécurisé entre :

- les usines de production et les réservoirs;
- les réservoirs eux-mêmes.

La Sagep soucieuse de garantir l'alimentation en eau des Parisiens a donc étudié le renforcement et le complément du système existant grâce à la mise en place de nouvelles conduites de transit de grand diamètre. C'est le projet LIRE (Liaison Inter Réservoir d'Eau) qui sera réalisé entre 1997 et 2003. Deux tronçons sont prévus :

- LIRE secteur Sud (programmé pour la période 1998-2002). Il s'agit de poser une conduite DN 1400 mm et 1200 mm dans le secteur des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> arrondissements soit environ 4 km, dont plus de la moitié dans une galerie de 3 m de diamètre située à grande profondeur, qui doit passer sous la Seine.
- LIRE secteur Est (commencé en février 1997 - fin prévue juin 1999). Il s'agit de relier deux grands réservoirs de l'Est de Paris, par une conduite :
  - DN 1500 mm sur 160 m posée par fonçage;
  - DN 1200 mm sur 900 m posée dans une galerie circulaire de 3,08 m de diamètre creusé au tunnelier, dans les marnes supragypseuses.

### ■ UN PEU D'HISTOIRE (photo 1)

La structure du réseau d'alimentation en eau des Parisiens ainsi que celle des moyens des productions remonte à 1855. Le programme voté le 12 janvier 1855 par le Conseil municipal de Paris a été tracé dans ses grandes lignes par le baron Haussmann préfet de la Seine de 1853 à 1870. La réalisation de ce vaste programme a été confiée à l'ingénieur Belgrand. Ce programme avait pour ambition :

- ◆ de distribuer 200 litres d'eau par habitant et par jour;
  - ◆ d'alimenter les Parisiens à partir de réservoirs disposés de telle façon que l'eau atteigne facilement les étages supérieurs des immeubles.
- En 1900 pour 2 700 000 habitants les ressources disponibles sont de 800 000 m<sup>3</sup> par jour provenant :
- ◆ des sources qui captent l'eau jusqu'à 100 km de Paris, au sud et à l'ouest;
  - ◆ des usines qui traitent l'eau de la Seine : Ivry (1900) et de la Marne : Joinville (1897).
- Cette eau est stockée dans des réservoirs situés en périphérie de Paris, et sur des points hauts : Ménilmontant (1865), Montsouris (1875), Saint-Cloud (1894), Montmartre (1889) et Belleville (1868). L'ensemble du réseau de distribution est en fonte grise, posé dans des égouts visitables ou gale-

rie. Au fil des ans la Ville de Paris a ajouté à ce patrimoine fabuleux :

- ◆ une usine : Orly (1970);
  - ◆ deux réservoirs : Les Lilas (1963) et L'Haÿ-les-Roses (1971);
  - ◆ un compartiment au réservoir de Saint-Cloud (1937) portant sa capacité à 400 000 m<sup>3</sup>.
- L'ensemble du réseau d'eau potable a une longueur de 1800 km avec des diamètres variant de 100 à 1500 mm.



Photo 1  
Le réservoir de Ménilmontant construit en 1865  
Ménilmontant reservoir built in 1865

### André Perrillat



RÉSEAUX PARISIENS  
NORD  
Sagep

### Gérard Lebaigue



RÉSEAUX PARISIENS  
NORD  
Sagep

### Françis Maquennehan



SERVICE INGÉNIERIE  
Sagep

### Jean-Pierre Thoreau



DIRECTEUR DES ETUDES  
ET TRAVAUX  
Sagep



## ■ MOTIVATIONS DU PROJET LIRE

Le réseau de conduites dit "HAUT" est le réseau principal de Paris. Il est au centre du système maillé, étagé, interconnecté pour l'alimentation en eau potable. Il représente :

- ◆ 60 % de la consommation des Parisiens ;
- ◆ le secours du réseau "BAS", du centre de Paris ;
- ◆ des interconnexions de sécurité avec le réseau d'eau potable de la banlieue géré par le SEDIF ;
- ◆ une capacité totale de production d'eau potable connectée de 1 000 000 m<sup>3</sup> par jour (aqueduc de l'Avre, usines de Joinville, Ivry et Orly) ;
- ◆ un volume total d'eau potable stockée dans des réservoirs de 1 000 000 m<sup>3</sup> (réservoirs de Saint-Cloud, de l'Haÿ-les-Roses, de Ménilmontant, des Lilas, ainsi que les réservoirs des réseaux particuliers de Montmartre et de Belleville).

Depuis 1865 et jusqu'à 1945, nos prédécesseurs ont tenu à mettre en place une double ceinture pour constituer un réseau structurant sécurisé entre les usines de production et les réservoirs d'une part et les réservoirs eux-mêmes d'autre part.

Aujourd'hui, cette organisation présente quelques faiblesses :

- ◆ le réseau est vieillissant et les risques d'apparition de fuites et de ruptures vont aller en augmentant ;
- ◆ la structure de la double ceinture n'est pas terminée ;
- ◆ les conduites les plus anciennes sont maintenant d'un trop faible diamètre pour assurer un transit d'eau suffisant ;
- ◆ il est possible d'assurer un petit entretien, mais les grandes opérations de rénovation qui seront bientôt nécessaires seront difficiles sans un renforcement du réseau au préalable.

La Sagep soucieuse de garantir l'alimentation en eau des Parisiens a donc étudié la mise en place de nouvelles conduites de transit de grand diamètre. C'est le projet LIRE (Liaison Inter Réservoirs d'Eau) dont la première tranche sera réalisée entre 1997 et 2003. Deux tronçons sont prévus : LIRE secteur Sud et LIRE secteur Est (figure 1).

## ■ LE PROJET

### LIRE secteur Sud

Le programme des travaux, LIRE secteur Sud, consiste en la pose d'une conduite DN 1 400 mm à 1 200 mm dans le secteur des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> arrondissements de Paris entre la Porte de Versailles et la Porte d'Auteuil. Ces travaux sont programmés sur la période 1998 à 2003.

Cette nouvelle conduite sera raccordée sur le réseau existant et permettra de sécuriser le système de transport existant pour le transfert d'eau potable vers les quartiers ouest et le réservoir de

Saint-Cloud. La nouvelle configuration du réseau dans le secteur sud-ouest de Paris assurera un débit minimum de transfert de l'ordre de 150 000 m<sup>3</sup>/j. Les études du tracé LIRE secteur Sud et l'implantation des puits de travail ont été menées en tenant compte des ouvrages, existants ou prévus, des différents concessionnaires de la Ville de Paris et de manière à rester sous l'emprise du domaine public. Ainsi, plusieurs tracés ont été étudiés dont notamment le tracé représentant le plus court linéaire, situé sous les boulevards Victor et Exelmans. Ce tracé n'a cependant pu être retenu pour tenir compte des contraintes liées :

- ◆ à l'encombrement du sous-sol, notamment les galeries RATP, les égouts et galeries EDF... ;
- ◆ aux problèmes de circulation de surface, les travaux devant être réalisés sans interruption du trafic ;
- ◆ au phasage des travaux avec les grands projets des autres services de l'Etat, de la Ville de Paris et des concessionnaires.

La prise en compte de l'ensemble de ces difficultés a finalement conduit à préférer une implantation de la nouvelle conduite le long du boulevard périphérique dans un secteur moins urbanisé.

Le profil en long du terrain naturel situé au sud-ouest de l'agglomération parisienne entre la Porte de Versailles et la Porte d'Auteuil se situe entre les cotes 30 m NGF et 42 m NGF.

Le tracé retenu pour la nouvelle conduite, dont le profil en long s'inscrit entre les côtes 10 m NGF et 0 m NGF, rencontrera les différentes couches géologiques suivantes :

- ◆ les remblais très hétérogènes dont l'épaisseur varie entre 2 et 13 m ;
- ◆ les alluvions modernes de sols fins sableux et argileux ;
- ◆ les alluvions anciennes constituées de sable et de graviers grossiers ;
- ◆ la craie blanche.

Le linéaire du tracé de la nouvelle conduite du projet LIRE secteur Sud représente environ 4 100 m. Le profil en long de ce tracé se décompose en deux secteurs principaux. La première partie du tracé sera réalisée à faible profondeur, entre les cotes 30 m NGF et 19 m NGF pour s'affranchir des ouvrages existants en surface. Cette partie du tracé est située dans les alluvions modernes ou anciennes et sera réalisée par la technique du fonçage de tuyaux en béton armé à âme tôle dans le sol.

La seconde partie du tracé sera réalisée à grande profondeur entre les cotes 10 m NGF et 0 m NGF et concerne le passage sous la Seine pour rejoindre la Porte d'Auteuil. Cette partie du tracé sera située dans la craie blanche à une profondeur suffisante pour rencontrer un matériau non altéré et offrant un toit consistant sous le lit de la Seine. Dans cette partie, la nouvelle conduite sera posée dans une galerie visitable de diamètre 3,00 m réalisée par tunnelier. Pour permettre l'exécution de

### LA SAGEP PRODUIT L'EAU DE PARIS

Depuis 1987, la Sagep (Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris) est chargée de produire et transporter l'eau à Paris. Elle est garante de sa qualité au robinet des Parisiens. Pour assurer aux consommateurs, qualité de l'eau et sécurité d'approvisionnement, elle mène une politique rigoureuse d'entretien et de modernisation du dispositif d'alimentation de Paris en eau, en réalisant un important programme de travaux au rythme annuel de plus de 300 millions de francs.

Responsable de la qualité de l'eau, la Sagep coordonne et contrôle également la distribution de l'eau, confiée depuis 1985 à Eau et Force Parisienne des Eaux pour la rive gauche de Paris et à la Compagnie des Eaux de Paris pour la rive droite.

L'eau de Paris est pour moitié d'origine souterraine située dans les régions de Dreux, Sens, Provins et Fontainebleau et acheminée par aqueducs vers Paris. Le complément provient d'eau de rivières, potabilisée dans les usines d'Ivry et d'Orly pour la Seine et Joinville pour la Marne. Ces usines privilégient des procédés écologiques innovants afin d'éviter de polluer l'environnement par d'importants rejets de produits chimiques. Certifiée ISO 9002 en 1997, la Sagep a vu la qualité de son organisation et de ses procédés reconnus par l'AFAQ.

la galerie ou le fonçage des tuyaux, les travaux du projet LIRE Sud nécessiteront la réalisation de dix puits de travail, neuf à des profondeurs moyennes de 15 m et un à une profondeur de 40 m.

L'exécution de l'ensemble de ces travaux sera accompagnée de travaux d'injection des terrains pour prévenir les venues d'eau lors du creusement des puits ou du tunnel.

### LIRE secteur Est

Le réservoir des Lilas construit en 1963 n'est alimenté que par une seule conduite. C'est une ancienne conduite d'assainissement posée en 1900. Son diamètre extérieur est de 1 750 mm, elle a été chemisée intérieurement pour tenir la pression, en diamètre 1 630 mm puis 1 520 mm. Cette conduite posée à grande profondeur sous la butte de Belleville (entre - 10 et - 38 m) n'est pas visitable extérieurement et ne peut pas être arrêtée pour réparation sans affecter l'exploitation des deux grands réservoirs de l'Est parisien d'une capacité totale de stockage de 300 000 m<sup>3</sup>. Le projet consiste à dériver une conduite existante DN 1 500 mm à proximité du réservoir de Menilmontant et à poser une nouvelle canalisation DN 1 200 mm jusqu'au réservoir des Lilas. Le tracé en plan de cette liaison est très simple à trouver : la rue du Surmelin et les boulevards Mortier et Sérurier (figure 2).

Le profil en long conditionné par les paramètres suivants : ligne piézométrique, cotes de sol, encombrement du sous-sol à la Porte des Lilas (4 tunnels de métro) conduit à la solution retenue :

- ◆ fonçage d'une canalisation sous la rue du Surmelin;
- ◆ réalisation d'une galerie circulaire au tunnelier sous les boulevards Mortier et Sérurier, avec pose d'une conduite à l'intérieur.

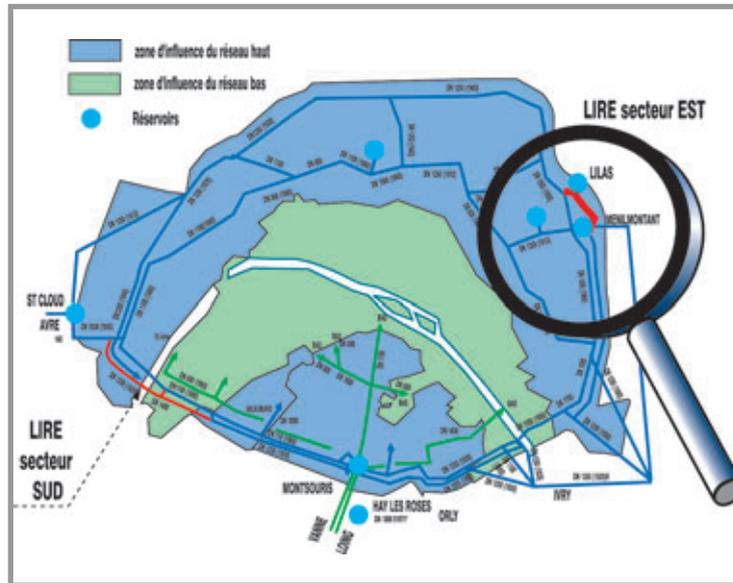
Le premier marché lancé par le maître d'ouvrage, la Sagep, comprenait :

- ◆ les puits et chambres de raccordement;
- ◆ le fonçage DN 1 500 mm sur 160 m et raccordements aux réseaux existants;
- ◆ le creusement au tunnelier d'une galerie de 3,08 m de diamètre intérieur sur une longueur de 900 m;
- ◆ le creusement de façon traditionnelle d'une galerie plein-cintre de 3 m d'ouverture sur 25 m.

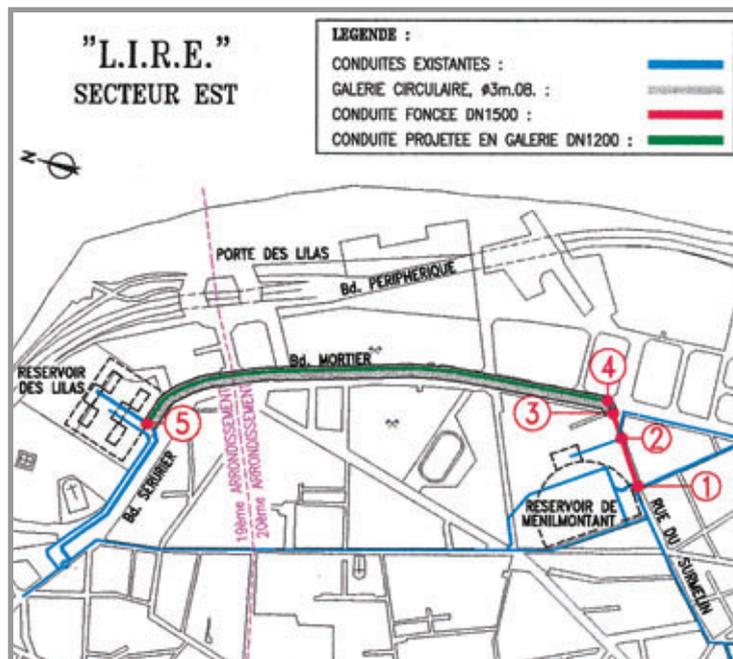
Les travaux ont été confiés après appel d'offres au groupement d'entreprises : Solétanche - Bachy/CSM Bessac/Borie SAE.

La pose de la canalisation de DN 1 200 mm dans la galerie fera l'objet d'un marché particulier. La figure 3 précise les différents ouvrages du projet :

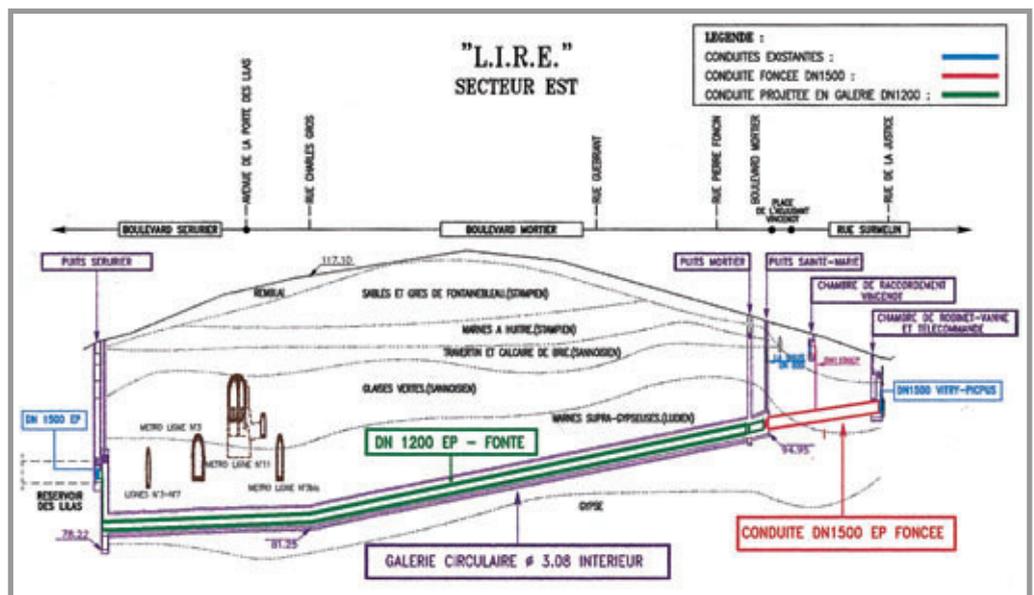
- ◆ Puits "Surmelin" : puits de travail pour l'exécution du fonçage DN 1 500 mm, transformé en chambre de raccordement (et de télécommande) sur la conduite d'alimentation. Profondeur : 9 m - Volume : 950 m<sup>3</sup>;
- ◆ Chambre "Vincenot" : chambre de raccordement



**Figure 1**  
Deux tronçons prévus : LIRE secteur Sud et secteur Est  
*Two sections planned : LIRE South sector and East sector*



**Figure 2**  
Vue en plan du projet LIRE secteur Est  
*Plan view of LIRE East sector project*



**Figure 3**  
Vue des différents ouvrages du projet LIRE secteur Est  
*Sectional view of different structures of the LIRE East sector project*

**Photo 2**  
**Havage DN 1500**  
*Undercut pipeline*  
*of 1,500-mm ND*



**Photo 3**  
**Chambre Surmelin**  
 avec "patte d'éléphant"  
 réalisée pour s'affranchir  
 d'un ouvrage  
 d'assainissement  
**Surmelin chamber**  
 with "bell-bottom"  
 provided to obviate  
 a drainage structure



## ■ LES TRAVAUX

Les travaux qui ont commencé en février 1997 comportent trois parties :

- ◆ les puits et chambres ;
- ◆ le fonçage ;
- ◆ la galerie au tunnelier.

### Les puits et chambres

Les méthodologies employées pour ces travaux, restent tout à fait traditionnelles. Citons simplement la réalisation d'un maillage entre la conduite DN 1500 mm foncée et une conduite DN 1100 mm (puits Vincenot) par le havage d'éléments de tuyaux DN 1500 en béton armé dans lesquels est placée une conduite DN 1100 mm en béton armé âme tôle. Ce "fourreautage" de la conduite DN 1100 a permis un meilleur centrage pour le raccordement. Le havage a été exécuté sur une hauteur de 10 m environ (photo 2).

Les emprises de chantier pour ce type de travaux, en site urbain ont été très importantes. En effet la surface totale des emprises pour l'ensemble est de 6400 m<sup>2</sup> dont 5000 m<sup>2</sup> pour l'emprise Sérurier hébergeant le puits de travail du tunnelier.

Il est à signaler qu'un des problèmes majeurs rencontrés dans les travaux en site urbain est la fiabilité des informations concernant la statistique des concessionnaires. La chambre de raccordement Surmelin est un bon exemple d'adaptation du projet au terrain (photo 3).

### Le fonçage

C'était bien sûr la solution la plus économique pour placer une canalisation DN 1500 mm sous la rue du Surmelin (longueur 160 m) à une profondeur variant entre 8,5 m au puits de départ et 16 m au puits d'arrivée. Les horizons géologiques traversés furent pour 80 % des glaises vertes et pour 20 % des marnes supragypseuses. Pour des problèmes d'emprises, le puits de départ réclamant une surface au sol importante, "l'attaque" fut descendante. Aucune arrivée d'eau n'est venue perturber le terrassement.

Le microtunnelier utilisé par la société Bonna sous-traitant du groupement, était un Akkerman.

Ce type de matériel convenait parfaitement pour le terrain rencontré. Les 160 m de canalisation ont été posés en 32 jours soit une moyenne de 5 m/jour (un tuyau), ceci pour le terrassement, les soudures étant exécutées après (photos 4 et 5).

### La galerie au tunnelier

#### La géologie

Le creusement de la galerie de longueur 900 m se développe dans les marnes supragypseuses. Cette formation est constituée à la base par les marnes



entre la conduite DN 1500 mm foncée (profondeur – 12 m à cet endroit) et une conduite existante DN 1100 mm. Volume : 300 m<sup>3</sup> ;

◆ Puits "Sainte Marie" : puits pour accès piétons à la galerie, et ouvrage de raccordement à l'ouvrage de la Dhuis. Profondeur : 16 m - Volume : 360 m<sup>3</sup> ;

◆ Puits "Mortier" : puits de sortie du tunnelier, bétonné, servant d'accès matériel pour descente des tuyaux dans la galerie. Profondeur : 17 m - Volume : 360 m<sup>3</sup> ;

◆ Puits "Sérurier" : puits de descente du tunnelier, bétonné en partie basse pour constituer un ouvrage de raccordement à la galerie d'arrivée du réservoir des Lilas. Profondeur : 30 m - Volume : 2500 m<sup>3</sup> ;

Entre le puits "Surmelin" et la chambre "Vincenot" fonçage DN 1500 mm.

Entre le puits Sainte-Marie et le puits "Mortier" galerie plein-cintre de 3 m d'ouverture en traversée du boulevard Mortier réalisée à partir du puits "Mortier". Longueur : 25 m.

Entre le puits "Mortier" et le puits "Sérurier", galerie circulaire de 3,08 m de diamètre intérieur creusée au tunnelier. Longueur : 900 m.



**Photo 4**  
**Installation de poussage**  
*Forepoling installation*

d'Argenteuil surmontées des marnes de Pantin. Au point le plus bas (NGF = 80) correspondant au puits Serurier, le creusement débute à la limite supérieure des masses et marnes de gypse.

Il a été rencontré des bancs de gypse massifs intercalés dans les marnes d'Argenteuil sur le premier tiers du creusement. L'observation du front de taille a également mis en évidence sur la totalité du parcours la nature litée des marnes d'Argenteuil se présentant sous forme de bancs de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur alternativement plastiques et indurés. Cette disposition favorisait l'apparition de "hors profil" au terrassement étant donné le nombre important d'interfaces entre les bancs, qui constituaient donc autant de surface de décrochement possible. Grâce au mortier de serrage, les anneaux sont néanmoins parfaitement bloqués au terrain. Des venues d'eau ponctuelles étaient à prévoir mais il n'en fut rien.

### Le tunnelier

Le tunnelier retenu pour l'exécution de la galerie, est un tunnelier conçu et fabriqué par CSM Bessac de type fermé, à attaque ponctuelle, de diamètre extérieur DN 3645 mm. C'est une machine dont la chambre d'abattage est pressurisable jusqu'à 2,5 bars et qui intègre deux sas d'accès au front de taille. Le poids du tunnelier est de 70 t. Ce tunnelier a réalisé à Berlin en 1996 une galerie technique de 1700 m dans les sables sous une charge hydrostatique atteignant 25 m de colonne d'eau. L'enveloppe extérieure se compose de trois éléments (trousse coupante, partie centrale et jupe) articulés entre eux par le biais d'une articulation avant commandée par vérins hydrauliques (cinq groupes de deux vérins de 100 t) et d'une articulation arrière type flottant.

Ces articulations ainsi que le biais des anneaux permettent de décrire les deux courbes du projet dont le rayon est de 270 m, ainsi que le changement de pente qui passe de 0,3 % à 2 % après franchissement des lignes RATP.

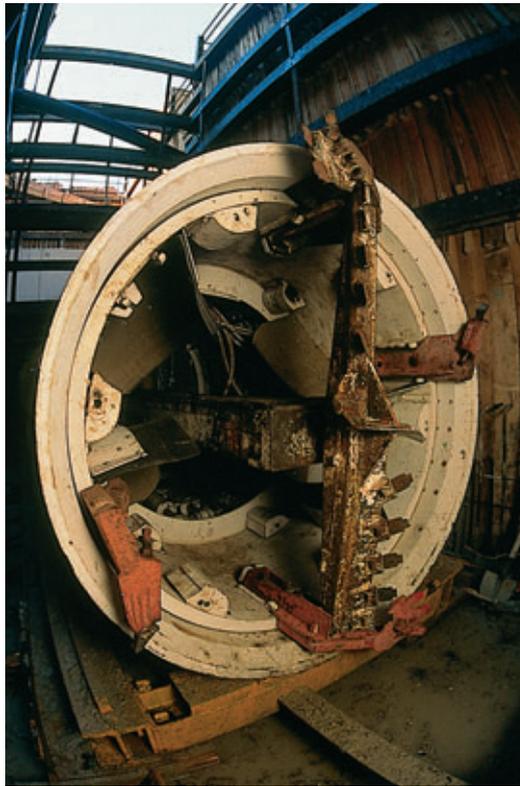
La poussée du tunnelier est assurée par cinq groupes de deux vérins prenant appui sur le revêtement voussoirs (poussée totale 1200 t).

Chaque anneau se compose de cinq voussoirs préfabriqués et d'une clé ; sa longueur est de 1,20 m, son épaisseur de 23 cm. Il est équipé d'un joint compressible. Il est assemblé à l'abri de la jupe grâce à un érecteur central.

Le creusement est assuré par un puissant bras d'abattage télescopique articulé sur une tourelle à rotation totale. L'outil d'abattage est constitué d'un godet rétro adapté aux conditions géologiques du projet.

Les déblais abattus dans la chambre, sont transférés vers les bennes de marinage par l'intermédiaire d'une vis d'extraction puis d'un tapis de reprise.

Un hublot d'une grande dimension, aménagé à tra-



**Photo 5**  
Tête du microtunnelier Akkerman  
*Head of Akkerman microtunnelling machine*

vers la cloison centrale, permet à l'opérateur de voir en permanence le front de taille et de creuser le terrain de manière sélective (par exemple en cas de rencontre d'obstacles, de blocs, etc.) (photo 6).

### Le marinage horizontal et vertical

Le marinage horizontal est réalisé à l'aide d'un train composé de deux bennes culbutables de capacité unitaire 9 m<sup>3</sup>, d'un wagon assurant le transport d'un anneau de voussoirs et d'un wagon malaxeur contenant 2 m<sup>3</sup> de mortier de serrage.

Il est prévu un seul aller-retour du train par cycle de pose d'anneau.

Les déblais sont culbutés en puits dans deux bennes à fond ouvrant. Ces deux bennes sont remontées et vidées en surface grâce à une grue à tour de capacité 16 t.

En surface, une centrale de fabrication assure la production du mortier de serrage (photo 7).

### Points particuliers

Le projet présentait la particularité de faire passer la galerie sous quatre ouvrages RATP (galerie de raccordement lignes 3 et 7, métro ligne 2, métro ligne 3 bis) avec une couverture sous ces ouvrages très faible puisque de l'ordre d'un diamètre de creusement. Dans le même temps, les tassements autorisés par la RATP pour ses ouvrages, ne devaient pas dépasser 5 mm.

De manière à suivre les tassements en temps réel,



**Photo 6**  
Tunnelier baptisé Arlette du prénom d'Arlette Braquy, conseiller de Paris et membre du conseil d'administration de la Sagep, marraine du tunnelier. Le tunnelier a été descendu dans le puits de départ le 18 décembre 1997

*TBM christened Arlette from the name of Arlette Braquy, Paris councillor and member of the Sagep board of directors, in honour of whom the TBM is named. The TBM was lowered into the starting shaft on 18 December 1997*



**Photo 7**  
Sortie du tunnelier le 30 juin 1998  
*Exit of TBM on 30 June 1998*

### QUELQUES CHIFFRES

- Terrassement : 15 000 m<sup>3</sup>
- Blindages : 150 t d'acier
- Béton armé : 5 500 m<sup>3</sup> de béton, 300 t d'acier
- Début des travaux : février 1997
- Fin des travaux : juin 1999
- Coût de l'opération (y compris la conduite DN 1 200 mm à venir) : 60 millions de francs



**Photo 8**  
Pose du voussoir  
Placing of lining segment



**Photo 9**  
Galerie avec le revêtement terminé  
Gallery with lining completed

Il a été installé dans les ouvrages RATP un système de mesure automatique de mouvements par théodolite motorisé et cibles, relié aux installations de chantier et affiché sur un écran de contrôle. De son côté, le chantier a pris des dispositions nécessaires pour assurer le franchissement des ouvrages en continu (avancement effectué 24 h sur 24 h, sous les ouvrages). Les tassements mesurés sont restés bien inférieurs aux limites fixées par la RATP puisqu'ils n'ont jamais dépassé 2 mm.

### Les cadences

Le creusement a débuté fin janvier 1998 au puits Serurier avec le système de marinage provisoire et s'est achevé le 1<sup>er</sup> juillet 98 au puits de sortie Mortier. Il a été réalisé à l'aide d'une organisation de travail posté (2 postes de 11 personnes sur 8 heures).

Après la mise en place de l'équipement de marinage définitif (train suiveur), et la nécessaire période d'adaptation des équipes et du tunnelier au terrain, les cadences se sont établies à plus de 220 m/mois sur les trois derniers mois de creusement (photos 8 et 9).

## ENGLISH SUMMARY

### New, large diameter water piping for Paris. The LIRE project

*A. Perrillat, G. Lebaigue, Fr. Maquennehan, J.-P. Thoreau*

The structure of the Paris water supply network as well as that of its production facilities date back to the period between 1855 and 1900. The designers of this network wished to install a double belt to form a secure structuring network between :

- the production plants and reservoirs,
- the reservoirs themselves.

The water agency Sagep, anxious to guarantee the water supply of Parisians, thus set out to strengthen and supplement the existing system thanks to the setup of new large-diameter transit pipelines. This is the objective of the project known as LIRE (French acronym for Inter-Reservoir Link) to be implemented between 1997 and 2003. Two sections are planned :

- LIRE South sector (scheduled for the 1998-2002 period). This involves the laying of 1,400-mm and 1,200 mm ND piping in the sector of Paris' 15th and 16th arrondissements, representing 4 km, of which more than half will be in a gallery of 3-m diameter laid at great depth, and running under the Seine river.
- LIRE East sector (begun in February 1997 and scheduled for completion in June 1999). This involves the linking of two major reservoirs of east Paris via a pipeline of :
  - 1,500-mm ND along 160 m placed by driving;
  - 1,200-mm ND along 900 m placed in a circular gallery of 3.08-m diameter dug by a tunnel boring machine through supragypseous marls.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Neue Wasserleitungen mit großem Durchmesser für Paris. Das LIRE-Projekt

*A. Perrillat, G. Lebaigue, Fr. Maquennehan, J.-P. Thoreau*

Strukturmäßig sind das Pariser Trinkwassernetz und die entsprechenden Erzeugungsanlagen während des Zeitraums von 1855 bis 1900 errichtet worden. Die Konzeptoren haben ein doppelt aufgebautes, gesichertes Strukturnetz errichtet, und zwar :

- zwischen den Erzeugungsanlagen und den Behälterbauwerken
- bei den Wasserspeichern selbst.

Um die Trinkwasserversorgung der Pariser Bevölkerung sicherzustellen, hat Sagep dementsprechend die Verstärkung und Ergänzung des vorhandenen Systems in Form neuer Transitleitungen mit großem Durchmesser in Angriff genommen. Die Abwicklung dieses LIRE-Projektes (LIRE = Liaison Inter Réser-

voir d'Eau, Verbindungen zwischen Wasserspeichern) ist für den Zeitraum von 1997 bis 2003 geplant. Zwei Abschnitte sind vorgesehen :

- LIRE Sektor Süd (geplant für 1998 bis 2002). Es soll eine Leitung mit NW 1400 mm und 1200 mm im Bereich des 15. und 16. Arrondissements von Paris über ca. 4 km gebaut werden, die zu über der Hälfte in einem in sehr großer Tiefe unterhalb der Seine verlaufenden Stollen mit 3 m Durchmesser verlegt wird.
- LIRE Sektor Ost (seit Februar 1997 begonnen - geplanter Abschluß Juni 1999). Hierbei handelt es sich um die Verbindung zweier großer Wasserspeicher im Pariser Osten durch folgende Leitung :
  - NW 1500 mm über 160 m abgeteufte Länge,
  - NW 1200 mm über 900 m Länge in einem kreisförmigen Stollen mit 3,08 m Durchmesser, der in einem Kalkmergelboden mittels Tunnelbohrmaschine gegraben wird.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Nuevos conductos de agua de gran diámetro en París. El proyecto LIRE

*A. Perillat, G. Lebaigue, Fr. Maquennehan y P. Thoreau*

La estructura de la red de alimentación de agua de París, así como aquella de los medios de producción asciende al período comprendido entre 1855 y 1900. Los proyectistas de esta red expresaron sus deseos de implantar un doble cinturón para constituir una red estructurante protegida entre :

- las plantas de producción y los depósitos de aguas,
- los depósitos de aguas propiamente dichos.

Por consiguiente, la Sagep, preocupada por garantizar la alimentación de agua de los parisienses ha estudiado el refuerzo y el complemento del sistema existente, debido a la implantación de nuevos conductos de tránsito de gran diámetro. Así, entre 1997 y 2003 se llevará a cabo el proyecto LIRE (Enlaces entre Depósitos de Agua). Se han proyectado dos tramos :

- LIRE Sector Sur (programa para el período 1998-2002) que tiene por objeto el tendido de un conducto de DN 1400 mm y 1200 mm en el sector de los distritos XV y XVI, o sea, aproximadamente 4 km, de los cuales más de la mitad en una galería de 3 m de diámetro situada a gran profundidad, que está llamada a pasar bajo el río Sena.
- LIRE Sector Este (iniciado en febrero de 1997, y terminación prevista para junio de 1999). Se trata de poner en comunicación dos grandes depósitos del Este de París, por medio de un conducto de :
  - 1500 mm de diámetro nominal (DN) con 160 metros tendidos por hinca ;
  - 1200 mm de DN sobre un tramo de 900 m, tendido en una galería circular de 3,08 m de diámetro excavada mediante tunelero, en un terreno de margas suprayesosas.

# Saint-Cassien (Alpes-Maritimes)

## Pose de grosses canalisations dans un site difficile

**Le groupement d'entreprises GTM - Bœuf et Legrand a participé à l'aménagement de l'approvisionnement en eau potable du Syndicat Intercommunal des Communes alimentées par les canaux de la Siagne et du Loup (SICASIL) à Saint-Cassien (06).**

**Le groupement a réalisé une canalisation acier de 7 200 ml en diamètre 1 100 mm avec pression d'essais à 35 bars.**

**Cette conduite est établie dans un site difficile avec des contraintes nombreuses et variées d'ordre : administratives, écologiques, urbaines, topographiques (très fortes pentes, traversées de rivières, zones inondables) et sur des terrains très hétérogènes (matériaux alluvionnaires, argileux, rocheux).**

### ■ UN GRAND PROJET D'AMÉNAGEMENT

Le Syndicat Intercommunal des Communes alimentées par les canaux de la Siagne et du Loup (SICASIL) a réalisé un important aménagement pour son approvisionnement en eau potable. Ce projet considérable a nécessité la construction de plusieurs ouvrages :

- ◆ une prise d'eau brute dans la retenue de Tanneron, sur la commune du Tignet;
- ◆ une canalisation d'amenée de l'eau brute à l'usine de traitement;
- ◆ l'usine de traitement de l'Apié, sur la commune de Peymeinade;
- ◆ un réseau de distribution de 17 km en direction des communes concernées (Ø 600 à Ø 1 100);
- ◆ 2 grands réservoirs de 10 000 m<sup>3</sup> : Pigranel et Ranguin.

Quatre préoccupations sont à l'origine de ce projet :

- ◆ le doublement des besoins en eau potable pendant la saison estivale;
- ◆ la croissance régulière de la consommation courante, liée au développement de la région;
- ◆ la mise en sécurité de la ressource en eau par création d'une ressource de secours;
- ◆ l'optimisation des ressources en eau de la région, celles-ci devenant rares.

Dans cet article nous nous intéresserons plus particulièrement aux ouvrages de canalisation et précisément à la conduite d'adduction de 7 200 ml d'acier Ø 1 100 mm, représentant un investissement de 70 millions de francs.

Avant de développer ce sujet, il est utile de rappeler les principales caractéristiques de l'usine de traitement d'eau potable de l'Apié.

### ■ L'USINE DE L'APIÉ

Construite par Lyonnaise des Eaux pour le SICASIL, l'usine intègre, à grande échelle, les dernières innovations technologiques en matière de traitement de l'eau. L'eau brute, de bonne qualité naturelle, est captée au niveau du barrage du Tanneron, situé sur la rivière de la Siagne, en aval du lac de Saint-Cassien. L'usine met en œuvre le procédé de l'ultrafiltration, sans produit chimique, parfaitement adapté au traitement de cette eau de surface.

Ce sont ainsi 52 000 m<sup>3</sup> d'eau potable d'excellente qualité qui sont distribués chaque jour dans les réseaux du SICASIL (figure 1).

### ■ LES OUVRAGES DE CANALISATION

Ils sont constitués de tuyaux en fonte ductile (3 000 ml Ø 150 et 3 750 ml Ø 900) et de tubes en acier (700 ml Ø 400, 4 100 ml Ø 600, 700 ml Ø 1 000 et 7 200 ml Ø 1 100). Ces équipements sont gérés par deux maîtres d'ouvrage, le client d'une part (le SICASIL), le concessionnaire des ouvrages et de la distribution de l'eau d'autre part (la Lyonnaise des Eaux). La maîtrise d'œuvre a été assurée par la société Hydratec. La conduite de l'opération a été placée sous le contrôle de la Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt. Les travaux ont été confiés à un groupement d'entreprises GTM - Bœuf et Legrand.

#### De multiples contraintes

Lors de la réalisation de la conduite d'adduction de 7 200 ml d'acier en diamètre 1 100 mm, les

**Philippe Brault**  
DIRECTEUR DE L'AGENCE  
GRANDS TRAVAUX  
Bœuf et Legrand

**Alain Girka**



DIRECTEUR  
DU DÉVELOPPEMENT  
Bœuf et Legrand



**Figure 1**  
Usine de l'Apié et barrage de Tanneron  
Apié plant and Tanneron dam



**Photo 3**  
**Pose de canalisations**  
**dans des zones très pentues**  
*Placing of piping*  
*in steep slope zones*



**Photo 1**  
**Réalisation des berlinoises**  
*Berlin-type structures*



**Photo 2**  
**Blindage par havage**  
*Sheathing*  
*and trenching*

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Conduite de l'opération**

Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt

### **Maîtres d'ouvrage**

- SICASIL
- Lyonnaise des Eaux

### **Maîtrise d'œuvre**

Hydratec

### **Entreprises**

Groupement GTM - Bœuf et Legrand

contraintes ont été nombreuses, d'origine administrative, écologique, parfois liées à la localisation des travaux en zone urbaine encombrée ou sous chemin départemental en présence d'un trafic important. La nature très hétérogène des sols rencontrés, la topographie particulièrement accidentée des lieux, ainsi que les traversées de rivières ont contribué aux difficultés de ce chantier.

### **Contraintes administratives : l'obtention des autorisations**

L'étude du chantier a impliqué de nombreuses autorisations administratives, du département, des communes et des particuliers.

M. Barelli de la Lyonnaise des Eaux, commente "*le gros des problèmes administratifs est traité en amont et la Lyonnaise des Eaux définit le tracé en fonction des contraintes qui lui sont imposées. Elle gère les négociations au niveau du département des Alpes-Maritimes, des communes et des particuliers. Il est quelquefois plus facile de régler les problèmes d'autorisation en amont en modifiant le tracé. Au fur et à mesure que le chantier avance, certains particuliers émettent quelques réticences en voyant la grosseur des conduites dans leur propriété. Il faut les persuader que les matériaux utilisés sont de très bonne qualité et qu'ils ne craignent rien au niveau des ruptures de canalisations*".

L'obtention progressive des autorisations administratives, les changements de tracés conduisent l'entreprise à intervenir sur des sites de travaux

dispersés les obligeant à une grande souplesse dans la mise à disposition de ses moyens en personnel et en matériel.

### **Contraintes écologiques**

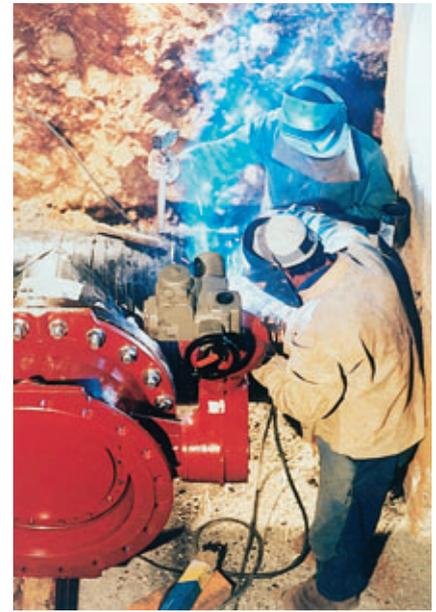
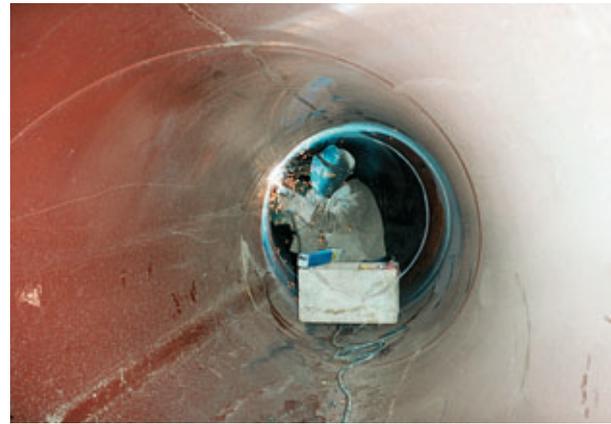
Une attention particulière a été apportée dans les zones forestières. Le minimum d'arbres ont été abattus, certains déplacés dans la mesure du possible, d'autres protégés pendant les travaux pour éviter les blessures des troncs. Des reboisements ont été effectués. Certains passages de canalisations ont été aménagés en coupe-feu et parfois en piste pour les pompiers.

L'ensemble de ces travaux étant réalisés sous le contrôle de l'Office National des Forêts (ONF).

### **Zones urbanisées**

Dans de nombreux cas, l'étroitesse des rues et des ruelles, les grandes profondeurs, la proximité des constructions, l'encombrement du sous-sol, la dimension des tuyaux ne permet plus un travail de canalisation classique (ouverture de tranchée, blindage, pose). Il faut :

- ◆ déposer les réseaux existants eau, assainissement, gaz, électricité, Télécom ;
- ◆ établir des réseaux provisoires pour maintenir le service ;
- ◆ trouver des solutions adaptées pour assurer la sécurité, la protection du personnel, des riverains, des ouvrages et constructions existantes, l'utilisation des blindages classiques n'étant pas pos-



**Soudure intérieure  
sur diamètre 1100**  
*Internal welding  
on 1,100-mm  
diameter*

**Pose de coude  
sur conduite  
de diamètre 1100**  
*Placing a 1,100-mm  
diameter  
pipe elbow*

**Réalisation de raccordement  
dans une chambre  
de vannes**  
*Making a connection  
in a valve chamber*

sible ou insuffisant. A titre d'exemple : réalisation de berlinoises constituées de profilés métalliques battus dans le sol avant ouverture de la tranchée puis mise en place à l'ouverture de madriers ajustés entre profilés au fur et à mesure de l'avancement des terrassements (photo 1).

#### **Zones de forte circulation**

Le tracé a emprunté des chemins départementaux recevant un trafic dense sans possibilité d'établir des déviations de circulations. Les travaux se réalisent sous une voie à proximité immédiate de la circulation; celle-ci se faisant par feux alternés sur l'autre voie.

#### **Terrains très hétérogènes**

Sur l'ensemble du parcours se sont succédées des zones de type :

- ◆ matériaux alluvionnaires ;
- ◆ argileuse ;
- ◆ rocheuse en forêt avec forte pente et accès difficile nécessitant un préminage ;
- ◆ rocheuse en zone urbanisée, l'extraction se faisant en brise-roche ;
- ◆ vaseuse à proximité des rivières. Dans ce cas, le terrassement est réalisé à l'intérieur des panneaux de blindage que l'on fait descendre par havage (photo 2).

#### **Topographie difficile**

Les très fortes pentes rencontrées ont imposé des

solutions particulières à chaque cas. De très nombreuses pistes ont été nécessaires pour accéder à différents points du tracé. L'acheminement des tuyaux s'est fait à l'aide d'un "traîneau" qui a été conçu et réalisé pour la circonstance.

Les terrassements ont été exécutés dans la roche à partir de différentes plates-formes de travail et la pose, parfois, à l'aide de grue très puissante (photo 3).

#### **Traversées des rivières**

Ce sont des points délicats. Il n'y a pas, là non plus, de technique universelle : il faut s'adapter au terrain. Dans le premier cas, la déviation du lit de la rivière a été possible.

Dans le second, nous avons procédé par demi-traversée avec batardeau central puis un pompage important.

La canalisation a été posée en tranchée dans le lit de la rivière et protégée par un enrobage en béton.

#### **Inondations**

Le chantier a subi de gros dégâts suite aux nombreux orages. Tout particulièrement celui du mois de juin, où nos installations et notre base vie ont été entièrement détruites n'occasionnant heureusement que des dégâts matériels.

Les traversées de la Siagne ont souvent été rendues délicates par les lâchages d'eau du barrage du Tanneron provoquant par leur puissance l'endommagement de nos batardeaux.

### **LES PRINCIPALES QUANTITÉS**

- Canalisations acier Ø 1100 mm : 7200 ml
- Profondeur moyenne 3 ml avec de nombreux passages à plus de 5 ml
- Extraction de rocher au BRH : 3800 m<sup>3</sup>
- Extraction de roche à la mine : 1500 m<sup>3</sup>
- Création de piste : 1200 ml
- Pression d'essai : 30 bars



## CONCLUSION

Ce chantier de 7 200 ml a présenté sur l'ensemble de son parcours des particularités et des difficultés nombreuses.

Celui-ci a nécessité une préparation importante et un suivi permanent qui a mobilisé l'ensemble des participants, nécessitant la présence d'encadrement et d'équipes expérimentées et performantes des entreprises. La réussite a été possible par l'excellente collaboration de tous les participants.



Vue d'ensemble  
Overall view

## ENGLISH SUMMARY

**Saint-Cassien (Alpes-Maritimes region)**  
**Placing of large-diameter piping in a difficult site**

*Ph. Brault, A. Girka*

The GTM - Bœuf et Legrand consortium took part in the rehabilitation of the drinking water supply system of the SICASIL (inter-communal agency of communes supplied by the Saigne and Loup canals) at Saint-Cassien (Alpes-Maritimes region).

The consortium placed a steel pipeline 7,200 m long and 1,100-mm in diameter with a test pressure of 35 bars. This pipeline was placed in a difficult site with many and varied constraints of an administrative, ecological, urban and topographical nature (very steep slopes, crossed by rivers, flood zones) and on very heterogeneous terrain (alluvial, clayey, rocky materials).

## DEUTSCHES KURZREFERAT

**Saint-Cassien (Departement Alpes Maritimes). Verlegung von Großleitungen in einem schwierigen Umfeld**

*Ph. Brault, A. Girka*

Die Arbeitsgemeinschaft GTM - Bœuf et Legrand hat an der Neugestaltung des Trinkwassernetzes des Wasserzweckverbandes der aus den Siagne-Kanälen und dem Loup-Fluß versorgten Gemeinden (SICASIL) in Saint Cassien mitgewirkt.

Die Arbeitsgemeinschaft hat eine 7 200 Linearmeter lange Stahlleitung mit 1 100 mm Durchmesser und einem Prüfdruck von 35 bar gebaut.

Das Umfeld dieser Baumaßnahme war durch zahlreiche und vielfältige Schwierigkeiten gekennzeichnet : Vorgaben administrativer, ökologischer, urbaner, topographischer (starke Neigung, Flußdurchquerung, Überschwemmungsgebiete) Art und ein sehr heterogener Untergrund (Schwemmland, Ton- und Felsenmaterial).

## RESUMEN ESPAÑOL

**Saint-Cassien (Alpes-Maritimos)**  
**Tendido de grandes canalizaciones en un emplazamiento difícil**

*Ph. Brault y A. Girka*

La agrupación de empresas constructoras GTM - Bœuf et Legrand ha participado en las obras de aprovisionamiento de agua potable del Ente Intermunicipal de los Municipios alimentados por los Canales del Siagne y del Loup (SICASIL) de Saint-Cassien (departamento de los Alpes Maritimos) Esta agrupación ha realizado las obras correspondientes a una canalización de acero de 7 200 metros y de un diámetro de 1 100 mm con presión de pruebas de 35 bares.

Este conducto se ha tendido en un entorno difícil con numerosos imperativos y diversos, de carácter : administrativo, ecológico, urbano, topográfico (pendientes muy acusadas, travesías de ríos, áreas inundables) y todo ello en terrenos sumamente heterogéneos (materiales aluviales, arcillosos y rocosos).

# La station de production d'eau potable de Méry-sur-Oise

## L'extension à 340 000 m<sup>3</sup>/jour

**Jean-Louis Charvet**  
CHEF DE SECTEUR DTPIDF  
Campenon Bernard SGE

**Michel Ramet**  
DIRECTEUR TRAVAUX  
Campenon Bernard SGE

**Pierre Margier**  
INGÉNIEUR ETUDES  
Campenon Bernard SGE



L'extension de l'usine de production d'eau potable de Méry-sur-Oise comprend la réalisation d'ouvrages à vocation hydraulique en partie enterrés. Ces installations reçoivent une technologie nouvelle de filtration : la nanofiltration, pour l'amélioration de la qualité de l'eau potable. Campenon Bernard SGE, mandataire de deux lots sur les trois que comporte l'extension, a proposé une variante économique de construction en réalisant les ouvrages à l'abri de parois moulées servant à la fois d'enceinte étanche en phase provisoire, de fondations porteuses et de parois définitives. Les besoins nouveaux liés à la mise en place d'une technique inédite ont imposé un phasage des travaux souple et évolutif entre génie civil, second œuvre et montage des équipements afin de respecter les délais.



Photo 1  
Maquette de l'extension  
(tranches 1 et 2)

Model of the extension  
(parts 1 and 2)

L'extension de l'usine de production d'eau potable de Méry-sur-Oise se compose de trois lots : un premier lot dit "pré-traitement", un second lot nommé "affinage et ouvrage de liaison", un troisième lot, enfin, intitulé "post-traitement" (photo 1).

Le contrat pour les deux premiers lots a été notifié à Campenon Bernard SGE (CB SGE) par le Syndicat des Eaux d'Île-de-France (SEDIF) le 2 mai 1996. La première tranche s'est achevée dans les délais le 31 octobre 1997. Elle concerne un bâtiment de décantation et un autre de filtration classique (un ensemble de dix filtres) pour lesquels CB SGE est l'entreprise générale qui dirige le chantier (photo 2).

La deuxième tranche a été confiée à un groupement d'entreprises comprenant CB SGE et Spie Citra à parts égales, et dont CB SGE est le mandataire. Celle-ci devra s'achever fin juillet 1998 par la livraison de six ouvrages de génie civil : un bâtiment pour les pompes de préfiltration et la distribution électrique, un bâtiment contenant la bache de relèvement, un autre pour la nanofiltration, un suivant pour les traitements chimiques effectués sur l'eau, et enfin deux locaux abritant les transformateurs (photo 3). A cela s'ajoutent des ouvrages de liaison sous forme de canalisations de gros diamètre (900 et 1500 mm) actuellement en cours de réalisation. Fondés sur pieux, ils sont destinés à faire transiter l'eau d'un bâtiment à l'autre avant



Photo 2  
Extension tranche 1.  
Bâtiment des filtres  
(couverture  
en coque polyester)

Extension part 1.  
Filter House :  
Polyester shell roofing



Photo 3  
Extension tranche 2.  
Au premier plan : galerie centrale  
de la nanofiltration. Au deuxième  
plan : bache et préfiltres  
(terrassment 1.º phase  
et réalisation des plots centraux  
du radier)

Extension part 2. Front :  
nanofiltration central gallery.  
Rear : Water tank and pre-filters  
(first stage earthworks and raft  
central part)

## LA NANOFILTRATION EN UNE SEULE LEÇON

10 000 fois plus fin qu'un cheveu : telle est la taille des pores des membranes de filtration et d'affinage de l'eau qui vont être mises en place à Méry-sur-Oise. Cette extrême finesse permet de retenir toutes les particules, y compris les plus difficiles à éliminer comme les pesticides. A la sortie du circuit de filtration, l'eau, qui a été pulsée à haute pression dans de longs cylindres, est débarrassée de ses impuretés microscopiques comme les virus, les bactéries mais aussi, en partie, des corps minéraux comme le calcaire. Avec cette nouvelle méthode de traitement des eaux, le chlore n'est nécessaire en sortie d'usine qu'à très petite dose. Le consommateur peut ainsi bénéficier d'une eau sans odeur ni goût désagréable puisqu'elle ne se dégrade plus pendant son acheminement vers les robinets. Les machines à laver, les cafetières sont aussi épargnées par cette véritable "eau de source".

Ce procédé révolutionnaire ne supprime cependant pas les anciens procédés de traitement de l'eau potable, mais s'ajoute en complément des méthodes traditionnelles. Testé depuis plusieurs années dans la petite ville d'Auvers-sur-Oise, sous la surveillance des autorités d'hygiène publique, le procédé de nanofiltration s'est aussi fait quelques ennemis : les supermarchés et les restaurateurs qui ne vendent plus d'eau minérale aux habitants de la cité chère à Van Gogh !

## LE CHANTIER EN CHIFFRES

Pour les deux premières tranches confondues, il a fallu :

- 22 000 m<sup>3</sup> de béton
- 50 000 m<sup>2</sup> de coffrage
- 2 400 t d'armatures d'aciers
- Effectifs : de 40 à 80 personnes sur la première tranche, de 35 à 80 pour la seconde tranche



de la renvoyer dans le réseau, porteuse de la mention "Bon à consommer". La troisième tranche a été adjugée à un groupement d'entreprises composé de Bouygues et de Quillery.

## ■ UNE USINE PIONNIÈRE

Le syndicat de l'Eau d'Île-de-France, qui approvisionne près de 4 millions d'habitants entend faire face aux besoins croissants en eau potable de 800 000 foyers des banlieues nord et nord-ouest de la région parisienne. Cette extension doit amener la station de Méry, qui puise sa matière première dans l'Oise, à traiter un volume d'eau de 340 000 m<sup>3</sup>/jour contre 220 000 m<sup>3</sup>/jour actuellement, ce qui permettra d'alimenter 22 communes avoisinantes et de secourir une des deux autres stations de production d'eau potable gérées par la Compagnie Générale des Eaux en région parisienne (Choisy-sur-Seine et Neuilly-sur-Marne) en cas de pollution. Mais l'enjeu est surtout d'améliorer considérablement la qualité puis la non-dégradation de l'eau dans les canalisations au cours de son transport jusqu'au consommateur, par l'utilisation d'une technologie nouvelle inédite en France, existant néanmoins depuis 4 ans déjà, au stade expérimental à Auvers-sur-Oise : la nanofiltration (voir encadré).

## ■ DES CONDITIONS DE SOL DIFFICILES

L'usine présente une caractéristique technique particulière de construction, avec l'utilisation de parois moulées pour les fondations des bâtiments. "Cette technique nous a permis de proposer une solution économique qui a été acceptée par le maître d'ouvrage", explique Michel Ramet, directeur des Travaux, alors que les ouvrages étaient initialement prévus fondés sur pieux, les soutènements provisoires étant réalisés en palplanches.

Les parois moulées assurent trois fonctions majeures particulièrement adaptées à ce type de construction : en effet, en plus de servir d'écran étanche en phase provisoire, face à un sol détrempe en permanence (l'Oise est à quelques mètres seulement), elles jouent un rôle de fondations porteuses et permettent de se substituer à des parties de structure car servant de paroi définitive des ouvrages (photo 4). Ainsi, seul, un enduit de finition de 5 cm d'épaisseur est rapporté sur les parois moulées ; l'exécution de ces dernières ayant été particulièrement soignée, les hors-profilés ont été inférieurs à 5 cm : il n'y a donc pas eu lieu de procéder à des "robotages". L'accrochage des radiers sur les parois est assuré par forage et scellement de barres de ferrailage horizontales en attente, réalisé à l'aide d'un mortier de résine bi-composant

Hilti HY 150. Jamais utilisées pour ce type d'ouvrage, les parois moulées devaient faire école car, outre le terrassement en toute sécurité à l'abri d'enceintes massives butonnées, elles ont permis, pour la construction de la première tranche, de réduire les délais de 22 à 16 mois, soit 6 mois de gagnés sur les délais initiaux.

## ■ DES MATÉRIAUX PRENANT EN COMPTE LA FONCTION HYDRAULIQUE DES OUVRAGES

L'étanchéité des ouvrages hydrauliques destinés à la production d'eau potable se devant d'être parfaite, les mesures suivantes ont été adoptées :

◆ pour les bétons des ouvrages hydrauliques de l'usine il a été procédé, en accord avec le maître d'œuvre, à la limitation du dosage en ciment à 350 kg/m<sup>3</sup>, afin de diminuer la microfissuration lors du retrait. Les bétons pompés utilisés sont de qualité : B25 à prise lente (CLC) pour les fondations, B30 pour le reste ;

◆ l'étanchéité des ouvrages hydrauliques est réalisée par les bétons de structure eux-mêmes, sur lesquels on rapporte un complément d'étanchéité par application d'un micro-mortier, suivant le procédé de cristallisation (produits Spie-Penetrad et Spie-Fuge).

## ■ UN CHANTIER ÉVOLUTIF

"L'évolution des besoins du client suscite une constante concertation avec lui et implique aussi une mise au point permanente des plans ainsi que des contraintes de coordination supplémentaires" explique Jean-Louis Charvet, responsable de secteur à la direction Île-de-France. Il s'agit en effet d'installer de nombreux éléments de 3 x 6 m destinés à filtrer l'eau par le nouveau système dans des bâtiments qui ne sont pas encore hors d'air ni hors d'eau. "Nous avons entrepris les travaux de second œuvre comme la pose du carrelage, avant que ne soit terminée la construction des bâtiments" précise Michel Ramet.

Campenon Bernard SGE s'est systématiquement adaptée aux besoins évolutifs du client, en fonction des problèmes de mise au point des équipements hydrauliques et électriques, liés à la nouvelle technologie. C'est par exemple le cas avec les membranes cylindriques en polymères utilisées en nanofiltration et qui filtrent l'eau envoyée sous haute pression : elles sont nettoyées à l'acide, ce qui impose l'usage de matériaux spécifiques et résistants comme l'inox pour les ouvrages de tuyauterie, le polyester pour les caillebotis, et les carrelages anti-acide sur les murs et le sol.

Ce souci d'adaptation des entreprises a permis



Photo 4

Extension tranche 2. Bâches et préfiltres : butonnage des parois moulées sur les plots centraux du radier. Au 2<sup>e</sup> plan : le bâtiment nanofiltration en cours de construction

Extension part 2. Water tank and pre-filters : strutting of the diaphragm wall on the raft central part. Rear : Construction of the nanofiltration building

que, dès le 14 novembre dernier, les travaux de réalisation du génie civil des deux ouvrages de clarification d'eau pour la décantation, l'ozonation et la filtration soient réceptionnés par le Sedif et la Compagnie Générale des Eaux à la satisfaction du client. Le génie civil de la deuxième tranche, quant à lui, a été réceptionné le 31 mai 1998, à l'exception du bâtiment Chimie dont la réception a eu lieu le 30 juin 1998.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maitre d'ouvrage

Syndicat des Eaux d'Île-de-France (Sedif)

### Maitre d'œuvre

Compagnie Générale des Eaux (Vivendi-CGE)

### Contrôle des études

Socotec

### Entreprises

#### Tranche 1

- Campenon Bernard SGE

#### Tranche 2

- Campenon Bernard SGE (mandataire)
- Spie-citra

#### Tranche 3

- Bouygues
- Quillery

#### Travaux tranches 1 et 2

- Chef de secteur : J.-L. Charvet
- Directeur travaux : M. Ramet
- Conducteur travaux : Y. Conchon

#### Sous-traitants gros-œuvre tranches 1 et 2

- Spie Fondations (pieux)
- Botte BTP (parois moulées)

#### Etudes d'exécution tranche 2

- Campenon Bernard SGE (I. Hary) pour les bâtiments bâche et pompes préfiltres
- Spie Citra (M. Billangeon) pour les bâtiments nanofiltration et chimie

## ENGLISH SUMMARY

The drinking water production station of Méry-sur-Oise. Extension to 340,000 cu. m. per day

J.-L. Charvet, M. Ramet, P. Margier

The extension of the Méry-sur-Oise drinking water production station includes partly buried hydraulic structures. These installations are based on a new filtration technology (nanofiltration) for improved drinking water quality. Campenon Bernard SGE, awarded two job sections of the three involved in the extension, proposed a economical construction variant using structures within diaphragm walls serving as a waterproof enclosure in the provisional phase, as load-bearing foundations and as final walls. The new requirements relative to the use of an original technique called for flexible and adaptable work phasing between the civil engineering, finishing works and erection of equipment in order to meet the deadlines.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

Trinkwasserwerk Méry-sur-Oise. Ausbau der Produktion auf 340 000 m<sup>3</sup> pro Tag

J.-L. Charvet, M. Ramet, P. Margier

Die Erweiterung des Trinkwasserwerkes in Méry-sur-Oise umfaßt den Bau von teilweise unterirdisch errichteten Anlagen mit hydraulischer Aufgabenstellung. Eine neue Filtertechnologie, die Nanofiltration, wird hier zur Verbesserung der Trinkwasserqualität eingesetzt. Campenon Bernard SGE, dem für zwei der drei Baulose der Erweiterungsmaßnahme der Zuschlag erteilt worden ist, hat eine wirtschaftlich günstige Bauvariante angeboten, und zwar die Errichtung von Schlitzwänden, die in der Übergangszeit als dichte Einfassung, dann als Tragfundamente und als endgültige Seitenwände dienen. Der neue Bedarf im Zusammenhang mit der Implementierung einer innovierenden Technik hat einen flexiblen und anpassungsfähigen Phasenablaufplan zwischen Tiefbau, Ausbaugewerk und Montage der Ausrüstungen erforderlich gemacht, um die Termine einhalten zu können.

## RESUMEN ESPAÑOL

La estación de producción de agua potable de Méry-sur-Oise. Ampliación para obtener 340 000 m<sup>3</sup> diarios

J.-L. Charvet, M. Ramet y P. Margier

La ampliación de la planta de producción de agua potable de Méry-sur-Oise incluye la ejecución de estructuras de tipo hidráulico, en parte ejecutadas bajo tierra. Estas instalaciones incluyen una tecnología reciente de filtración : la nanofiltración, para mejorar la calidad del agua potable. Campenon Bernard, empresa encabezadora para dos lotes de los tres correspondientes al proyecto de ampliación, ha propuesto una variante económica de construcción para la ejecución de las estructuras al resguardo de pantallas continuas, que sirven simultáneamente de recinto hermético y la etapa provisional de cimientos portadores y de paredes definitivas. Las nuevas necesidades relacionadas con la implementación de una técnica inédita han precisado fases de obras adaptables y evolutivas entre obras de ingeniería civil e instalación de los equipos, con objeto de respetar puntualmente los plazos impartidos.

# Le réservoir d'eau

Le réservoir de Montsouris est un des premiers réservoirs d'eau potable à Paris, construit en 1874. L'ossature est constituée par de la maçonnerie en meulière. Dès la mise en eau le réservoir s'est fissuré sous l'effet des variations de charge d'eau et sous l'effet thermique. Le radier était recouvert de calcaire. En dehors des zones fissurées, le calcaire assure un rôle d'agent d'étanchéité. Cette protection naturelle par le calcaire a aujourd'hui tendance à disparaître sous l'effet des produits de nettoyage du réservoir qui ont des PH très acides. Le présent marché concerne la restauration de l'étanchéité, il comprend :

- le décapage de la calcite qui a été fait par échauffement au moyen d'un chalumeau ;

- le complexe d'étanchéité. Celui-ci est constitué d'un liant hydraulique armé d'un géotextile. Le produit constitué de deux parties, une poudre et un liquide à base de résines, est malaxé et ensuite projeté sur le support. Avant l'application du complexe le support est nettoyé et minéralisé.

## DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE

Le réservoir de Montsouris est l'un des premiers réservoirs d'eau potable à Paris construit en 1874. Sa capacité totale est de 202591 m<sup>3</sup>, il est constitué de deux étages, chaque étage est divisé en deux compartiments, un compartiment est et un compartiment ouest.

Un radier général est fondé sur puits maçonnés constituant une assise pour des appuis reliés entre eux par des voûtes maçonnées. Un voile périphérique forme un mur poids de 2 à 4 m d'épaisseur, pour assurer une forme générale parallélépipédique (en U).

L'ossature est constituée par de la maçonnerie en meulière, l'étanchéité de l'ouvrage est assurée par l'application sur les maçonneries, d'un mortier enrichi en ciment, d'une dizaine de centimètres d'épaisseur.

Une couverture mince ferme la cuve, elle est supportée par des files de poteaux espacés de 4 m. Les files de poteaux de rive sont pratiquement collées en voile périphérique, laissant un espace restreint de 3 à 7 cm.

Dès la mise en eau le réservoir s'est fissuré sous

l'effet des variations de charge d'eau et sous l'effet thermique.

Des travaux ont été entrepris pour traiter ponctuellement les fissures par injection du brai de houille ou du coulis de mortier. Le support du radier était recouvert de calcaire d'épaisseur variable allant de quelques microns à plusieurs centimètres. En dehors des zones fissurées, le calcaire assure un rôle d'agent d'étanchéité et de protection du support en mortier de ciment, étanche à l'eau mais pas à la vapeur. Cette protection naturelle par le calcaire, accumulée depuis le début de l'exploitation de l'ouvrage a aujourd'hui tendance à disparaître sous l'effet des produits de nettoyage du réservoir qui ont des PH très acides.

## OBJET DU MARCHÉ

Le présent marché concerne la restauration de l'étanchéité du compartiment ouest du réservoir de Montsouris, il comprend :

- ◆ le décapage de la calcite ;
- ◆ le traitement des fissures existantes ;
- ◆ le traitement des surfaces courantes (figure 1 et tableau I).

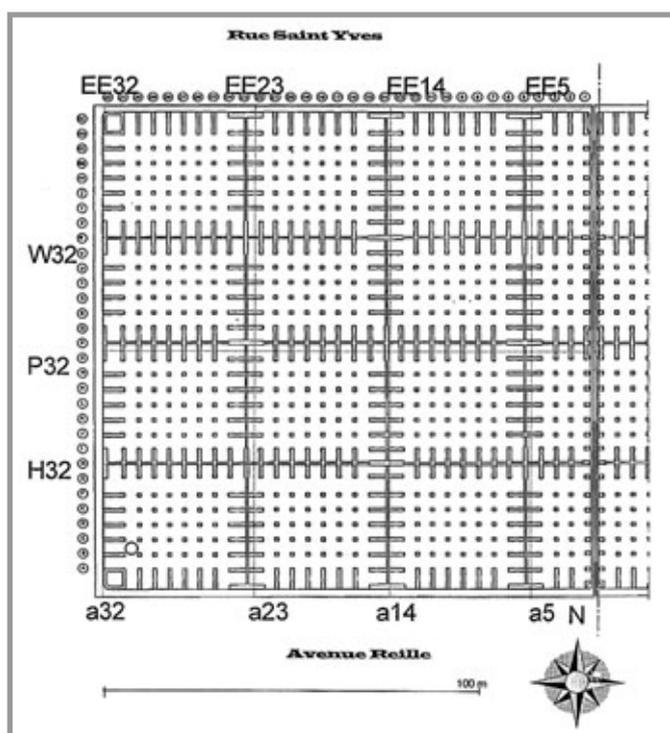


Figure 1  
Vue en plan de l'ensemble  
Overall plan view

Tableau I  
Grandeurs géométriques du compartiment  
Geometrical parameters of the compartment

Grandeurs		Unités
Longueur	127,50	m
Largeur	126,50	m
Surface horizontale brute	16 129	m <sup>2</sup>
Surface des poteaux	806	m <sup>2</sup>
Surface des relevés d'étanchéité	588	m <sup>2</sup>
<b>Surface de radier à traiter</b>	<b>16 000</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
Pente du radier	0,50	%
Hauteur d'eau maximum	3,05	m
Hauteur d'eau minimum	2,40	m
Hauteur du traitement	3,15	m
Périmètre à traiter	711	m
<b>Surfaces verticales à traiter</b>	<b>2 240</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

# de Montsouris

**Nicolas Tsoumas**



**CONDUCTEUR  
DE TRAVAUX  
Chantiers Modernes**

Photos : Chany SARL

## ■ DESCRIPTION DES TRAVAUX

### Décapage de la calcite

Plusieurs moyens ont été testés pour pouvoir supprimer le dépôt du calcaire d'une épaisseur variable de 1 à 30 mm.

Le traitement thermique a été également testé et retenu pour le décapage de la calcite.

Il consiste à chauffer la surface à décaper à l'aide d'un chalumeau (photo 1).

L'échauffement provoque un décollement par éclatement de carbonate de calcium sans que la structure de base de l'ouvrage ne soit altérée.

## ■ TRAITEMENT DES FISSURES EXISTANTES

Création de fentes dans le bouchon de mortier qui recouvre la précédente réparation, pour recréer un volume de dilatation pour le brai de houille placé en sous-couche.

Ces fentes ont été remplies par un joint mousse souple afin de conserver le joint de dilatation.



**Photo 1**  
**Décapage**  
**de la calcite**  
*Stripping of calcite*

## ■ LE TRAITEMENT DES SURFACES COURANTES

### Les produits

- ◆ Minéralisant : K1 de la société Kristo ;
- ◆ Mortier hydraulique : K2 de la société Kristo ;
- ◆ Géotextile : Bidim Géosyntetics.

Un plan d'assurance qualité a été mis en place afin de vérifier la traçabilité des composants, puis des produits finis depuis la livraison des matières premières chez le fabricant jusqu'à la zone d'application des produits dans le réservoir.

Chaque composant du produit livré a fait l'objet d'un prélèvement et analyse par le laboratoire. Après approbation du laboratoire et mise en œuvre du produit, le laboratoire a effectué des contrôles sur le complexe mis en place (tableau II).

## ■ LES TRAVAUX

Minéralisation du support après décapage de la calcite avec le produit K1. Ce produit en forme liquide est destiné à consolider le support avant application du revêtement d'étanchéité.

OPERATION (Entreprise)	CONTROLE (Bureau de contrôle)
Décapage du dépôt calcaire et nettoyage	<b>Réception du support</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohésion du support avant préparation</li> <li>• Cohésion du support après préparation</li> <li>• Prélèvement d'échantillons pour observation en lame mince</li> <li>• Prélèvement d'échantillons pour DRX (Analyse minéralogique par diffraction des rayons X)</li> </ul>
Minéralisation du support (solution B)	<b>Réception du support</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohésion du support après minéralisation</li> <li>• Prélèvement d'échantillons pour observation en lame mince</li> <li>• Prélèvement d'échantillons pour DRX</li> </ul>
Préparation du complexe d'étanchéité et mise en place de la première couche par projection	<b>Essais d'adhérence à 8 jours</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prélèvement d'échantillons pour DRX à 8 jours</li> </ul> <b>Essais d'adhérence à 28 jours</b> sur une bande de 1 m de large non recouverte par la seconde couche <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prélèvement d'échantillons pour DRX à 28 jours</li> <li>• sur une bande de 1 m de large non recouverte par la seconde couche</li> </ul>
Préparation du complexe d'étanchéité et mise en place de la première couche par projection entre 4 et 8 heures après la première couche	<b>Essais d'adhérence à 8 jours</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prélèvement d'échantillons pour DRX à 8 jours</li> <li>• Prélèvement d'échantillons de produit d'étanchéité à 8 jours pour observation en lame mince (comportement du K2 entre les 2 couches)</li> </ul> <b>Essais d'adhérence à 28 jours</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prélèvement d'échantillons pour DRX à 28 jours</li> <li>• Prélèvement d'échantillons de K2 à 28 jours</li> <li>• (observations en lames minces du comportement entre les 2 couches)</li> </ul>

**Tableau II**  
**Travaux relatifs**  
**aux surfaces**  
**horizontales**  
**et verticales**  
*Works relative*  
*to the horizontal*  
*and vertical*  
*surfaces*

**Photo 2**  
Préparation du produit  
d'étanchéité (K2)

*Preparation  
of waterproofing  
product (K2)*



**Photo 3**  
Malaxage du produit  
d'étanchéité (K2)

*Mixing  
of waterproofing  
product (K2)*



**Photo 4**  
Application du produit  
d'étanchéité (K2)

*Application  
of waterproofing  
product (K2)*



**Photo 5**  
Application du produit  
d'étanchéité (K2)

*Application  
of waterproofing  
product (K2)*



Après décapage de la calcite le support est nettoyé par aspiration et lavage et doit rester humide mais non gorgé d'eau.

Le minéralisant K1 s'applique en plusieurs passes, mélangé avec de l'eau. Il est initialement très dilué ensuite plus concentré suivant le principe :

◆ 1<sup>re</sup> application :

- 1 volume de produit K1,
- 2 volumes d'eau;

◆ 2<sup>e</sup> application :

- 1 volume de produit k1,
- 1 volume d'eau.

L'application se fait en plusieurs passes par pulvérisation à l'aide d'un pistolet *airless*. Le but du traitement étant de saturer le support au maximum, l'opération se renouvelle autant que nécessaire selon la porosité du support.

Huit jours après l'application du minéralisant, le laboratoire effectue des prélèvements, par carottage, qu'ils analysent pour confirmer la possibilité d'appliquer le complexe d'étanchéité sur le support suffisamment minéralisé.

Dans le cas d'une minéralisation insuffisante, à cause d'une porosité variable du support, l'opération de minéralisation est répétée comme précédemment.

Le complexe d'étanchéité est appliqué environ huit jours après minéralisation du support. Il est constitué par le produit K2 qui est un liant hydraulique souple et élastique, armé d'un géotextile.

Le produit K2 est composé de deux parties :

- ◆ l'une en poudre, mélange complexe de ciments, charges et adjuvants;
- ◆ l'autre liquide, mélange aqueux de résines.

Le mélange des deux parties se fait par un malaxeur de force équipé d'une série de racleurs (photos 2 et 3).

Des tests ont été effectués afin de déterminer le temps de malaxage, environ dix minutes, dans le but d'optimiser l'hydratation du produit et éviter l'échauffement anormal entraînant une polymérisation précoce.

Par la suite, le produit malaxé est appliqué par projection à l'aide d'une pompe équipée d'une vis sans fin.

Le produit est acheminé via un flexible diamètre 25 mm.

Au bout du flexible est disposé une lance de projection munie d'une buse haute pression.

Une première couche du K2 appliquée est immédiatement recouverte par le Bidim qui est marouflé en passes croisées au moyen d'un rouleau marouffleur rainuré (photos 4 et 5). Après marouflage une couche de nourrissage du Bidim est appliquée et suivie d'un lissage.

Une couche de finition est appliquée par projection avec une finition à la brosse afin de lisser le produit et obtenir une épaisseur régulière. Cette couche est appliquée 48 heures après la couche de nourrissage.

## ■ CONCLUSION

A ce jour, les travaux d'étanchéité sont terminés. La difficulté principale de ce projet a résidé dans la mise au point des procédures d'applications des produits.

L'expérience des plots d'essais a montré qu'il y a une grande différence entre l'application des produits dans un laboratoire et sur site. La dimension des ouvrages ne permet pas de reproduire avec la même rigueur les conditions thermiques, hygrométriques et mécaniques d'un laboratoire.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maitre d'ouvrage**

Sagep

#### **Maitre d'œuvre**

Sagep

#### **Groupement d'entreprises**

Chantiers Modernes – Sade

#### **Montant du marché**

14,5 millions de francs

#### **Délai global**

12 mois

## ENGLISH SUMMARY

### The Montsouris reservoir

*N. Tsoumas*

Built in 1874, the Montsouris reservoir is one Paris' first drinking water reservoirs. The structure is made up of millstone masonry. As soon as it was filled with water, the reservoir cracked under the action of water load variations and thermal effects. The floor was covered with limestone. Outside of the cracked zones, the limestone acts as a waterproofing agent. This natural protection by limestone today has a tendency to disappear under the action of reservoir cleaning products having very acid pHs. The present project involves the restoral of the waterproofing, including :

- the stripping of calcite, accomplished by heating with a blowtorch;
- the waterproofing layers, consisting of a geotextile-reinforced hydraulic binder. The product consisting of two parts, a powder and a resin-based liquid is mixed and then applied over the surface; before the application of the waterproofing layers, the surface is cleaned and mineralised.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Trinkwasserspeicher Montsouris

*N. Tsoumas*

Der 1874 gebaute Speicher Montsouris ist einer der ältesten Pariser Trinkwasserbehälter.

Seine Tragkonstruktion besteht aus einem Mahlstein-Mauerwerk. Sobald das Behälterbauwerk mit Wasser gefüllt war, hatte unter der Einwirkung der Schwankungen der Wasserlast und der thermischen Gegebenheiten die Ribbildung begonnen. Die Sohlplatte war völlig mit Kalkstein bedeckt. Außerhalb der gerissenen Bereiche spielte dieser Kalkstein eine Rolle als Dichtmittel. Unter der Einwirkung der Speicherreinigungsmittel mit stark saurem pH verschwindet dieser natürliche Schutz heute. Der vorliegende Auftrag betrifft die Wiederherstellung der Dichtigkeit und beinhaltet :

- Abbeizung des Calcitbelags durch Aufheizung mittels Schneidbrenner;
- Dichtigkeitskomplex; er besteht aus einem hydraulischen Bindemittel mit Geotextilbewehrung. Das aus zwei Komponenten, einem Pulver und einer harz-

basierten Flüssigkeit, zusammengesetzte Produkt wird gründlich vermischt und auf das Trägermaterial aufgespritzt. Vor der Komplexaufbringung wird das Trägermaterial gereinigt und mineralisiert.

## RESUMEN ESPAÑOL

### El depósito de aguas de Montsouris

*N. Tsoumas*

El depósito de aguas de Montsouris es uno de los primeros depósitos de agua potable de París, y su construcción se remonta al año 1874. La estructura está formada por una mampostería de piedra molar. Desde la puesta en carga de agua del depósito este acusó diversas fisuras bajo el efecto de las variaciones del volumen de agua y bajo el efecto térmico. La solera estaba recubierta de sedimentos de caliza, pero, aparte de las zonas fisuradas, la caliza ha constituido un agente de estanqueidad. Esta protección natural por la caliza tiene actualmente tendencia a desaparecer, debido al efecto de los productos de limpieza del depósito que presentan pH sumamente ácidos. La contrata actual se refiere a la restauración de la estanqueidad e incluye :

- el decapado de la calcita, que se ha efectuado por calentamiento mediante soplete
- el complejo de estanqueidad que está formado por un aglomerante hidráulico armado mediante una capa de geotextil. El producto está constituido por dos partes, a saber un producto en polvo y otro de líquido a base de resinas, que se mezclan y acto seguido se proyectan sobre el soporte. Ante de la aplicación del complejo, se procede a una limpieza y una mineralización del soporte.

# Réhabilitation de deux réservoirs

**Le territoire de la commune de Saint-Fargeau Ponthierry en Seine-et-Marne est alimenté en eau potable par deux réservoirs cylindriques surélevés situés à Tilly. Construits en 1976, ces ouvrages ont un diamètre extérieur de 15,2 m, une hauteur (cote prise au plus bas de l'acrotère) de 31,80 m, une hauteur d'eau de 10,15 m et affichent un volume de stockage de 1500 m<sup>3</sup> chacun. Ils souffraient de problèmes structurels et d'une mauvaise étanchéité générale.**

**La ville de Saint-Fargeau Ponthierry, représentée par son maire et le directeur des services techniques, a sollicité la Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt pour une expertise et une proposition de réparation de ces ouvrages de stockage d'eau potable.**

**A la suite d'un appel d'offres, les travaux ont été confiés à Freyssinet pour la réalisation, dans un délai d'exécution de six mois et conformément au dossier de consultation, du renforcement de la ceinture basse des structures par post-contrainte, de l'imperméabilisation de l'intrados de la coupole et de l'étanchéité de la cuve, de l'imperméabilité des façades et des relevés d'acrotères de la coupole.**

## ■ DES PROBLÈMES STRUCTURAUX

Les réservoirs de Saint-Fargeau Ponthierry souffraient d'une mauvaise étanchéité générale et de nombreuses infiltrations d'eau. Ces désordres, de type structurel, étaient principalement dus à l'absence de monolithisme des ouvrages et à l'emploi d'un béton de mauvaise compacité pendant leur construction. Les deux réservoirs comptaient de nombreuses zones de bétons hétérogènes qui, associées à la mauvaise liaison des éléments constitutifs de la paroi aux endroits mêmes où les efforts sont les plus importants, les rendaient particulièrement fragiles et perméables. Un phénomène amplifié par la présence de barres de glissement et de leurs réservations mises en place lors de la construction des ouvrages en coffrage glissant (barres d'acier passives, non injectées et qui dépassaient presque systématiquement de la structure à chaque liaison d'éléments).

L'examen des plans de ferrailage communiqués a retenu plus particulièrement l'attention de l'expert puisque le constat visuel a mis en évidence des fuites au droit de la liaison voûte-parois verticales-fond de cuve. En fissuration très préjudiciable suivant les règles BAEL 91<sup>(1)</sup>, et après inventaire des charges, la section d'armature nécessaire pour reprendre l'effort de traction totale est apparue limitée à 167 cm<sup>2</sup> pour un calcul théorique de 228 cm<sup>2</sup>. L'examen du voile, de 28 cm d'épaisseur<sup>(2)</sup> ne semblait pas poser de problème particulier.

A l'intérieur de chaque cuve, un revêtement de type Paxalumin, composé d'une membrane de bitume et d'aluminium, était appliqué directement sur le support en béton sans revêtement hydraulique intermédiaire. N'adhérant plus aux parois, il n'assurait plus l'étanchéité des réservoirs.

La Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Seine-et-Marne, après avoir réalisé une étude, un diagnostic et une proposition de réparation s'est vue confier une mission de maîtrise d'œuvre en octobre 1997.

Le dossier de consultation des entreprises préconisait :

- ◆ le renforcement de la ceinture basse de la structure par post-contrainte ;
- ◆ l'imperméabilisation de l'intrados de la coupole et l'étanchéité intérieure de la cuve ;
- ◆ l'imperméabilité des façades ;
- ◆ l'imperméabilité extérieure sur les relevés d'acrotères de la coupole.

La procédure retenue a été celle de l'appel d'offres

restreint où cinq entreprises spécialisées ont été mises en concurrence. Les offres ont fait l'objet d'un jugement en février 1998 et le choix de l'entreprise s'est fait mi-mars.

Freyssinet, intervenant en tant qu'entreprise générale, obtient les travaux de renforcement des réservoirs avec un délai d'exécution de 6 mois.

## ■ L'INTERVENTION

### Renforcement des réservoirs

Il faut avant tout procéder au renforcement des réservoirs par post-contrainte en ceinture basse (photo 1). Les réservoirs faisant près de 39 m de haut, cette opération requiert la mise en place de quatre nacelles volantes d'une largeur de 9 m fixées sur l'acrotère et capables d'épouser la forme arrondie des ouvrages grâce aux angles variables. Chaque structure doit recevoir huit cerces de précontrainte composées chacune d'un toron gainé graissé 1T15 enfilé dans une gaine en PEHD (polyéthylène haute densité) de 28 mm de diamètre et de 2 mm d'épaisseur et muni d'un ancrage Freyssinet de type X à une extrémité. Après avoir repéré la position exacte de la ceinture, le nivellement étant obtenu par rapport à un trait de niveau déterminé à la lunette à environ 1 m du sol sur le périmètre du réservoir, on procède à la mise en place de fer doux tous les 2 m sur la périphérie du réservoir en respectant le traçage de nivellement. Ces fers doux serviront à positionner les cerces.

Les torons et les gaines en PEHD sont découpés aux cotes. Chaque cerce est préparée au pied des réservoirs puis posée et attachée sur un support provisoire disposé tous les 2 m. Une fois la cerce installée, la deuxième extrémité du toron est introduite dans l'ancrage en X et le toron est prétendu à 50 bars. Les têtes d'ancrage sont protégées et la gaine est injectée au coulis de ciment afin de lui assurer une protection supplémentaire contre les agressions atmosphériques et d'améliorer la portance du toron sur la structure.

Après le durcissement du coulis de ciment, en moyenne une semaine, le toron est définitivement mis en tension à l'aide d'un vérin monotoron.

Des solins en mortier de ciment sont alors réalisés sur chaque cerce pour faciliter le ruissellement des eaux de pluie et éviter l'amoncellement de résidus. Des bossages individuels d'ancrage sont réalisés sur une largeur de 50 cm, un ferrailage anti-retrait est ancré par des fixations de type Spit et un bé-

<sup>(1)</sup> Compte tenu de l'année de construction de l'ouvrage et des règles BAEL (Béton Armé Aux Etats Limites), cette différence est perceptible

<sup>(2)</sup> Voile important pour ce type d'ouvrage

# d'eau à Tilly

**Jean-Pierre Toupenet**

TECHNICIEN GÉNIE RURAL  
Direction Départementale  
de l'Agriculture et de la Forêt

**Patrick Valente**

RESPONSABLE COMMERCIAL  
GÉNIE CIVIL DE L'EAU  
Freyssinet

tonnage au micro-béton est mis en œuvre sur les ancrages.

Les travaux sont menés successivement sur les deux réservoirs. Compte tenu du changement de comportement de l'ouvrage après la mise en œuvre des cerces de précontrainte, la structure est mise en eau pour vérifier les efforts dans sa configuration finale avant d'entreprendre les travaux d'étanchéité.

## Travaux d'étanchéité

### Intérieur de la cuve

L'étanchéité du radier, des voiles et de l'intrados de la coupole étaient à reprendre dans leur totalité. Les travaux débutent donc par la dépose du revêtement existant, de type Paxalumin, désormais interdit pour le stockage d'eau potable. Cette opé-

ration est effectuée manuellement à l'aide de burins délardeurs et de projection d'eau à très haute pression atteignant jusqu'à 600 bars. En partie haute de la cuve, les travaux sont réalisés depuis un échafaudage roulant. L'approvisionnement et l'évacuation des matériaux s'effectuent par un passage ouvert au fond de la cuve qui recevra une future canalisation de 250 mm.

Après la dépose de l'ancien revêtement, la préparation du support se poursuit par son décapage. Cette opération est effectuée à la fois par hydro-sablage et par projection d'eau sous forte pression à 2000 bars. L'intrados de la coupole est décapé en parallèle par projection d'eau sous pression à 150 bars.

Les zones de bétons altérées sont repérées, repiquées puis remplies au mortier hydraulique de type Emaco. Les aciers de la cuve mis à nu lors

## HISTORIQUE

### 1985

Un premier constat de fuites est dressé par l'exploitant des réservoirs de l'époque.

### Décembre 1985

Constat avec l'entreprise constructeur dans le cadre de la garantie décennale.

### Janvier 1986

Intervention du sous-traitant de l'étanchéité sur le revêtement.

### Avril 1986

Recours auprès du tribunal administratif par la ville de Saint-Fargeau Ponthierry à l'encontre du constructeur et du maître d'œuvre.

### Juillet 1986

Visite d'un ingénieur béton, accompagné des services techniques de la mairie et d'un ingénieur à la Société des eaux de l'Essonne.

### Octobre 1986

Vidange de l'un des réservoirs, visite d'un expert et réunion avec les compagnies d'assurances.

### Novembre et décembre 1989

Nettoyage des réservoirs et remise d'un rapport technique à la collectivité début janvier.

### Février 1990

Réunion en mairie et établissement d'un devis pour une réparation provisoire. En attente d'une réparation globale avec un financement plus lourd.

### Mars 1990

Différents devis sont remis à la collectivité. Intervention d'une entreprise qui exécute entre le 5 et le 29 juin, des reprises ponctuelles et partielles du revêtement d'étanchéité intérieur existant dans la cuve.

A la suite de cette intervention, les fuites ont disparu.

### Février 1993

Nouvelles fuites constatées suite à une période de froid.

Vidange de l'un des ouvrages et constat de la réapparition de cloques sur les reprises effectuées sur le revêtement d'étanchéité ainsi que sur le reste de la structure.

### 9 mars 1993

La ville de Saint-Fargeau Ponthierry demande à la Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt d'expertiser les ouvrages pour avis et solutions à envisager.

**Photo 1**  
Vue générale  
du renforcement extérieur  
par précontrainte extérieure

*General view  
of outer reinforcement  
using external pre-stressing*



**Photo 2**  
Travaux d'étanchéité  
de l'intérieur  
de la cuve  
*Waterproofing work  
inside the tank*



des travaux de décapage sont brossés puis passivés et les fissures sont injectées à la résine époxy Freyssi 108, à l'aide d'un pot sous pression à 2 bars maximum. Le produit utilisé pour le traitement des fissures est un liant époxy caractérisé par sa bonne viscosité et une DPU (durée pratique d'utilisation) très lente. Seules les fissures importantes, supérieures à 1 mm, sont traitées. Pour terminer la préparation du support, la cuve est décontaminée grâce à la pulvérisation d'une solution dégraissante.

Afin de reprofiler le support, un enduit intérieur de 20 mm à base de ciment est mis en œuvre par projection humide sur les voiles et au fond de la cuve (photo 2). Après 28 jours de séchage, un revêtement souple d'étanchéité, avec une armature en polyester, est mis en œuvre en trois temps :

- ◆ application de la première couche par projection ou à la brosse dans laquelle est incorporée une armature textile en polyester ;
- ◆ application de la deuxième couche 12 heures après ;
- ◆ application de la troisième et dernière couche permettant d'obtenir un rendement de l'ordre de 6 kg au m<sup>2</sup>.

L'intrados de la coupole reçoit quant à lui, un revêtement d'imperméabilisation à base de ciment et d'agents cristallisants lui permettant d'obtenir un rendement moyen de 2 kg minimum au m<sup>2</sup>. Ce revêtement, à base de liants hydrauliques modifiés est homologué pour le stockage d'eau potable et permet d'obtenir une protection efficace contre l'agression des eaux pures (au PH plus bas) provenant de la condensation.

Outre ces travaux d'étanchéité, Freyssinet a également en charge le traitement des éléments métalliques de chaque cuve dont le conduit pour l'évacuation des eaux pluviales en plafond, les garde-corps disposés autour de la cheminée et l'échelle d'accès à la cheminée. Tous ces éléments

reçoivent un traitement antirouille et sont protégés par une peinture glycérophtalique.

### **Extérieur de la cuve**

Au même titre que l'intérieur des réservoirs, l'extérieur fait l'objet d'un ravalement complet réalisé depuis des nacelles volantes.

La première opération consiste à repérer les tubes de glissants, utilisés lors de la construction, et à les injecter au coulis de ciment depuis le pied de la tour pour prévenir toute infiltration d'eau ultérieure. Les travaux de décapage du support peuvent dès lors commencer. Ils sont effectués par projection d'eau sous forte pression entre 150 et 200 bars.

Après un repérage des zones de bétons altérées et leur repiquage, le remplissage des cavités au mortier hydraulique, le traitement des fissures à la résine époxy de type Freyssi 108 et la passivation des aciers, on applique un traitement fongicide et anti-cryptogamique sur l'ensemble des surfaces à raison de 150 g/m<sup>2</sup>.

Le revêtement extérieur d'imperméabilité mis en œuvre est un système multicouches à base de résines acryliques photoréticulables appliqué en trois couches au rouleau :

- ◆ application d'une couche d'imprégnation en phase aqueuse ;
- ◆ application d'une couche intermédiaire lisse ;
- ◆ application de la couche de finition.

Conforme à la norme NFP 84-404, ce revêtement de classe I3 permet d'obtenir l'imperméabilité à l'eau de pluie et une très bonne résistance à la fissuration à venir de l'ordre de 1 mm environ.

Les travaux de renforcement de ces deux réservoirs se poursuivent avec la pose sur la partie horizontale de l'acrotère des réservoirs d'une couverture en zinc avec l'armière de chaque côté. L'étanchéité entre ces éléments est réalisée avec un cordon de mastic.

Les travaux s'achèvent avec la mise en peinture des deux ouvrages et la création sur l'un d'eux, d'une fresque symbolisant le Parc naturel régional du Gâtinais français.

## **LES PRINCIPAUX INTERVENANTS**

### **Maitre d'ouvrage**

Ville de Saint-Fargeau Ponthierry

### **Maitre d'œuvre**

Direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Seine-et-Marne

### **Entreprise générale**

Freyssinet



**Photo 3**  
Anchorage en X Freyssinet  
Anchoring in Freyssinet X

### L'ANCRAGE X FREYSSINET

Utilisés pour des travaux de renforcement ou de réparation, les ancrages en X Freyssinet permettent d'exercer une précontrainte extérieure radiale sur des structures généralement circulaires.

La force de précontrainte est obtenue avec des torons gainés graissés, enfilés dans une gaine injectée au coulis de ciment avant la mise en tension.

La boucle de précontrainte est fermée par un ancrage double. La gamme Freyssinet comprend trois types d'ancrages en X (photo 3) :

- ◆ l'ancrage 1X15, monobloc ;
- ◆ les ancrages 3X15 et 6X15.

Ces ancrages s'utilisent avec des torons gainés graissés T15,2 – T15,7 et T15,2 surtréfilés dont l'acier est conforme à la norme prEN 10138-1 et 3.

Chaque tête d'ancrage est injectée à la graisse et protégée par un capot d'étanchéité offrant au système une protection efficace contre l'agression d'agents extérieurs.

La protection externe est réalisée par une couche de peinture époxy et zinc, et une couche de fermeture époxy.

### ENGLISH SUMMARY

#### Rehabilitation of two reservoirs at Tilly

*J.-P. Toupenet, P. Valente*

The territory of the commune of Saint-Fargeau Ponthierry in the Seine-et-Marne region is supplied with drinking water by two raised cylindrical reservoirs located at Tilly. Built in 1976, these structures have an outer diameter of 15,2 m, a height (measured from the lowest part of the parapet) of 31,80 m, a water height of 10,15 m and a storage volume of 1500 cu. m each. They are suffering from structural problems and poor overall waterproofing. The town of Saint-Fargeau Ponthierry, represented by its mayor and director of technical services, asked the Departmental Directorate of Agriculture and Forests for expertise and a proposal for the repair of these drinking water storage facilities.

Following a call for tenders, the works were awarded to Freyssinet for completion within 6 months, in accordance with the tender specifications, including the reinforcement of the lower skirt of the structures by post-stressing, the waterproofing of the inner surface of the dome and the tank, the waterproofing of the façades and of the raised parapets of the dome.

### DEUTSCHES KURZREFERAT

#### Sanierung von zwei Trinkwasserbehältern in Tilly

*J.-P. Toupenet, P. Valente*

Die Gemeinde Saint-Fargeau Ponthierry im Departement Seine-et-Marne wird aus zwei zylindrischen Hochspeichern in Tilly mit Trinkwasser versorgt. Diese beiden 1976 errichteten Behälterbauwerke haben einen Außendurchmesser von 15,2 m, eine Höhe (Maß am Tiefpunkt des Sockels) von 31,80 m, eine Wasserhöhe von 10,15 m und ein Fassungsvermögen von je 1500 m<sup>3</sup>. Sie wiesen strukturelle Probleme und eine global unzureichende Dichtigkeit auf. Die Stadt Saint-Fargeau Ponthierry, vertreten durch ihren Bürgermeister und den Direktor der technischen Abteilungen, ist an die departementale Direktion für Land- und Waldwirtschaft herangetreten, um eine Fachstudie und einen Vorschlag für die Reparatur dieser Trink-

wasserspeicher ausarbeiten zu lassen. Aufgrund einer Ausschreibung ist entsprechend den Anfrageunterlagen innerhalb von 6 Monaten die Ausführung der Verstärkung des unteren Strukturringes durch Nachbelastung, der Imprägnierung der Kuppellaibung und der Abdichtung des Behälters, der Imprägnierung der Fassaden und ein Höhersetzen der Koppelsocle an Freyssinet vergeben worden.

### RESUMEN ESPAÑOL

#### Rehabilitación de dos depósitos de aguas en Tilly

*J.-P. Toupenet y P. Valente*

El territorio del municipio de Saint-Fargeau Ponthierry, en el departamento de Seine-et-Marne, está alimentado en agua potable por dos depósitos cilíndricos realizados, ubicados en la localidad de Tilly. Estos últimos, construidos en 1976, tienen un diámetro exterior de 15,2 m, una altura (tomada en la parte inferior del acroterio) de 31,80 m, una altura de embalse de 10,15 m alcanzando cada uno la cifra de 1500 m<sup>3</sup> de almacenamiento. Debido a una insuficiencia de estanqueidad general, estos depósitos acusaban problemas estructurales que era preciso resolver. La ciudad de Saint-Fargeau Ponthierry, representada por su alcalde y el director de los servicios técnicos, ha solicitado de la Dirección departamental de Agricultura y de Bosques, una peritación y una propuesta de reparación de estos depósitos de agua potable.

A raíz de una licitación, se han encargados estas obras a Freyssinet para la ejecución, en un plazo de 6 meses y de conformidad con el pliego de condiciones, el refuerzo del cerco inferior de las estructuras por postesado, así como la impermeabilización del trasdós de la cúpula y la estanqueidad del tanque, del mismo modo que la impermeabilización de las fachadas y de la prolongación de los acroterios de la cúpula.

# Le nouveau collecteur Saint-Maur (NCSM)

Le réseau d'assainissement en service dans le nord du Val-de-Marne ne permettrait plus à court terme, si rien n'était fait, d'assurer un service de qualité dans le respect de la sécurité du personnel chargé de son exploitation.

De plus, ses caractéristiques sont insuffisantes pour répondre aux normes définies par le programme "Marne pollution zéro". C'est pourquoi le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) a décidé de demander à la Direction des Services de l'Eau et de l'Assainissement (DSEA) du Val-de-Marne d'entreprendre la réalisation d'un nouveau collecteur d'eaux usées de plus de 3 km de long. Cette canalisation de 2,5 m de diamètre sert quatre objectifs :

- réduire les risques de pollution de la Marne par des déversements d'eaux usées, inévitables avec la saturation actuelle du réseau ;
- adapter le réseau d'assainissement à l'évolution des besoins par sa modernisation et son développement ;
- améliorer l'exploitation et l'entretien du réseau par un maillage qui autorisera une gestion fiable des incidents ponctuels ;
- améliorer la sécurité du personnel chargé de l'entretien dont les conditions de travail d'aujourd'hui sont rendues difficiles par le niveau élevé des effluents.

Nogent-Champigny-Saint-Maur (NCSM), c'est le nom donné par le SIAAP au nouveau collecteur d'eaux usées destiné à dédoubler l'ouvrage XI autour duquel se développe le réseau d'assainissement nord du Val-de-Marne.

Le projet consiste à réaliser un collecteur d'eaux usées d'un diamètre de 2,50 m permettant, en coupant la boucle de la Marne à travers Champigny, de raccorder l'actuel ouvrage XI à la station d'épuration Seine-Amont à Valenton tout en reprenant les principales canalisations existantes des quartiers traversés.

Les contraintes liées aux deux points de traversée de la Marne, en amont et en aval du projet, ont déterminé sa construction à grande profondeur et l'utilisation d'un tunnelier.

## ■ TROIS KILOMÈTRES À GRANDE PROFONDEUR

Évalué à un montant global de 360 millions de francs, l'ensemble du projet représente un linéaire de 3,1 km dont la réalisation est effectuée en deux tranches.

La DSEA du Val-de-Marne qui assure la maîtrise d'œuvre de cette opération a chargé en juin 1994 le groupement Quillery - GTM Construction - Urbaine de Travaux d'exécuter la première tranche de travaux entre le pont de Saint-Maur et l'angle de la rue Jack Gourevitch et du boulevard de Stalingrad, à Champigny-sur-Marne. Elle a renouvelé en juin 1997 sa confiance au même groupement pour la réalisation de la seconde tranche de travaux entre l'avenue Jack Gourevitch et l'ouvrage XI situé au nord du pont de Nogent-sur-Marne.

Cette seconde tranche, commencée en juin 1997 et dont la durée prévue est de 24 mois, représente un marché de 97,5 millions de francs HT (182,9 millions pour la 1<sup>re</sup> tranche).

D'une longueur de 1 100 m, le collecteur réalisé en seconde phase est exécuté à une profondeur au fil d'eau variant entre 28 m et 17 m de profondeur selon une pente moyenne de 2 mm par mètre. La pression hydrostatique à laquelle est soumis l'ouvrage est de l'ordre de 1,2 bars correspondant à une charge d'eau de 12 m.

La nature des terrains traversés peut se diviser en deux zones : sur la première moitié aval du tracé, la galerie sera creusée dans le calcaire grossier dans la seconde moitié amont, le projet reprend les couches successives constituées d'alluvions anciennes et de marnes et caillasses, avec com-

me particularité une traversée de la Marne sous faible couverture (environ 4 m).

## ■ UN TUNNELIER PEAUFINÉ

Après avoir été remis à neuf, le tunnelier "Huguette" a été redescendu dans le puits d'attaque (R14) le 10 septembre 1997. Ce tunnelier Herrenknecht à pression de terre, profitant de l'expérience acquise lors des deux chantiers précédents, a connu des modifications en vue d'améliorer ses performances ainsi que son confort et sa sécurité.

La roue de coupe est équipée de 20 molettes de 12 pouces et de 44 couteaux afin de répondre aux conditions de creusement évolutives.

Le bouclier d'une longueur totale de 7,80 m est composé de trois viroles lui permettant d'épouser le tracé en plan du collecteur caractérisé par des courbes de rayon inférieur à 150 m.

Le couple admissible sur la roue est de 1 150 KNm à 250 bars avec la possibilité pour le pilote de choisir entre huit vitesses d'avancement (de 1 à 9 cm/mn) et deux options sur la roue de coupe : vitesse de rotation réduite (0 à 3 t/mn) avec possibilité de couple maximal ou vitesse de 0 à 6 tours/mn, permettant ainsi d'adapter les paramètres de creusement à la nature des terrains rencontrés.

Une lubrification de la face avant de la roue, par l'intermédiaire d'un joint tournant passant à travers la cloison étanche, est effectuée pendant la phase de creusement afin de réduire le couple sur la roue de coupe.

La vis d'extraction est équipée d'un système hydraulique à deux positions, permettant de s'adapter aux opérations de creusement ou de pose des voussoirs en limitant les pertes de matériaux et en facilitant le travail de pose de l'anneau béton.

L'installation d'un système de radiocommande pour l'érecteur a permis d'améliorer le confort d'utilisation et la sécurité du poste de travail.

L'installation d'un système de retransmission de toutes les données opératoires du tunnelier en surface vers un poste informatique assurant le stockage des données et l'analyse des paramètres de creusement, permet d'anticiper les problèmes et de réaliser une maintenance préventive pour les organes de la machine et les outils de coupe et d'assurer un meilleur rendement.

Le diamètre de creusement est de 3,45 m, les voussoirs de 1 m de longueur ont une épaisseur de 15 cm. Un mortier de bourrage (faiblement dosé

# Nogent - Champigny -

en ciment : 35 kg/m<sup>3</sup>) est injecté en continu lors du creusement assurant ainsi le remplissage du vide annulaire (12,5 cm).

Le creusement s'est terminé le 12 juin 1998 pour un rendement moyen de 6,40 m/jour à deux postes de travail.

Le revêtement définitif de la galerie débutera en septembre 1998 par la mise en place d'un anneau en béton armé de 20 cm d'épaisseur. Ce béton est mis en place à l'intérieur d'un coffrage spécial permettant de réaliser 20 m de galerie en une seule passe et garantissant une bonne étanchéité à l'ouvrage.

L'utilisation d'un ciment CLC, offrant des temps de prise rapides, permet d'assurer des cadences de bétonnage de 20 m/jour.

## ■ DES TECHNIQUES SUR MESURE

Pour la réalisation des trois puits répartis le long du tracé, les caractéristiques géologiques des sols rencontrés ainsi que les contraintes géométriques des ouvrages et des installations de chantier nous ont conduit à utiliser des techniques différentes pour chacun de ces trois puits.

### Le puits R15

Implanté à 350 m du puits d'attaque (R14), il permettra l'accès au collecteur, des équipes d'entretien de l'exploitant futur.

Pour la réalisation de ce puits de diamètre 5,50 m et de 30 m de profondeur, la technique du havage a été retenue en raison du peu d'espace disponible en surface.

Cette technique consiste à descendre le cylindre béton formant la paroi définitive du puits au fur et à mesure du terrassement; les levées de bétonnage du voile étant réalisées en surface. L'emploi de cette technique et la rencontre de couches de calcaire dures a nécessité la mise en œuvre d'un système de pompage pour le rabattement de nappe important (≈ 800 m<sup>3</sup>/h).

### Le puits R16

Situé en bord de Marne, il assurera la reprise d'un collecteur de surface venant de Bry-sur-Marne par l'intermédiaire d'un double Vortex. Cet équipement permet d'accompagner les eaux de collecte débouchant dans le puits. Il a un diamètre intérieur de 5,50 m et une profondeur de 22 m.



Vue intérieure de l'ouvrage en phase creusement avant la mise en place du revêtement définitif

Inside view of the structure in the excavation phase before the placing of the final lining



La pose des voussoirs

Placing of lining segments



Le poste de pilotage

The control station



Tracé en plan du collecteur NCSM (Nogent-Champigny-Saint-Maur)

Plan view of the NCSM (Nogent-Champigny-Saint-Maur) collector sewer

La présence d'une nappe en liaison avec la Marne ainsi que la très forte fissuration des calcaires ne permettait pas de mettre en place un rabattement efficace et donc d'employer la même technique que pour le puits R15 de mêmes caractéristiques géométriques. Un rideau de palplanches a donc été foncé jusqu'à 11 m de profondeur (niveau supérieur des calcaires) et a été prolongé sur 15 m par une jupe injectée. Un bouchon de fond injecté de 5 m d'épaisseur a été réalisé afin de parfaire l'étanchéité et la tenue des terrains.

## Le puits R17

Situé à Nogent-sur-Marne et servant de puits de sortie du tunnelier, il a été intégralement exécuté en paroi moulée d'épaisseur 0,80 m et de 26 m de hauteur par la technique de l'hydrofraise. Ce puits de raccordement à l'ouvrage XI a un diamètre intérieur de 9,40 m et une profondeur de 19 m et sera équipé d'un système de vannage.



Arrivée du tunnelier dans le puits 17  
Arrival of tunnel boring machine in shaft 17

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### Maître d'ouvrage

SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne)

### Maître d'œuvre

DSEA (Direction des Services de l'Environnement et de l'Assainissement) - Direction Travaux Neufs, service EA03 - Conseil général du Val-de-Marne

### Bureau de contrôle structure

TPCI

### Bureau d'assistance géotechnique

SAGEO (pour la maîtrise d'œuvre)  
EDG (pour les entreprises)

### Entreprises

Groupement : entreprise Quillery et Cie (mandataire et pilote technique), GTM Construction (gérant), Urbaine de Travaux

## ENGLISH SUMMARY

### The new NCSM collector in the Val-de-Marne region

D. Siredey, Ph. Vega

The sewer network in service in the north of the Val-de-Marne region no longer offered the short-term possibility, if nothing was done, of providing quality service ensuring the safety of personnel in charge of its operation. Further, its characteristics are insufficient for complying with the standards defined by the "Marne zero pollution" programme. For this reason, the SIAAP (interdepartmental agency for the sewerage of the Paris conurbation) decided to ask the DSEA (directorate of water and sewerage services) of the Val-de-Marne region to undertake the installation of a new waste water collector sewer over 3 km long. This sewer of 2,4 m diameter has four objectives :

- reduce the risk of pollution in the Marne river by waste-water disposals, inevitable given the present saturation of the network;
- adapt the sewer network to the growing needs of modernisation and development;
- improve the operation and maintenance of the network by a grid which will allow reliable management of isolated incidents;
- improve the safety of the personnel in charge of maintenance, the current working conditions of whom are made difficult by the high level of effluents.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Der neue Abwassersammler im Département Val-de-Marne

D. Siredey, Ph. Vega

Wäre nichts unternommen worden, hätte das Abwassernetz des nördlichen Val-de-Marne kurzfristig keine qualitativ akzeptable Leistung unter Gewährleistung der Sicherheit des Betriebspersonals mehr sicherstellen können. Darüber hinaus entsprechen seine technischen Daten den Normen des Programms "Belastung der Marne gleich null" nicht. Daher hat der Abwasserzweckverband des Großraums Paris (SIAAP) beschlossen, wegen des Baus eines über 3 km langen neuen Abwassersammlers an die Direktion der Trink- und Abwasserabteilungen (DSEA) des Départements Val-de-Marne heranzu-

treten. Diese Kanalisation mit 2,5 m Durchmesser soll eine vierfache Aufgabenstellung erfüllen :

- Minderung der Verschmutzungsrisiken der Marne durch Einleitung von Abwasser, was bei der aktuellen Netzsatigung unvermeidbar ist;
- Anpassung des Abwassernetzes an die Bedarfsentwicklung durch Modernisierung und Entwicklung;
- Verbesserung des Betriebs und der Wartung durch ein Netzwerk, das eine zuverlässige Behebung punktueller Störungen zulässt;
- Verbesserung der Sicherheit des Wartungspersonals, dessen Arbeitsbedingungen heute durch den hohen Pegelstand extrem erschwert sind.

## RESUMEN ESPAÑOL

### El nuevo colector NCSM en el departamento de Val-de-Marne

D. Siredey y Ph. Vega

La red de saneamiento en servicio en el norte del departamento del Val de Marne no permitía, a corto plazo y si no se tomaban las medidas oportunas, continuar prestando un servicio de calidad con el debido respeto de la seguridad del personal encargado de su funcionamiento. Además, sus características son insuficientes para responder a las normas definidas por el programa "Marne contaminación cero". Por todo ello, la Agrupación interdepartamental para el Saneamiento de la Aglomeración Parisiense (SIAAP) ha tomado la decisión de solicitar de la Dirección de los Servicios de Aguas y de Saneamiento (DSEA) del Val de Marne, emprender la construcción de un nuevo colector de aguas residuales de más de 3 km de longitud. Esta canalización de 2,5 m de diámetro tiene tres propósitos :

- reducir los riesgos de contaminación del río Marne por los vertidos de aguas residuales, riesgos inevitables debido a la saturación actual de la red;
- adaptar la red de saneamiento a la evolución de las necesidades mediante su modernización y desarrollo;
- mejorar el funcionamiento y el mantenimiento de la red por medio de una reticulación que permitirá una gestión fiable de los incidentes puntuales;
- mejorar la seguridad del personal encargado del mantenimiento, cuyas condiciones de trabajo han llegado a ser difíciles debido al elevado nivel de los efluentes.

# La station d'épuration de Colombes

**François Delettrez**

DIRECTEUR DE PROJET

Campenon Bernard-SGE

**Michel Beaubernard**

DIRECTEUR DE TRAVAUX

GTM



**La station d'épuration de Colombes (Hauts-de-Seine) sera mise en service à l'automne 1998 après une phase d'études et de construction de 52 mois suivie par une phase d'essais de sept mois. De type semi-enterré à cultures fixées, cet équipement a fait l'objet d'un contrat forfaitaire de conception-réalisation signé entre le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) et un groupement formé par OTV, Degrémont, Campenon Bernard-SGE et GTM-Construction (groupes Vivendi et Suez-Lyonnaise des Eaux). Les performances de cette usine en font une des plus efficace en Europe. Les contraintes du chantier ont conduit le groupement de génie civil à mettre au point de nombreuses solutions techniques innovantes. Parmi elles : le bétonnage sur chantier compact, le transport de dalles lourdes par portique roulant et le bétonnage simultané des voiles doubles.**

La construction de la station d'épuration de Colombes (Hauts-de-Seine) a été l'une des principales réalisations de génie civil en Ile-de-France au cours de la décennie qui s'achève.

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) est un établissement public créé en 1970 par la Ville de Paris et les trois départements limitrophes de la capitale (Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne, Hauts-de-Seine).

Depuis, sa zone d'action a été étendue par voie de convention à 180 communes de l'Essonne, des Yvelines et du Val-d'Oise.

Pour traiter les quelque 850 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées produits par 8 millions d'habitants répartis sur 2 000 km<sup>2</sup>, le SIAAP dispose d'un réseau de collecteurs et d'émissaires acheminant les effluents jusqu'aux stations d'épuration "Seine aval" à Achères, (Yvelines), "Seine amont" à Valenton (Val-de-Marne), "Marne aval" à Noisy-le-Grand (Seine-St-Denis) et maintenant "Seine centre" à Colombes, équipement inscrit dans le schéma directeur de l'assainissement des eaux usées de l'agglomération parisienne adopté en 1992 par les communes groupées au sein du SIAAP. Cette usine a vocation à compléter la station d'Achères, recueille les eaux de Paris et du nord-ouest de la région (photo 1).

Outre l'utilisation d'un process de pointe qui lui confère des performances d'épuration supérieures aux normes européennes en vigueur (voir encadré page suivante), l'usine "Seine Centre" se caractérise par sa grande compacité (3,5 ha) et son insertion architecturale dans un environnement urbain associant les rives de la Seine, une halle inscrite à l'inventaire supplémentaire des Monuments historiques, des jardins familiaux et la principale zone d'activité de Colombes.



**Photo 1**  
Vue aérienne  
du chantier  
*Aerial view  
of the site*

## ■ LE MARCHÉ

D'un coût de 2,195 milliards de francs HT financé à 40 % par le SIAAP, 40 % par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et 20 % par la région Ile-de-France, le projet a fait l'objet d'un concours international de performance lancé en mai 1992. Le jury constitué pour la circonstance a sélectionné la solution dite à "cultures fixées" présentée par les entreprises OTV et Degrémont, filiales respectives des groupes Générale des Eaux et Suez-Lyonnaise des Eaux. La Direction départementale de l'équipement des Hauts-de-Seine a délivré le permis de construire le 25 novembre 1993 sur la base du dossier déposé par le cabinet d'architecture S'Pace le 30 avril 1993, modifié le 29 juillet 1993. Après négociations, un marché de travaux forfaitaire en conception-réalisation a été passé le 15 novembre 1993

entre le SIAAP et les sociétés attributaires constituées en un groupement des épurateurs (OTV, Degremont) et un groupement des entreprises de génie civil (Campenon Bernard-SGE, GTM Construction). Le délai initial des travaux était de 57 mois, dont 7 mois de mise en route et période d'observation. Après modification du process, un avenant au contrat a rallongé ce délai de 10 semaines, plus 18 mois d'observation et d'assistance technique. A noter que le montant du marché, porté de 1,97 milliard de francs à la signature du contrat à 2,195 milliards de francs après avenant, est réparti à hauteur de 1,309 milliard de francs pour le lot équipement et 885,4 millions de francs pour le lot génie civil (base 1992).

## ■ LES FONDATIONS

L'exiguïté du terrain disponible et la recherche de hautes performances en matière d'épuration des eaux ont conduit au choix d'un process répondant à ces deux contraintes. Comparé au process à "cultures libres", le mode de traitement à "cultures fixées" retenu pour l'usine de Colombes présente l'avantage d'être compatible avec des installations techniques superposées et enterrées. Cette disposition exige *a contrario* des structures plus complexes. Afin d'éviter les fondations profondes de type pieux ou barrettes, la station d'épuration "Seine centre" est calée au niveau des marnes et

caillasses. Une paroi moulée de 790 ml et 15 m de hauteur moyenne assure sa protection contre la nappe phréatique. Rendue autostable en phase définitive par deux lits de tirants d'ancrage de 15 et 20 m de longueur (870 tirants), la paroi moulée est prolongée par une jupe injectée de 80 cm d'épaisseur sur une hauteur moyenne de 18 m jusqu'au sable du Soissonais, horizon géologique très peu perméable.

Après extraction de 420 000 m<sup>3</sup> de déblais, le niveau inférieur de l'usine a été construit à l'abri de cette enceinte périphérique sur un radier drainant de 40 cm d'épaisseur. A la demande du maître d'ouvrage, les drains ont été renforcés par une coque en béton également drainante qui autorise l'utilisation d'un système de nettoyage à haute pression en cas de colmatage. Lors d'un éventuel dysfonctionnement du système de rejet des eaux d'exhaure dans la Seine, le vide annulaire de 2,50 m de large (entre la paroi moulée et la structure de l'usine) offrira un potentiel de stockage assurant à la station une autonomie de 12 heures avant d'atteindre une situation critique.

## ■ UNE ANNÉE D'ÉTUDES D'EXÉCUTION

La réalisation de la paroi moulée et le coulage des premiers bétons en avril 1995 ont été précédés par une campagne de démolition des ouvrages que

### LES CARACTÉRISTIQUES DE L'USINE "SEINE CENTRE"

L'usine "Seine centre" a été dimensionnée pour traiter quotidiennement 240 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées par temps sec, soit 8 % du volume produit en région parisienne, selon une filière mettant en œuvre successivement des procédés d'épuration physiques, physico-chimiques et biologiques. Les eaux brutes subissent à leur arrivée un dégrillage d'abord grossier, puis fin. Les résidus de cette première opération sont essorés, compactés et évacués. L'effluent traverse ensuite des dessableurs-déshuileurs. Les sables extraits par raclage sont débarrassés de leur gangue organique, stockés et évacués. Les graisses sont récupérées et incinérées sur place ou envoyées dans un centre spécialisé.

Après tamisage à 6 mm, les eaux prétraitées sont admises dans des réacteurs physico-chimiques qui assurent une décantation primaire et un abattement du phosphore avant de passer dans des décanteurs lamellaires. Commence ensuite la filtration biologique qui consiste à éliminer les pollutions carbonées

et azotées par l'action de bactéries non pathogènes fixées sur des biofiltres, régulièrement, lavés à fort débit d'eau et d'air pour éviter leur colmatage. Les eaux de lavage sont recyclées dans des flottateurs qui les débarrassent des matières en suspension et de l'excès de bactéries.

Pour éviter les nuisances olfactives, un dispositif de désodorisation accompagne l'ensemble de ce process. Les eaux rejetées dans la Seine contiennent moins de 10 % de leur pollution d'origine organique et moins de 20 % de la pollution phosphatée.

Les boues issues de ce traitement sont déshydratées par centrifugation puis valorisées en agriculture ou incinérées.

La station de Colombes est en mesure d'absorber les forts débits par temps de pluie et d'orage : 12 m<sup>3</sup>/s.

Les soixante-cinq biofiltres qui fonctionnent en série passeront alors en fonctionnement parallèle afin d'absorber pendant une durée limitée une pointe égale à au moins 3 fois le débit par temps sec, tout en maintenant un niveau de rejet satisfaisant aux normes européennes en vigueur.

les services du SIAAP utilisaient comme sites pilotes de recherche. L'élaboration d'une solution évitant les nuisances de circulation a contraint le GEGC (Groupement des entreprises de génie civil) à évacuer les déblais par la Seine nécessitant la construction préalable d'une estacade. Pour le GEGC l'année 1994 a été consacrée à la mise au point technique du projet sur les bases des plans guides fournis par le GEP (Groupement des épurateurs), concepteur de l'ouvrage. Les travaux de construction proprement dits ont duré 36 mois, d'avril 1995 à mars 1998. Les structures elles-mêmes ont été achevées en 30 mois, en septembre 1997.

## ■ ORGANISATION DU CHANTIER

Le chantier a été découpé en deux zones, Est et Ouest, de superficies sensiblement égales, elles-mêmes subdivisées en deux lots. La zone ouest comprenait : le prétraitement des eaux usées, les bassins de dessablage-déshuilage, les décanteurs lamellaires, le traitement des refus, les fours d'incinération des boues déshydratées et un ouvrage de pompage destiné à envoyer les eaux après traitement primaire vers la zone d'épandage d'Achères. A noter que cet ouvrage a fait l'objet d'un délai partiel, avec mise en service en avril 1997 en remplacement de la halle voisine où se trouvaient les anciennes installations de relevage. Ce bâtiment, classé monument historique, devrait ultérieurement accueillir un musée.

La zone Est comprenait : les installations de filtration par traitement biologique (élimination de la pollution carbonée, nitrification, dénitrification), les bâches d'eau de lavage et d'eau brute, le stockage des boues et les bassins de flottation, la production d'air, la ventilation et la désodorisation. Au total, l'usine "Seine centre" comprend plus de 700 volumes, y compris les locaux fonctionnels et les circulations. Deux bâtiments accueillant les services d'exploitation et les services administratifs ont été construits à l'extérieur de l'usine. La réalisation des deux zones a été placée sous la responsabilité de chefs de section également chargés du suivi du second œuvre, auxquels il faut ajouter un chef de section affecté au suivi du ferrailage.

L'encadrement du GEGC a compté jusqu'à 105 personnes. Au plus fort de l'activité, de septembre 1995 à octobre 1996, 500 ouvriers ont travaillé sur le chantier : 200 sur chacune des deux zones, 40 dans les ateliers de menuiserie, d'électricité, de serrurerie, de mécanique, et 60 à l'atelier de ferrailage (réalisé en travaux propres).

Le planning, très serré, a contraint le GEGC à optimiser au maximum le temps de crochet de grue à partir d'un calcul chronométré des tâches à accomplir quotidiennement. Comme il était impos-

sible d'accroître les moyens de levage par une augmentation du nombre de grues, limité à onze en raison des contraintes d'interférences, les responsables du chantier ont joué sur le levier de l'organisation du temps de travail. Ces opérations ont nécessité une coopération étroite entre le génie civil et l'équipementier. Les horaires ont été aménagés afin de permettre d'allonger le temps de crochet de grue (ou l'allongement du temps journalier des engins de levage) par décalage des différentes équipes de production. Cette collaboration a été rendue indispensable tout au long du chantier par l'imbrication des tâches. Le GEP (Groupement des épurateurs) s'est appuyé sur le calendrier du GEGC pour organiser le planning des opérations de montage des équipements. A titre d'exemple, certains équipements tels que tuyauteries, groupes électrogènes, cuves, transformateurs, centrales d'air... ont été acheminés par les grues à tour en dehors des plages horaires réservées à la production du génie civil.

## ■ LES MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Ouvrage de génie civil industriel, l'usine "Seine centre" est principalement constituée de bassins coulés en place ayant nécessité la mise en œuvre de bétons étanches dans la masse. Des parties d'ouvrages (les dalles filtrantes, les dalles alvéolaires de couverture, les poutres et poteaux et un millier de massifs) ont été préfabriqués à l'extérieur et livrés en flux tendu compte tenu de l'exiguïté du site. Les tolérances pour la réalisation des bassins de filtration (de l'ordre de 3 mm) ont nécessité la mise au point de méthodes particulières de réglage des éléments préfabriqués.

Plusieurs modes constructifs de ce chantier méritent d'être mentionnés.

Les massifs servant de support aux tuyauteries ne pouvaient être réalisés en première phase de génie civil : leur présence aurait entravé la circulation et l'acheminement des équipements à l'intérieur des salles. La solution retenue a été de faire préfabriquer ces éléments et de les doter d'un système de réglage par vérins à vis. Le tuyauteur a ainsi pu disposer de massifs réglables lui permettant de caler ces tuyaux à la bonne altitude, à l'aide des vérins. Après cette opération, les équipes de génie civil procédaient au clavage des massifs par un mortier de scellement. A cet effet, des réservations avaient été prévues dans les radiers et les planchers.

L'ouvrage de désodorisation, constitué de voiles de faible épaisseur 20 à 25 cm et de grande hauteur – 10,50 m – a nécessité la mise au point de techniques de bétonnage et d'adaptation des outils coffrants de base afin de couler en une seule levée et sans interruption. Cette décision a été pri-

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maître d'ouvrage**

Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)

### **Maître d'œuvre**

Service d'Études et des Réalisation des Moyens d'Épuration (SERME)

### **Concepteurs-constructeurs**

- Groupement des épurateurs (OTV, Degrémont)
- Groupement des entreprises de génie civil (Campenon Bernard SGE, GTM Construction)

### **Architecte**

S'Pace SA architecte

\*\*\*

- **Date de l'ordre de service** : 22 novembre 1993
- **Délai total** : 59,5 mois
- **Délai génie civil** : 48 mois (études et réalisation)
- **Type de station** : semi-enterré à cultures fixées

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

### **Dimensions extérieures**

245 m x 141 m

### **Paroi moulée**

14 400 m<sup>2</sup>

### **Terrassement**

420 000 m<sup>3</sup>

### **Béton coulé en place**

110 000 m<sup>3</sup> (hors paroi moulée)

### **Béton préfabriqué**

10 000 m<sup>3</sup>

### **Aciers**

12 000 t (hors paroi moulée)

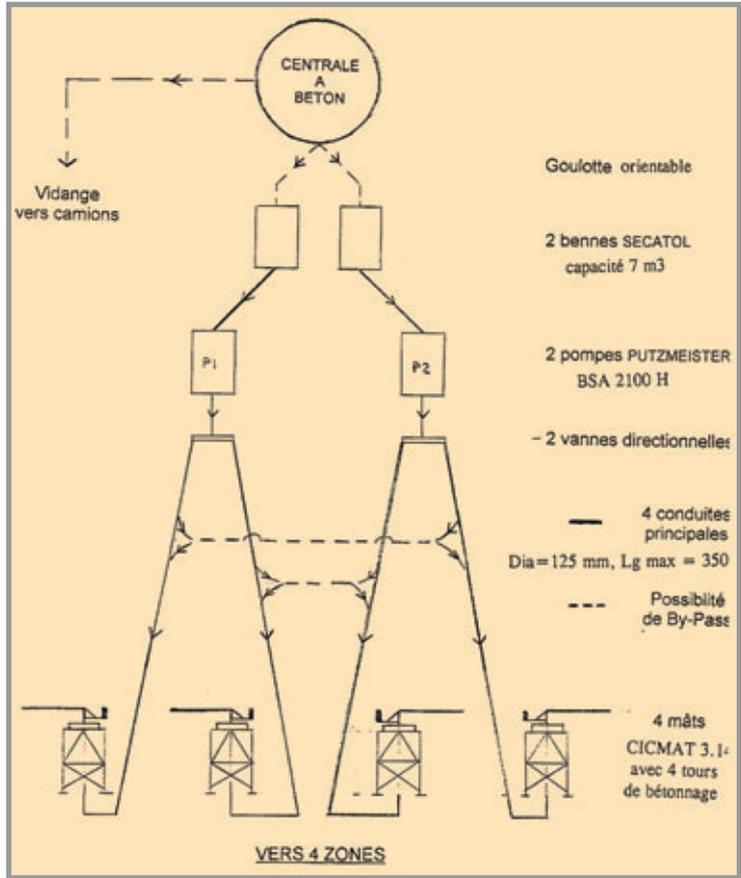
### **Coffrages**

330 000 m<sup>2</sup>

### **Heures de production**

1 500 000 heures

**Figure 1**  
Principe de la chaîne de bétonnage du chantier  
*Principle of site concreting chain*



**Photo 2**  
Déplacement d'un Cicmat 3.14 avec sa tour de bétonnage  
*Moving a Cicmat 3.14 with its concreting tower*



**Photo 3**  
Panier de manutention des tuyauteries avec ses trois compartiments : tuyaux droits, coudés, colliers et joints  
*Pipe handling basket with its three compartments : straight pipes, elbows, clamps and joints*

**Photo 4**  
Bétonnage d'un plancher avec un Cicmat 3.14  
*Concreting a floor with a Cicmat 3.14*



**Photo 5**  
Le mât M22 positionné pour pouvoir bétonner trois voiles sans être déplacé  
*The M22 mast positioned to be able to pour concrete for three load-bearing walls without being moved*

se afin, d'une part, de ne pas avoir à étayer la deuxième levée (l'utilisation de consoles pignons étant impossible du fait de la faible résistance des voiles), et d'autre part, de pouvoir respecter le planning de production très tendu.

La couverture des flottateurs – ouvrage important par la dimension des poutres principales (portée 22 m, hauteur 2,20 m et largeur 60 cm) – a conduit les responsables du chantier à réfléchir à la conception d'un outil coffrant particulièrement performant. Le fait que cette dalle soit située à plus de 12 m de hauteur, et en partie surplombant des structures tronconiques, a orienté les recherches vers une solution de franchissement avec appui central.

L'outil d'une longueur totale de 22 ml, pouvait se déplacer sur chemin de roulement et permettra la cadence de bétonnage de 3 jours ouvrés, tout en assurant en partie et la pose et le clavage des poutres secondaires ainsi que la mise en place des dalles alvéolaires.

### Bétonnage sur chantier compact

(figure 1, photos 2, 3, 4, et 5)

L'impossibilité de circuler à l'intérieur de la paroi moulée limitait l'usage des camions malaxeurs et des pompes mobiles aux seuls ouvrages situés en périphérie de la fouille. Les grands mâts de bétonnage, ancrés au sol, présentent l'inconvénient d'avoir un rayon d'action réduit, (environ 30 m) et dont leur déplacement est toujours problématique. L'idée a donc été d'organiser le pompage du béton à partir de la centrale à béton via un réseau de tuyauteries reliées à des petits mâts Cicmat 3.14 d'une portée horizontale de 14 m.

Ces mâts ne permettant pas de bétonner des voiles de grande hauteur (10,5 m), des tours à ossatures métalliques leur ont été associées. En fonction de la capacité des grues à tour, il était possible de lever l'ensemble tour + mât + contrepoids en une seule intervention (colis de 7 t) ou de désolidariser le mât de sa tour (3 t).

En complément, le chantier disposait d'un mât de 22 m de flèche pour les bétonnages des grandes dalles. 80 000 m<sup>3</sup> de béton ont été mis en œuvre suivant ce principe.

Avantages constatés : rapidité de déplacement et d'installation effectués par une équipe spécialisée, économie de main d'œuvre et diminution des risques de fausse manœuvre.

### Portique de pose de dalles

lourdes (photos 6, 7 et 8)

La capacité du levage des grues à tours et la saturation de ce matériel sur la zone décastration ont, elles aussi conduit, à une solution originale. Au total, 260 dalles alvéolaires de 15 m de portée, 1,20 m de largeur et 0,40 m d'épaisseur pour un poids de 12 t devaient être mises en place en tête



**Photo 6**  
En cours de pose, la passerelle de finitions fait fonction de garde-corps pour la dernière dalle posée

*During installation, the finishing gangway serves as a guard rail for the last slab placed*



**Photo 7**  
Le portique de pose sur son chemin de roulement

*The placement crane on its runway*

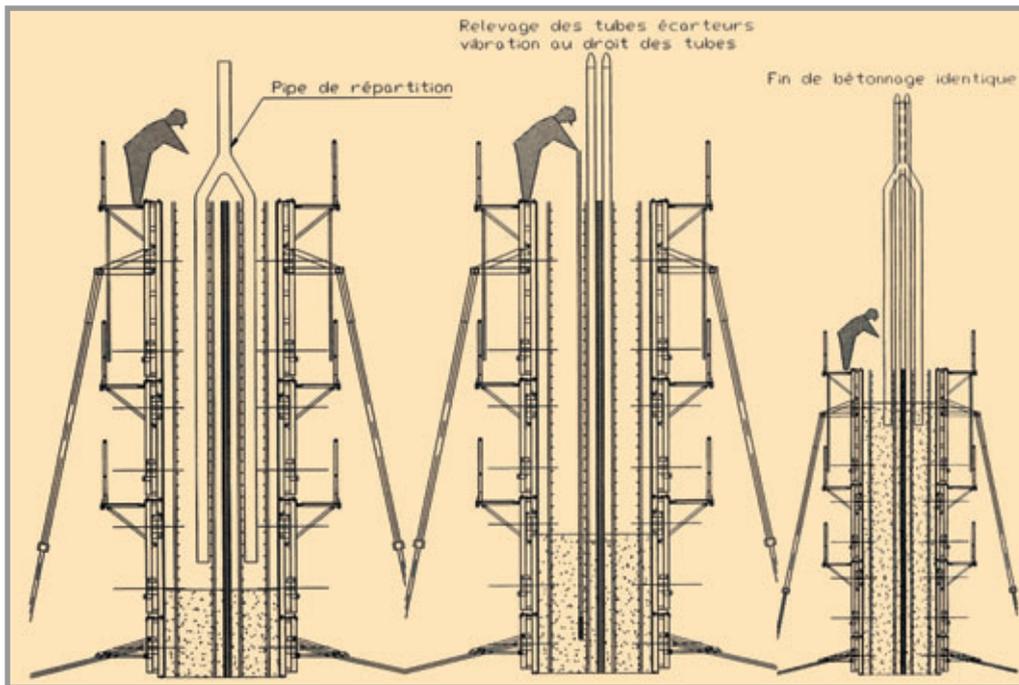


**Photo 8**  
Le râtelier de stockage des dalles et le portique en cours d'approvisionnement

*The slab storage rack and the crane during a supply operation*

de voiles porteurs à 15 m au-dessus du fond des bassins. Or l'accessibilité au bâtiment n'étant possible que sur un des côtés, la pose devait s'opérer par travées contiguës de 60 m de longueur. Si l'opération est techniquement possible au moyen d'une grue mobile de forte capacité (200 t), elle s'avérait incompatible avec les contraintes de coût, de délais et d'espace disponible caractérisant le chantier de Colombes.

Pour assurer la pose de ces dalles, le GEGC a donc



**Figure 2**  
**Principe de bétonnage**  
**Principle of concreting**



conçu un outil spécifique du type portique. Les tâches dévolues à cet outil étaient les suivantes :

- ◆ prendre en charge les éléments à poser depuis une zone de stockage, les transporter sur leur zone de pose ;
- ◆ pouvoir transiter sur la tête des voiles porteurs ;
- ◆ avoir une capacité de levage de 15 t ;
- ◆ permettre les réglages lors de la pose des dalles ;
- ◆ assurer la sécurité du personnel et du matériel pendant toutes ces opérations.

Le portique était constitué par une poutre formée de deux IPE 400 recouverte d'un platelage sur lequel avaient été installés un moteur diesel de 5 CV alimentant une centrale hydraulique et un poste de commande situé à l'une des extrémités pour garantir une parfaite visibilité à l'opérateur. La préhension et la pose des dalles étaient assurées par deux "C" reliés eux-mêmes à deux vérins verticaux à double effet, d'une course totale de 1400 mm. Ce dispositif était complété par un vérin horizontal de 300 mm de course permettant le réglage transversal des dalles lors de la pose, de façon à obtenir un appui réparti sur les têtes de voiles.

Ce portique était équipé d'une passerelle assurant trois fonctions :

- ◆ permettre le réagrégé en sous-face des joints entre les dalles et les cueillies voiles-dalles ;
- ◆ servir de garde-corps au droit de la dernière dalle posée au-dessus des bassins ;
- ◆ autoriser la pose en sous-face de dalle des inserts et du réseau de tuyauteries d'évacuation des eaux pluviales du bâtiment.

La passerelle a été construite au moyen d'une

poutre treillis d'une portée de 15 m. La protection des opérateurs (300 kg de charge d'utilisation) était assurée en permanence par un système d'accostage automatique entre le portique et la passerelle. Mis en place sur un chemin de roulement constitué par des HEB 140 reposant sur des poteaux noyés dans le voile lors du coulage, l'ensemble était mû par deux moteurs hydrauliques fixés sur les quatre bogies (2 x 2) en bout de portique.

A l'usage, le système a démontré plusieurs avantages. Sur le plan de la qualité, les "C" de préhension évitent les risques de détérioration des angles et des arrêtes des dalles, contrairement au levage par sangles. La passerelle permet d'assurer aisément les travaux de finition en sous-face. Il faut aussi souligner plusieurs points positifs pour la sécurité des opérateurs : l'absence de sangles élimine les opérations de désélingage à proximité du vide ; le ripage des dalles par le portique évite l'utilisation d'un tire-fort tout en assurant une pose avec une précision millimétrique, une seule personne – l'opérateur – effectuant l'opération. Le transport des dalles est réalisé à 30 cm au-dessus de la couverture dans une zone parfaitement délimitée et balisée. Enfin, la passerelle couplée au portique assure de manière automatique la protection au vide une fois la dalle posée, évitant ainsi les manipulations fastidieuses et aléatoires des garde-corps à pinces ou de type "brouette".

## Bétonnage des voiles doubles

(figure 2, photos 9 et 10)

La présence de nombreux joints de dilatation, inhérente à la configuration des bassins de filtration, a incité les équipes du chantier à abandonner la solution classique de coffrage et de bétonnage en deux temps.

C'est ainsi que plus de 4000 m<sup>2</sup> de voiles doubles, y compris des voiles de grande hauteur (10,50 m) et de 15 m de longueur, ont été coulés en une seule opération.

La difficulté de cette technique réside dans le maintien correct du polystyrène formant séparation des deux voiles et la maîtrise de la montée équilibrée du béton de part et d'autre de ce joint.

La solution retenue pour résoudre ces deux problèmes a été la suivante :

- ◆ substituer au polystyrène de 2 cm, un "sandwich" de deux plaques de contre-plaqué de 5 mm, associées à une couche de polystyrène de 2 cm préfabriqué en atelier par panneau de 2,50 m x 1,20 m ;
- ◆ maintenir les panneaux au centre des doubles voiles afin d'assurer l'enrobage correct des armatures grâce à la mise en place de tubes métalliques verticaux répartis tous les 80 cm environ et à l'équipement des fourreaux des tiges traversantes de rondelles gala de centrage ;
- ◆ assurer le remplissage simultané en béton des



**Photo 9**  
**Double voile**  
**en phase d'exécution**  
**Double load-bearing wall**  
**during the works**



**Photo 10**  
Elévation d'un double voile. Mise en place des profilés écarteurs avant le ferrailage de la deuxième nappe

*Raising a double load-bearing wall. Setup of spacing irons before reinforcement of second layer*

deux côtés du joint par l'installation d'une pipe de répartition sur le mât de bétonnage.

Il faut souligner que la mise en œuvre de cette technique innovante a été rendue possible grâce à l'acceptation du maître d'œuvre d'augmenter d'un centimètre l'épaisseur du joint de dilatation et de diminuer l'enrobage d'un demi-centimètre (3,5 au lieu de 4 cm).

Le principal intérêt de cette méthode est d'ordre qualitatif et économique :

- ◆ qualitatif : le coulage des voiles de grande hauteur en une seule opération a permis d'éliminer l'apparition de fissures traversantes consécutives aux efforts importants supportés par le premier voile ;

- ◆ économique : le gain de productivité par rapport à la technique traditionnelle peut être estimé à 50 %.

## ENGLISH SUMMARY

### The Colombes treatment station

*Fr. Delettrez, M. Beaubernard*

The Colombes (Hauts-de-Seine region) treatment station will go into service in the autumn of 1998 after a design and construction phase of 52 months followed by a test phase of 7 months. Of the semi-buried type with "fixed cultures," this system was covered by a lump-sum design and construction contract signed between the SIAAP (interdepartmental agency for the sewerage of the Paris conurbation) and a consortium made up of OTV, Degremont, Campenon Bernard-SGE and GTM (Vivendk and Suez-Lyonnaise des Eaux groups).

The performance of this plant makes it one of Europe's most efficient. The constraints of the site led the civil engineering group to develop many innovative technical solutions, including concreting on compact site, transport of heavy slabs by travelling crane and simultaneous concreting of double load-bearing walls.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Klärwerk Colombes

*Fr. Delettrez, M. Beaubernard*

Im Anschluß an die 52 Monate dauernde Konstruktions- und Bauphase, gefolgt von einer Erprobungsphase von 7 Monaten, wird die Kläranlage Colombes (Departement Hauts-de-Seine) im Herbst 1998 in Betrieb gehen. Der Pauschalvertrag für die Auslegung-Ausführung dieser Festbettkultur-Ausrüstung in teilweise unterirdischer Bauweise ist zwischen dem Abwasserzweckverband des Großraums Paris (SIAAP) und einer aus OTV, Degremont, Campenon Bernard-SGE und GTM-Construction (die Konzerne Vivendi und Suez-Lyonnaise des Eaux) gebildeten Arbeitsgemeinschaft ausgehandelt worden.

Von den Leistungsdaten her gehört dieses Klärwerk zu den besten in Europa. Die Baustellenvorgaben haben die Arbeitsgemeinschaft für den Hoch- und Tiefbau gezwungen, zahlreiche innovative technische Lösungen zu entwickeln.

Hierzu gehören u.a. : die kompakte Baustellenbetonierung, der Transport von schweren Platten mittels fahrba-

rem Portalkran und die gleichzeitige Betonierung von doppelten Trennwänden.

## RESUMEN ESPAÑOL

### La estación depuradora de Colombes

*Fr. Delettrez y M. Beaubernard*

La estación depuradora de Colombes (departamento de Hauts de Seine) entrará en servicio durante el otoño de 1998, tras una fase de estudios y de construcción de 52 meses, seguida de un período de pruebas de 7 meses. Esta estación, de tipo semienterrado ha sido objeto de un contrato global de diseño y construcción, formalizado entre la Agrupación Interdepartamental para el Saneamiento de la Aglomeración Parisiense (SIAAP) y un grupo de empresas formado por Degremont, Campenon Bernard-SGE y GTM Construction (grupos Vivendi y Suez-Lyonnaise des Eaux). Los resultados prácticos de esta planta hacen de la misma una de las más eficaces de Europa. Los imperativos de las obras han conducido a la agrupación de obras de ingeniería civil a desarrollar numerosas soluciones técnicas innovadoras. Entre ellas : el hormigonado en obra compacta, el transporte de placas pesadas por grúa móvil de pórtico y, asimismo, el hormigonado simultáneo de estructuras laminares dobles.

## Blagnac : un concentré de technologie

# Une usine de dépollution 100 % écologique

Mise en service en 1996, l'usine de dépollution des eaux usées de Blagnac en Haute-Garonne traite les effluents de 35 000 habitants et une partie des eaux d'orage. Conçue autour du concept "zéro nuisance", elle comporte quatre filières de traitement (eau-boues-déchets-air) mettant en œuvre des technologies avancées qui permettent de rejeter dans la Garonne une eau répondant aux normes de la directive européenne du 21 mai 1991 sans provoquer de gêne olfactive, sonore ou visuelle pour le voisinage. L'emprise au sol de l'ouvrage est réduite grâce à l'utilisation de filtres biologiques Biostyr® et de décanteurs lamellaires Multiflo®, procédés compacts conçus par OTV.

Photos :  
C. Soulié (texte) et photothèque OTV  
(photo auteur)

Dessableur -  
Déshuileur  
Sand traps  
and oil traps



Exploitée par la Générale des Eaux de Toulouse, l'usine de dépollution des eaux usées des Quinze Sols à Blagnac (Haute-Garonne) peut être considérée comme un modèle du genre en matière de protection de l'environnement, au sens le plus large du terme. Au-delà des techniques avancées d'épuration mises en œuvre, la conception de l'ouvrage réunit un large éventail de technologies de pointe et de solutions innovantes destinées à prévenir toute gêne pour le voisinage. Compacte, sûre et fiable, cette installation de taille moyenne ne comporte pas moins de quatre filières distinctes. Chacune d'elles assure un traitement particulier : celui de l'eau bien entendu, mais également celui des boues, des déchets et de l'air. Une caractéristique qui, à elle seule, suffit à donner sa pleine dimension au concept "zéro nuisance".

haute valeur ajoutée. Réalisée par OTV, filiale de la Générale des Eaux (Vivendi) spécialisée dans le traitement de l'eau, les installations sont destinées à dépolluer les eaux résiduaires de 35 000 habitants ainsi qu'une partie des eaux d'orage de la ville avant leur rejet dans la Garonne. Le traitement des effluents s'effectue en trois étapes. Au stade du prétraitement, quatre pompes immergées assurent le relèvement des eaux brutes. Celles-ci font alors l'objet d'un dégrillage fin retenant les corps d'une taille supérieure à 3 mm tandis qu'un ouvrage combiné de dégraissage-dessablage assure l'élimination simultanée des graisses par flottation et des sables par sédimentation. Intervient ensuite le traitement primaire où, après passage dans un bassin tampon couvert, les eaux sont débarrassées des matières en suspension (MES) par effet gravitaire dans deux décanteurs lamellaires à contre courant Multiflo®. A ce stade, une injection de chlorure ferrique assure l'élimination du phosphore. Intervient alors la phase d'épuration biologique à travers des filtres compacts Biostyr®. Leur conception permet d'opérer en un ouvrage unique, d'une part l'abattement du carbone et de l'azote par nitrification-dénitrification, d'autre part la clarification de l'effluent.

Par leur compacité, les décanteurs lamellaires Multiflo® et les filtres biologiques Biostyr® conçus par OTV permettent de réduire considérablement l'implantation au sol et les coûts de génie civil par rapport aux techniques plus classiques. Leurs performances garantissent en outre une qualité de rejet conforme à la directive européenne, très rigoureuse, du 21 mai 1991. Cette alliance de l'économie et de l'écologie se trouve particulièrement adaptée au cahier des charges d'une ville comme Blagnac, de dimension moyenne et située dans une région touristique. Le concept "zéro nuisance" s'étend jusqu'à l'architecture du bâtiment. Un grand soin a été apporté à son intégration au site. Esthétiquement, cette préoccupation se traduit par le mariage harmonieux de la brique et des tuiles rouges propres aux toitures de la région, du bâtiment administratif avec le béton paré de touches de couleur ocre de l'usine proprement dite.

### OBJECTIF MOYEN DE TRAITEMENT

Grâce aux technologies de pointe qu'elle met en œuvre, l'usine satisfait aux normes les plus rigoureuses comme l'attestent les données suivantes :

- MES (sur 2 heures) : < 30 mg/l
- DBO5 (sur 24 heures) : < 25 mg/l
- DCO : < 90 mg/l
- NGL : < 15 mg/l
- PT : < 2 mg/l ou 80 %

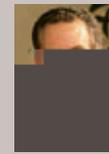
A bien des égards, la qualité écologique de l'usine, celle des éléments de fonctionnement et de sécurité, la mise en œuvre des process de traitement ainsi que le parti pris pédagogique dans la présentation s'apparente à celle que l'on peut trouver dans les usines de production d'eau potable les plus modernes. L'investissement réalisé par la municipalité s'élève à quarante millions de francs HT.

### ■ COMPACTITÉ ET EFFICACITÉ

En tenant à une parfaite intégration de l'usine dans le paysage, la municipalité de Blagnac doublait son objectif écologique d'un aspect économique. Les élus entendaient ainsi permettre la valorisation future des terrains environnants afin de développer l'industrie locale de haute technologie par l'accueil de nouvelles implantations créatrices d'emploi à

### ■ RÉSOUDRE LE PROBLÈME DES BOUES ET DES DÉCHETS

Comment disposer des boues produites par le traitement des eaux usées ? Cette question revêt toujours une grande acuité pour les exploitants des



# des eaux usées

stations d'épuration. L'usine de Blagnac a été conçue pour y répondre. La solution retenue consiste à envoyer les boues mixtes – elles sont constituées des boues primaires et des boues biologiques – dans un épaisseur puis dans une centrifugeuse afin de les déshydrater pour en réduire le volume. Stabilisées chimiquement à la chaux avant d'être stockées sur place en bennes closes, les boues peuvent, après ces opérations, être utilisées en valorisation agricole.

Le traitement des déchets divers a bien entendu été pris en compte. Les refus de dégrillage sont déversés en continu dans un tube de compostage fonctionnant par piston. Alors que les eaux dites d'égoutture, sont renvoyées en tête de l'usine, les particules solides sont mises en benne et ensachées avant de prendre la direction d'un centre d'enfouissement technique. Les eaux sableuses en provenance du fond de l'installation de dessablage sont, quant à elles, admises dans un classificateur à vis.

Cette opération permet à la fois d'augmenter la teneur en matières sèches et de réduire celle en matière organique des sables restants. Reste le cas des graisses. Elles sont dégradées en eau et en gaz carbonique à l'aide de micro-organismes adaptés à ce type de substrat à l'intérieur d'un réacteur biologique aéré de type Biolix®, un autre procédé conçu par OTV.

## ■ UNE ABSENCE TOTALE D'ODEURS

Liquide, solides... air. Son traitement n'a pas été oublié. La structure même de l'usine permet d'éviter les émanations d'odeurs indésirables : l'ensemble des installations prend place dans un bâtiment clos ; tandis que les ouvrages extérieurs (bassin tampon, épaisseur) sont couverts et maintenus en légère dépression. L'air vicié doit cependant être évacué. Avant d'être rejeté à l'atmosphère, il est aspiré par une batterie de ventilateurs placés dans les divers locaux de l'usine et débarrassé des composés malodorants qu'il charrie grâce à la mise en place d'une désodorisation de type Aquilair®, un procédé physico-chimique également conçu par OTV.

Il consiste en un transfert des molécules gazeuses odorantes vers une phase liquide à l'intérieur de trois tours disposées en série. Résultat : une absence totale de nuisances olfactives pour les riverains de l'usine.

## ■ UN PARTI PRIS DE FIABILITÉ ET DE SÉCURITÉ

Un soin extrême a été apporté à la fiabilité et à la sécurité de l'usine de Blagnac. Ce souci se manifeste dès l'amont des installations. Le poste de relèvement des eaux brutes est ainsi constitué de deux puits identiques afin d'éviter tout risque de *by-pass*. Au même niveau, une unité de désulfuration au chlorure ferrique empêche tout excès de fermentation des effluents. Situé avant le traitement primaire, le bassin tampon garantit quant à lui, la régulation des débits et de la charge polluante entrante par homogénéisation.

Parallèlement à la fiabilité des équipements, les conditions de travail des équipes d'exploitation a fait l'objet d'une très grande attention. Côté hygiène et confort, tous les surpresseurs d'air sont équipés de capots d'insonorisation. Côté sécurité, l'ensemble des salles à risque sont pourvues de capteurs de détection de gaz avec un taux de renouvellement de l'air ambiant pouvant s'élever jusqu'à dix fois par heure dans chaque salle. Tout en contribuant

## CAPACITÉ DE L'USINE

- Population raccordée : 35 000 habitants
- Volume moyen journalier : 7 000 m<sup>3</sup>
- Débit horaire de pointe : 700 m<sup>3</sup>
- MES : 2 450 kg/j
- DB05 : 2 100 kg/j
- DCO : 4 900 kg/j
- NTK : 525 kg/j
- PT : 140 kg/j



Salle  
des filtres Biostyr®  
*Biostyr, filter room*



Salle  
des prétraitements  
*Pre-treatment room*



Vue générale  
de la station  
*General view  
of the station*



à la fiabilité, les canalisations, totalement réalisées en acier inoxydable apportent une touche finale à la finition de l'ouvrage. Une telle réalisation ne peut avoir honte de se montrer, bien au contraire. C'est pourquoi, les garde-corps ont été dimensionnés pour accueillir les visiteurs en toute sécurité.

## ■ FACILITER L'EXPLOITATION

La technologie mise en œuvre pour le système de pilotage de l'usine est à la hauteur de la qualité de ses équipements. Pour mener à bien sa tâche, le personnel de la Générale des Eaux, concessionnaire-exploitant de l'usine, dispose d'un système de contrôle-commande à distance fonctionnant à partir d'automates connectés à un poste central. Conçu comme un véritable outil d'aide à la décision, ce système permet une parfaite gestion de l'usine et l'optimisation en continu du traitement 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.

En consentant cet investissement, la municipalité de Blagnac a clairement marqué son engagement écologique et sa volonté d'améliorer la qualité de vie de ses citoyens et même de la région. On pourrait aller jusqu'à dire que c'est un peu grâce à l'usine de dépollution des eaux usées des Douze Sols que la Garonne pourra continuer d'inspirer Claude Nougaro, le célèbre chanteur des charmes du fleuve. Comme quoi technologie et poésie peuvent faire bon ménage.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maitre d'ouvrage :** Mairie de Blagnac

**Maitre d'œuvre :** Générale des Eaux

**Concepteur - Ensemblier - Equipements techniques :** OTV

**Génie civil :** T.H.B.

**Electricité :** Fournie Grosraud

**Concessionnaire - Exploitant**  
Générale des Eaux

**Coût des travaux :** 40 millions de francs

### ENGLISH SUMMARY

**Blagnac : concentrated technology.**  
**A 100 % ecological waste-water treatment plant**

*A. Rousse*

Commissioned in 1996, the Blagnac waste-water treatment station in the Haute-Garonne region processes effluents from 35,000 inhabitants and part of the storm-water. Design around the "zero pollution" concept, it includes four treatment lines (water-sludge-refuse-air) implementing advanced technologies which allow the discharge into the Garonne river of water meeting the standards of the European Directive of 21 May 1991 without producing any odour, noise or visual disturbance to the surroundings. The ground space taken up by the facility is small thanks to the use of Biostyr, biological filters and Multiflo, lamellar settling tanks, which are compact processes designed by OTV.

### DEUTSCHES KURZREFERAT

**Blagnac : ein Technologiekonzentrat.**  
**Ein 100 % ökologisches Abwasserklärwerk**

*A. Rousse*

Die 1996 in Betrieb genommene Kläranlage von Blagnac im Departement Haute-Garonne bereitet das Abwasser von 35 000 Einwohnern und einen Teil des Regenwassers auf. Sie ist nach dem Konzept der "null Belastung" mit vier Behandlungsschienen (Abwasser-Schlamm-Abfälle-Abluft) nach der fortschrittlichsten Technologie ausgelegt, so daß ein Wasser in die Garonne eingeleitet werden kann, das der europäischen Richtlinie vom 21. Mai 1991 entspricht und die Anwohner weder geruchsmäßig noch akustisch noch visuell belastet werden. Dank der Verwendung der biologischen Filter Biosstyr® und der Absetzbecken in Lamellartechnik Multiflo® - beides von OTV entwickelte Kompaktverfahren - ist der Grundflächenplatzbedarf sehr gering.

### RESUMEN ESPAÑOL

**Blagnac : una concentración de tecnología.**  
**Una planta de descontaminación de aguas residuales 100 % ecológica**

*A. Rousse*

La planta de descontaminación de aguas residuales de Blagnac, en el departamento de Haute-Garonne, que entró en servicio en 1996, procesa los efluentes de 35 000 habitantes y una parte de las aguas excedentarias procedentes de tormentas. Esta planta, diseñada según el concepto de "cero contaminación y cero molestias", consta de cuatro sistemas de tratamiento (aguas-lodos-residuos-aire) que aplican tecnologías de vanguardia y que permiten verter en el río Garona un agua que corresponde a las normas de la Directiva europea del 21 de mayo de 1991 sin provocar molestias olfativas, sonoras o visuales para el vecindario. El terreno ocupado se ha reducido debido a la utilización de filtros biológicos Biostyr® y de decantadores laminares Multiflo®, procedimientos compactos diseñados por OTV.

# Le barrage de l'Ortolo

## Étanchéité par une géomembrane Colétanche

**Le retour d'expérience des trois grands barrages en enrochements avec étanchéité amont en géomembrane, construits en Corse, a amené le maître d'ouvrage à reconduire cette technique pour le dernier né, celui de l'Ortolo. Ce barrage est à ce jour le plus haut du monde avec un masque d'étanchéité par géomembrane bitumineuse. L'incidence sur le déroulement des travaux de conditions météorologiques exceptionnellement difficiles a conduit le maître d'œuvre à envisager pour les ouvrages futurs une modification de la couche support de la géomembrane. Par ailleurs l'utilisation d'une géomembrane un peu plus épaisse (5,6 mm au lieu de 4,8 mm) est préconisée pour simplifier la mise en œuvre du fait de la suppression des géotextiles antipoinçonnants qu'elle permet. Ce chantier a également permis la première utilisation sur pente de la machine de contrôle automatique des soudures par ultrasons.**

Le barrage en enrochements de l'Ortolo (Haute Corse) mis en eau en 1996 représente avec ses 37 m de hauteur le plus haut barrage au monde avec étanchéité amont en géomembrane bitumineuse. Son financement a été assuré par la Communauté européenne, l'Etat, la région Corse et l'Office d'Équipement Hydraulique de Corse (O.E.H.C.).

Cet organisme a une grande expérience des travaux hydrauliques dans la région, et a en particulier construit en 1978 le barrage de l'Ospedale, 26 m de haut, premier grand barrage au monde à être étanché par une géomembrane, le Colétanche en l'occurrence. Il fut l'objet de la communication C11 au 13<sup>e</sup> congrès international des grands barrages de New Delhi en 1979 : "Utilisation d'un revêtement mince pour l'étanchéité d'un barrage de plus de 20 m de hauteur" par Ch. Bianchi, C. Rocca-Serra et J. Girollet. Cette technique a été reprise sur les barrages de Codole et Figari, et tout récemment sur celui de l'Ortolo en utilisant la géomembrane bitumineuse Colétanche (tableau I). Ce barrage est accessible par une piste de 11 km reliée à la RN 196 et à une route départementale revêtue provenant de Sartène à 12 km. Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et ses caractéristiques hydrauliques sont données en encadré (page suivante). L'objectif principal de ce barrage est d'assurer l'irrigation de la vallée en aval, et accessoirement de produire de l'électricité à l'aide d'une microcentrale.

### DESCRIPTION ET MONTANT DES TRAVAUX

Le travail prévu comprend (figure 1) :

- ◆ un lot n° 1 incluant la réalisation du corps du bar-

rage en enrochement granitique 0/800 mm appliqué par couche de 1 à 1,2 m avec une bille vibrante lisse de 10 t statique pour obtenir un indice de vide entre 18 et 22 %. Le ballast amont est constitué d'une couche d'enrochements 25/120 mm d'une largeur en plan de 4 m appliqués avec une tolérance de plus ou moins 30 cm par rapport au plan théorique du projet et compactés par couches horizontales de 0,5 m. Son indice de vide varie de 22 à 28 %. Le rip-rap aval est constitué de gros blocs 800/1500 mm soigneusement rangés. Le lot 1 inclut également la longrine périmétrale, l'évacuateur de crues implanté en rive gauche et la galerie de service sous barrage qui sert pendant la construction de dérivation provisoire avec la vidange de fond Ø 1000 mm ;

- ◆ un lot n° 2 comprenant les injections au droit du mur de pied, constituant un voile monolinéaire profond de 15 à 25 m ;

- ◆ un lot n° 3 concernant le masque d'étanchéité décrit ci-après.

	OSPEDALE	CODOLE	FIGARI	ORTOLO
Année de construction	1979	1985	1989	1996
Hauteur en (m)	26	28	35	37
Longueur en crête	135	460	150	157
Superficie du masque (m <sup>2</sup> )	4.000	16.000	5.800	6.700
Fruit du parement amont	1,7/1	1,7/1	1,7/1	1,7/1
Fruit du parement aval	1,5/1	1,5/1	1,5/1	1,5/1
Géomembrane	bitumineuse 5 mm	P. V. C. 2 mm	P. V. C. 2 mm	Bitumineuse 5 mm
Couche support	enrobé bitumineux à froid 5-10 mm K = 10 <sup>-4</sup> à 10 <sup>-5</sup> m/s + géotextile en polypropylène aiguilleté de 400 g/m <sup>2</sup>			
Couche de protection	pavés autoblocants 8 cm	dalle béton armé 14 cm	dalle béton fibré 14 cm	dalle béton fibré 14 cm
Capacité (Mm <sup>3</sup> )	2,8	6,5	5,5	3

### Claude Tisserand

CHEF DE PROJET

Office d'Équipement Hydraulique de Corse

### Jean-Antoine Sanguinetti

CONDUCTEUR DE TRAVAUX

Office d'Équipement Hydraulique de Corse

### Bernard Breul

RESPONSABLE  
ÉTANCHÉITÉS  
Groupe Colas SA



### Yvon Gimenes

DIRECTEUR  
(jusqu'en 1997)  
Corsovia (filiale de Colas  
Midi-Méditerranée)



### Eric Antomarchi

DIRECTEUR  
Corsovia



### Robert Herment

INGÉNIEUR  
Sté des Pétroles Shell



Tableau I  
Caractéristiques principales  
des quatre ouvrages

Main characteristics  
of the four structures

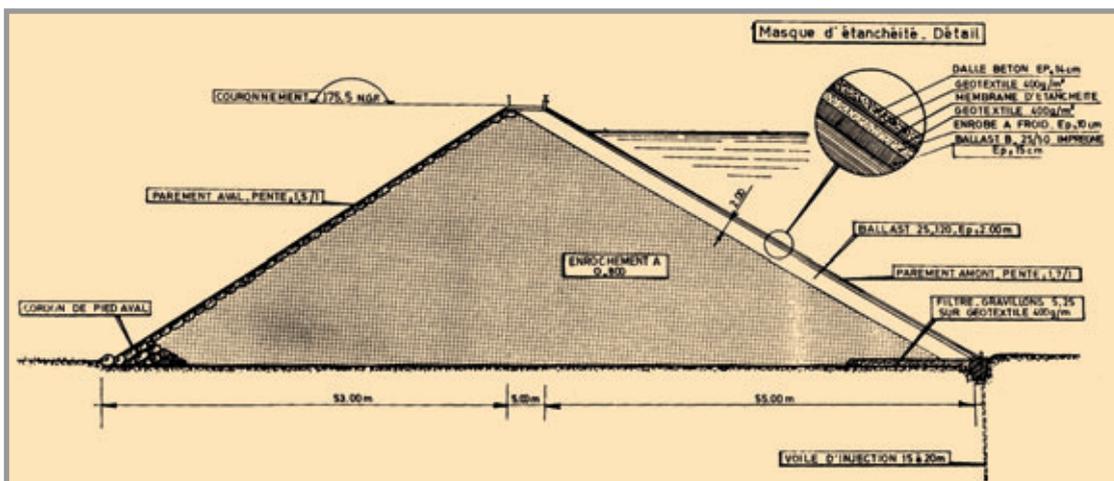


Figure 1  
Coupe en travers type  
Typical cross-section



L'ensemble des travaux sauf les injections a été réalisé par des entreprises insulaires. Le montant de la dépense pour cet ouvrage est d'environ 50 millions de francs.

## LE MASQUE D'ÉTANCHÉITÉ

(photo 1)

Ce masque, objet du lot n° 3, comprend de bas en haut :

### Une couche de ballast 25/50 mm

Cette couche de 0,15 m d'épaisseur minimale a été soigneusement réglée avec une tolérance de  $\pm 0,20$  m par rapport au plan théorique et compactée. Elle a été imprégnée par  $3 \text{ kg/m}^2$  d'émulsion à 65 % de bitume.

Un compactage particulièrement soigné a été réalisé à proximité des ouvrages en béton.

### Une couche d'enrobé à froid de 10 cm d'épaisseur

Les caractéristiques de cet enrobé sont reportées en encadré (page suivante). Le dosage de l'enrobé à froid en émulsion cationique est de 10 ppc. Le liant résiduel (bitume fluidifié 0/1 + bitume 180/220) est de 65 % sur émulsion.

Les granulats proviennent de Propriano et l'émulsion de l'usine de la Société Routière de Haute Corse de Bastia (filiale de Colas Midi-Méditerranée). Cet enrobé est préparé dans un poste de 30 t/h à Propriano.

Des camions le véhiculent jusqu'à la crête du barrage et le godet d'une pelle alimente une trémie roulante de 4 t d'enrobés assurant sa répartition. Les rouleaux lisses de la trémie amorcent le début du compactage.

Cette trémie est tractée le long de la pente par un treuil d'une force de 12 t monté sur une pelle

mécanique d'un poids de 25 t soit 5 fois la charge tractée. La même pelle sert après application de l'enrobé à manœuvrer le long de la pente un cylindre de 4 t qui compacte l'enrobé à froid avec quatre passes aller et retour.

La tolérance de forme de cette couche après compactage est de plus ou moins 20 cm par rapport au plan théorique, avec une tolérance maximale de 5 cm sous la règle de 10 m ramenée à zéro aux raccordements aux ouvrages de béton.

## Un géotextile

Ce géotextile en polypropylène aiguilleté de  $400 \text{ g/m}^2$  classe 6 évite les éventuels poinçonnements de la géomembrane par les granulats de l'enrobé à froid. Ce géotextile ne sera plus nécessaire dans les prochains projets si l'on utilise une géomembrane bitumineuse plus épaisse : Colétanche NTP4 (épaisseur 5,6 mm) pour limiter le nombre des opérations et améliorer la résistance au soulèvement par le vent grâce à une masse surfacique plus élevée.

## Une géomembrane bitumineuse

L'étanchéité a une surface totale de  $6780 \text{ m}^2$ . Elle est constituée par une géomembrane bitumineuse Colétanche NTP3 de 4,8 mm d'épaisseur.

Ses caractéristiques sont reportées en encadré (page suivante). Certains lés ont été fabriqués avec une longueur de 70 m au lieu des 65 m standard, pour respecter l'interdiction inscrite dans le *Manuel de pose Colas* de réaliser des soudures horizontales sur pentes.

La géomembrane est déroulée à l'aide d'une poutre munie d'un dévidoir hydraulique et les lés soudés au chalumeau (photo 2).

## Raccordement de la géomembrane au béton

La membrane est fixée au béton par une platine métallique en acier galvanisé de 6 mm d'épaisseur, 6 cm de largeur, boulonnée au béton tous les 15 cm. Deux cordons de mastic souple en polyuréthane sont disposés, au droit de la platine, entre le béton et la membrane.

Dans cette zone de raccordement sont disposées, sur 1 m sous cette membrane, une bande de géotextile de  $400 \text{ g/m}^2$  et au-dessus une bande de membrane de renforcement de 2 m de largeur débordant en avant de la platine, l'ensemble étant recouvert par son bord libre rabattu et soudé à son extrémité.

Les cordons compensent les irrégularités du béton et permettent après serrage du réglet d'obtenir une très bonne étanchéité.

Le raccordement au couronnement est identique, les cordons de mastic et le retournement de la membrane renfort étant supprimés.

## CARACTÉRISTIQUES DU BARRAGE DE L'ORTOLO

- Hauteur : 36 m
- Longueur en crête : 157 m
- Largeur en crête : 5 m
- Largeur maximale en pied : 120 m
- Fruit du parement en amont : 1,7H/1V
- Fruit du parement en aval : 1,5H/1V
- Volume du corps du barrage :  $155\,000 \text{ m}^3$
- Surface de l'étanchéité :  $6\,700 \text{ m}^2$
- Evacuateur de crue à seuil latéro-frontal de 80 m de développement suivi d'un coursier déversant de 150 m de long :  $700 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ouvrage de prise d'eau Ø 700 mm débouchant dans la vidange de fond Ø 1000 m :  $15 \text{ m}^3/\text{s}$

### Caractéristiques hydrauliques

- Bassin versant :  $54 \text{ km}^2$
- Précipitations moyennes : 900 mm/an
- Crue décennale :  $100 \text{ m}^3/\text{s}$
- Crue centennale :  $240 \text{ m}^3/\text{s}$
- Crue millénaire :  $750 \text{ m}^3/\text{s}$
- Capacité de la retenue : 3 millions de  $\text{m}^3$

## Couche de protection de la géomembrane

La protection sur l'ensemble de la surface comprend un géotextile en polypropylène aiguilleté de 400 g/m<sup>2</sup> classe 6 déroulé par-dessus la membrane et une couche de béton, coulé en place à la pompe, dans des cadres métalliques de 3 m de large du pied à la crête du barrage (photo 3).

Le béton 0/15 mm dosé à 350 kg/m<sup>3</sup> de ciment CPA est additionné de 1 kg/m<sup>3</sup> de fibres de polypropylène et 2,4 l/m<sup>3</sup> de retardant. Le béton est coulé sur une épaisseur moyenne de 14 cm. Ce béton fibré évite la pose d'armatures pouvant conduire à des percements accidentels de la membrane. Les joints verticaux de 20 mm d'épaisseur sont réalisés en polystyrène. Les joints horizontaux sont du type sec, distants de 3 m et disposés en quinconce; ils sont matérialisés par une rainure de 5 cm réalisée par un fer en T enfoncé dans le béton frais. Le béton répandu à la pompe est lissé à la règle vibrante tractée depuis la crête.

Le rendement a été d'environ 500 m<sup>2</sup>/jour.

## ■ PLANNING DES TRAVAUX

Les travaux auraient dû durer 6 mois (fin 1995/début 1996) en se décomposant comme suit :

- ◆ préparation du chantier : 1 semaine;
- ◆ compactage du ballast A : 1 semaine;
- ◆ ballast B imprégné et compacté : 4 semaines;
- ◆ enrobé à froid : 4 semaines;
- ◆ géotextile support : 1 semaine;
- ◆ géomembrane : 2 semaines;
- ◆ géotextile de protection : 1 semaine;
- ◆ dalle de béton : 6 semaines;
- ◆ repli du chantier : 1 semaine;

Malheureusement, des tempêtes d'une violence inhabituelle durant l'hiver 95/96 ont noyé 3 fois le chantier et arraché 1500 m<sup>2</sup> de membrane en cours de pose malgré le lestage par de nombreux sacs de sable.

## Le vent

Comme la plupart de ces prédécesseurs (à l'exclusion de l'Ospedale), le chantier de l'Ortolo a été marqué, heureusement à une phase très peu avancée du chantier, par un gros problème de vent : la totalité de la géomembrane et du géotextile posé (environ 1500 m<sup>2</sup>) a été emportée et a dû être remplacée (photo 4). Par la suite, le chantier a pu être mené à bien, malgré plusieurs autres coups de vent, grâce à un lestage renforcé.

## Enseignements et conclusions relatifs aux problèmes de vent sur les géomembranes

Nous les avons présentés au congrès du Comité Français des Géosynthétiques "Rencontres 97"



Photo 1  
Vue générale du barrage. Etanchéité amont en cours de pose

*General view of the dam. Upstream waterproofing during placement*



Photo 2  
Soudage des lés (de gauche à droite : la géomembrane, le géotextile, la couche support)

*Welding of strips (from left to right : the geomembrane, the geotextile, the support layer)*



Photo 3  
Mise en œuvre du béton

*Pouring of concrete*



Photo 4  
Membrane arrachée par le vent  
*Wind-torn membrane*

Photo 5  
Crue de chantier.  
Résurgences  
et bouillonnement  
sur le parement aval

Site water level.  
Resurgence  
and bubbling  
on the downstream facing



## COMPOSITION DE L'ENROBÉ À FROID

Formule granulométrique ouverte  
4/10 mm :

- 25 % de 4/6 mm et 75 % de 6/10 mm
- Los Angeles < 20
- Deval humide > 15
- Deval sec > 20

Liant : 10 ppc d'une émulsion de bitume et de bitume fluidifié  
Perméabilité entre  $10^{-4}$  et  $10^{-5}$  m/s  
soit 7 à 8 % de vides

dans la communication "*Le barrage de l'Ortolo et ses prédécesseurs - Retour d'expérience*" par Cl. Tisserand, B. Breul, R. Herment.

L'expérience de l'O.E.H.C. sur les géomembranes ne porte pas que sur ces quatre grands barrages : elle porte aussi sur quatre grands bassins de 1 à 6 ha comportant une géomembrane non protégée (dont 1 avec couverture flottante). Or à l'inverse des barrages, la réalisation (et l'exploitation) de ces bassins, n'a jamais posé ce genre de problème, bien qu'ils soient au moins autant exposés aux vents très violents, notamment à l'extrémité du Cap Corse.

Ceci nous amène à une réflexion fondamentale sur ce problème : la tenue au vent de la géomembrane est entièrement conditionnée par la nature de son support ou substratum.

Si le support est à très faible perméabilité (cas des bassins terrassés ou des digues en terre), la géomembrane ne bouge pas dans la mesure où elle est ancrée (ou fortement lestée) sur toute sa périphérie. Elle adhère à son support comme une ventouse sur une vitre et rien ne peut la déplacer puisqu'elle est en quelque sorte "plaquée au sol" par la pression atmosphérique. La démonstration la plus évidente de ce phénomène est fournie par la couverture flottante du réservoir de Rogliano dont les travaux furent présentés lors du congrès "Rencontres 1995". Bien entendu, cet "effet ventouse" peut facilement être rompu s'il y a un défaut d'étanchéité notable dans l'ancrage périphérique, ou au sein de la géomembrane (large entaille) ou si le support n'est pas assez imperméable, ou du fait d'un système de drainage excessif et mal orienté pouvant insuffler de l'air sous la membrane (ce dernier cas étant pour nous purement théorique).

Si le support est à forte perméabilité (barrages en enrochements), on conçoit sans peine que "l'effet ventouse" est alors nul. De plus, dans le cas d'un barrage pouvant être exposé à des vents venant de l'aval, l'effet de dépression (ou d'extrados en

terme aéronautique) bien connu est alors fortement aggravé par une sous-pression traversant le corps de digue.

Conclusions : cette vaste réflexion nous amènera à l'avenir à modifier notablement le cahier des charges relatif à la couche support dans les barrages en enrochement : celle-ci étant depuis l'origine à très forte perméabilité, sera à l'avenir ramenée à une perméabilité juste suffisante pour assurer le drainage hydraulique, mais assez faible pour assurer autant que possible un "effet ventouse" convenable. Un enrobé plus fermé présentant un coefficient de perméabilité  $K$  de l'ordre de  $10^{-6}$  à  $10^{-7}$  m/s devrait très bien convenir.

D'autre part si dans les prochains projets, la structure géotextile/Colétanche NTP3/géotextile est remplacée par un Colétanche NTP4, celui-ci peut être collé par plots sur l'enrobé à l'aide d'une colle rapide, ce qui viendra compléter le lestage classique par les sacs de sable.

## Passage de crues de chantier à travers le barrage

Ce problème à peine effleuré dans la communication "*Barrages en enrochements munis d'une géomembrane*" par Cl. Tisserand lors du congrès CFGB-CFG de juin 1996 mérite d'être plus amplement décrit et commenté. Le 2 février 1996, alors que le chantier était interrompu au niveau de la couche support (suite aux coups de vent évoqués ci-dessus), une crue de fréquence centennale a provoqué le remplissage complet de l'ouvrage en l'espace de quelques heures, allant jusqu'à un déversement de 0,5 m sur l'évacuateur de crues, heureusement réalisé complètement (sauf les derniers mètres à l'aval). Le barrage s'est ensuite vidé par sa conduite de vidange restée ouverte, et par les fuites du corps de digue, en l'espace de 48 heures.

On a pu estimer que le débit passant à travers le corps de digue (et donc à travers la couche support), avait atteint à barrage plein environ 5 à 6 m<sup>3</sup>/s. Sur la photo 5, on voit l'apparition des résurgences bouillonnantes à des niveaux assez élevés du parement aval, ce qui traduit la présence de pressions interstitielles non négligeables au plus fort de la crue. Heureusement cette couche support, bien que volontairement très ouverte, avait une perméabilité faible relativement au ballast et à l'enrochement situés en dessous.

D'autre part, les très gros blocs disposés sur le parement aval ont résisté aux ruissellements importants, avec des désordres mineurs (un bloc a brisé une poutre de nivellement).

Lors du colloque technique du Comité français des grands barrages tenu à Paris le 29 avril 1998, la communication "*Ecoulement à travers des barrages en enrochement lors de crues de chantier*" par P. Huynh, R. Herment et Cl. Tisserand, a compa-

ré l'écoulement de la crue à travers le barrage de l'Ortolo à celui subi par le barrage de Nebaana en Tunisie en 1964 et par celui de Hell Hole aux USA en 1964 également. Le barrage de Nebaana, qui est zoné avec une zone amont en enrochements fins compactés et une zone aval en gros enrochements déversés, a résisté. Le zonage simplifié du corps de barrage a rabattu nettement la ligne phréatique de percolation, diminuant ainsi considérablement les pressions interstitielles dans le remblai rocheux aval, et assurant ainsi la stabilité des remblais. La résurgence en pied aval atteignait plusieurs dizaines de mètres cubes par seconde. Le barrage de Hell Hole, homogène en enrochements déversés, à fort pourcentage de vides, n'a pas résisté à une crue atteignant 70 m<sup>3</sup>/s à travers le remblai. Le barrage de l'Ortolo a bien résisté à l'érosion, grâce à la limitation et à la faiblesse du débit de percolation liés aux couches support de l'étanchéité et aux couches de transition granulométriques amont, ainsi qu'à la courte durée de l'événement.

A noter que cette crue a été suivie le 15 mars d'une seconde, moins importante, n'ayant entraîné qu'un remplissage partiel.

Ces événements à répétition nous amènent là encore, à envisager de reconsidérer le cahier des charges concernant la perméabilité de la couche support en enrobé bitumineux : une couche d'enrobés plus fermés aurait, là aussi, largement limité les fuites, ramenant l'événement du 2 février 1996 à un incident mineur sans conséquences. Une telle perméabilité permettrait sans problème d'assurer les drainages normaux sous la géomembrane (très faibles débits) et réduirait considérablement les fuites en cas de déchirure importante. Conclusions : le seul élément dont la constitution n'a pas changé au cours de ces 18 années de réalisation était la couche support en enrobé à froid. Les incidents qui ont (largement) perturbé la réalisation du barrage de l'Ortolo nous amènent à envisager la modification de cet élément, dans le sens d'une forte réduction de sa perméabilité, et à améliorer le zonage du corps de digue.

### Les problèmes de température

La pose de géomembrane par temps chaud est toujours un problème, quelque soit le type de membrane employé. On connaît les problèmes rencontrés avec les géomembranes PVC (cf. Rencontres 93 - L'étanchéité par géomembrane du barrage de Figari). Avec les membranes bitumineuses, les problèmes sont différents : il n'y a pas d'allongement anormal puisque la membrane est déjà armée de géotextile. Il n'y a pas de problème de soudure. Par contre, on a pu observer en été des températures en surface de 65 °C. A cette température il est impossible de marcher dessus. Cette difficulté peut être surmontée de deux manières :



**Photo 6**  
Contrôle automatique des joints par la machine à ultrasons

*Automatic control of joints by ultrasonic machine*

- ◆ en réalisant le chantier de nuit (solution employée à l'Ortolo et à Figari) ;
- ◆ en plaçant la géomembrane Colétanche à l'envers (film polyester au-dessus), ce qui présente le double avantage d'assurer un bon collage de la membrane sur son support, et de permettre de marcher dessus sans problème. C'est la solution qui a été employée avec succès à l'Ospedale et que l'on a eu le tort de ne pas reprendre à l'Ortolo.

### LES CONTRÔLES

La planéité de l'enrobé est mesurée après sa mise en œuvre à la règle de 10 m.

Le personnel du chantier marque à la peinture de couleur les zones où la tolérance de 5 cm est dépassée, les reprises étant faites sur cette base. La totalité des soudures a été contrôlée sur 20 cm de large par la machine CAC94 munie de 24 capteurs ultrasoniques. Le logiciel de dépouillement donne une radiographie des défauts de soudure en temps réel (photo 6).

En ce qui concerne le contrôle du béton de protection, sa résistance minimale a été de 270 bars à 28 jours. Dix contrôles ont été effectués. La tolérance d'épaisseur prévue était de ± 2 cm.

### CONCLUSION

Les barrages en enrochements s'imposent souvent pour des considérations de portance du sol et de qualité des appuis. La puissance actuelle des engins de terrassement permet des réalisations fiables et économiques.

Différentes solutions pour la réalisation de l'étanchéité sont possibles ; celles faisant appel aux solutions bitume sont nombreuses à cause de la durabilité bien connue du matériau bitume.

Les géomembranes Colétanche qui s'appliquent

### CARACTÉRISTIQUES DE LA GÉOMEMBRANE COLÉTANCHE NTP3

Épaisseur : 4,8 mm  
 Masse surfacique : 5,5 kg/m<sup>2</sup>  
 Largeur d'un rouleau : 4 m  
 Longueur d'un rouleau standard : 65 m  
 Masse d'un rouleau : 1 500 kg  
 Résistance à la traction (NFG07001) :  
 • 23 daN/cm (sens longueur)  
 • 20 daN/cm (sens largeur)  
 Élongation à la rupture (NFG07001) :  
 • 45 % (sens longueur)  
 • 54 % (sens largeur)  
 Coefficient de perméabilité K (Darcy) :  
 4 10<sup>-14</sup> m/s  
 Bitume du mastic d'imprégnation :  
 Shell Mexphalte 100/40



**Photo 7**  
**Vue générale du barrage en eau**  
**General view of the dam with water**

facilement sont, du fait de leur qualité, de leur résistance au vieillissement, d'étanchéité et de prix avantageux, parmi les solutions les plus utilisées. Elles répondent particulièrement bien aux exigences des maîtres d'œuvre et d'ouvrage qui construisent des étanchéités d'ouvrages devant rester fonctionnelles plusieurs dizaines d'années sans nécessité d'entretien. La durabilité est l'un des points forts du Colétanche qui a été sélectionné par l'ANDRA pour assurer la couverture du centre de stockage Manche à La Hague (déchets radioactifs de faible et moyenne activité). Cette couverture doit rester étanche pendant 300 ans.

Il faut noter pour le barrage de l'Ortolo que le maître d'œuvre et maître d'ouvrage très expérimenté a choisi une solution simple faisant appel à un matériel classique parfaitement adapté aux conditions locales.

Le barrage de l'Ortolo est à ce jour le plus haut barrage dans le monde avec une étanchéité amont en géomembrane bitumineuse (photo 7), mais en 1999 il sera détrôné par celui de la Galaube sur l'Alzeau construit par l'Institution interdépartementale pour l'Aménagement Hydraulique de la Montagne Noire. Sa hauteur sera de 43 m, sa longueur en crête de 380 m, et la surface de masque de 22 000 m<sup>2</sup>.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### **Maître d'ouvrage et maître d'œuvre**

Office d'Équipement Hydraulique de la Corse

### **Entreprises**

#### • **Enrochements :**

Corse Européenne d'Entreprise

#### • **Béton :**

Ciabini et S.N.C. Mocchi

#### • **Injections :**

Sol Provence

#### • **Masque d'étanchéité :**

Groupement S.A. Corsovia (filiale de Colas Midi-Méditerranée) et S.N.C. Mocchi

## ENGLISH SUMMARY

### **The Ortolo dam Waterproofing with Colétanche geomembrane**

*Cl. Tisserand, J.-A. Sanguinetti, B. Breul,  
 Y. Gimenes, E. Antomarchi, R. Herment*

Experience of three major rockfill dams with upstream geomembrane waterproofing, built in Corsica, led the client to use this technique again for the new Ortolo dam.

This structure is currently the world's highest with a bituminous geomembrane waterproof facing.

The effect of exceptionally difficult weather conditions on the work phases led the contractor to consider a modification of the geomembrane support layer for the future structures. Also, the use of a slightly thicker geomembrane (5,6 mm instead of 4,8 mm) is recommended to simplify placement owing to the elimination of anti-puncturing geotextiles it allows. This project also enabled the first use on a slope of the automatic ultrasonic welding control machine.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### **Ortolo-Talsperre Dichtung mit Geomembran Colétanche**

*Cl. Tisserand, J.-A. Sanguinetti, B. Breul,  
 Y. Gimenes, E. Antomarchi, R. Herment*

Das Erfahrungs-Feedback aus den drei in Korsika gebauten großen Staumauern auf Steinschüttung mit oberwasserseitiger Geomembranabdichtung hat den Federführer veranlaßt, diese Technik auch im neuesten Bauvorhaben dieser Art (Ortolo) einzusetzen.

Es handelt sich hier um die zur Zeit höchste Staumauer der Welt mit einer Dichtungsvorlage aus bituminöser Geomembran.

Der Einfluß der außerordentlich ungünstigen Witterungsbedingungen auf den Arbeitsablauf hat den Federführer dazu geführt, für die künftigen Bauwerke eine Änderung der Stützschicht der Geomembran ins Auge zu fassen. Desweiteren wird die Verwendung einer etwas dickeren Membran (5,6 m statt 4,8 mm) empfohlen, weil sie durch den dann möglichen Wegfall der perforierungsverhindernden Geotextilien den Einbau erleichtert. Im Rahmen dieser Baustelle wurde auch zum ersten Mal die

automatische Schweißnahtprüfmaschine in Ultraschalltechnik auf einer geeigneten Fläche eingesetzt.

## RESUMEN ESPAÑOL

### **La presa del Ortolo Impermeabilización mediante una geomembrana Colétanche**

*Cl. Tisserand, J.-A. Sanguinetti, B. Breul,  
 Y. Gimenes, E. Antomarchi y R. Herment*

El aprovechamiento de la experiencia derivada de tres grandes presas de esollera, con impermeabilización aguas arriba mediante geomembrana, construidas en Córcega, ha conducido al responsable técnico a repetir esta técnica en el caso de la presa del Ortolo, que es la última construida en la isla. Hasta la fecha, esta presa es la más alta del mundo con una pantalla de impermeabilización compuesta por una geomembrana asfáltica.

La incidencia con respecto al desarrollo de las obras en condiciones meteorológicas excepcionalmente difíciles ha conducido al responsable técnico a contemplar para las estructuras futuras de este género, una modificación de la capa de soporte de la geomembrana. Por otra parte, cabe preconizar la utilización de una geomembrana ligeramente de mayor espesor (5,6 mm, en lugar de 4,8 mm) para simplificar la implementación debido a la supresión de los geotextiles antiperforantes que permite este modo de proceder. Estas obras han permitido también la primera utilización en un declive de la máquina de control automático de las soldaduras ultrasónicas.

# Construction d'un barrage en site urbain

## Le barrage de Nancy

**Frédéric Aury**

CHEF DE SECTEUR  
TRAVAUX  
Forézienne d'Entreprises



**Au dernier trimestre de l'année 1994, la Communauté urbaine du Grand Nancy a lancé la consultation pour l'aménagement de la section 4 de la Meurthe comprenant en particulier la reconstruction du barrage de Nancy sous forme d'un concours conception-réalisation. Forézienne d'Entreprises, titulaire du marché de génie civil en a réalisé les travaux ainsi que l'ensemble des terrassements généraux. Le barrage est un ouvrage "régulateur de crues" d'une centaine de mètres de longueur comprenant trois passes mobiles de 20 m et un seuil fixe. La retenue amont est de l'ordre de 5,00 m. Ce nouvel ouvrage a été construit en aval direct de l'ancien barrage datant de 1920 bénéficiant ainsi de sa protection" naturelle" durant les travaux. Les difficultés inhérentes au travail en rivière et le caractère très urbanisé de l'environnement des travaux a fortement pesé sur la définition et le suivi des phases de construction du barrage.**



**Photo 1**  
Le nouveau barrage inscrit dans son environnement urbain

*The new dam within its urban surroundings*

Les travaux d'aménagement de la Meurthe dans l'agglomération de Nancy répondent à de grands objectifs, à savoir :

◆ mettre les quartiers et terrains actuellement inondables à l'abri des crues ;

◆ réhabiliter la rivière en modifiant son image et faciliter la revalorisation des quartiers riverains.

C'est dans cette perspective que fut lancée au dernier trimestre 1994 par le district de l'agglomération nancéenne la consultation pour la reconstruction du barrage de Nancy (photo 1) sous la forme d'un concours conception-réalisation.

Après délibération du jury en janvier 1995, une équipe, formée de :

◆ trois entreprises groupées solidaires : SAE Ramelli (mandataire) pour les aménagements paysagers et de berges en rive droite, Forézienne d'Entreprises pour le génie civil du barrage et le recalibrage de la Meurthe et Canam pour la construction des vannes ;

◆ d'une maîtrise d'œuvre conceptrice, constituée par un cabinet d'architectes associé à un bureau d'études hydraulique fut retenue pour un montant global du projet de 48 millions de francs TTC. L'objet de cet article porte sur les travaux de reconstruction du barrage réalisés par Forézienne d'Entreprises, et qui constituent la principale difficulté du projet.

Les travaux se déroulant dans la ville même de Nancy, de grosses contraintes liées à l'exiguïté du site pour les transferts de la rivière et à l'impact des crues pesaient sur la définition du phasage des travaux.

### ■ LA CONCEPTION DU BARRAGE

Le projet prévoit la reconstruction du barrage de Nancy en aval direct de l'ancien barrage dont la construction date des années 1920 (photo 2). Ce

**Photo 2**  
Construction du génie civil du premier seuil mobile et de la culée rive gauche. A droite, le ponton métallique provisoire permettant l'accès d'une rive à l'autre. A l'extrême gauche, les structures de l'ancien barrage, encore en place

*Civil engineering work on the first mobile threshold and the left bank abutment. On the right, the temporary steel bridge giving access from one bank to the other. On the extreme left, the structures of the old dam, still in place*



Photo 3

Le nouveau barrage dans sa configuration finale. De gauche à droite, le seuil fixe puis les trois passes mobiles, la passe à poissons et les gabions de la culée rive gauche

*The new dam in its final configuration. From left to right, the fixed threshold and then the three mobile passes, the fish pass and the gabions of the left bank abutment*



Photo 4

Le chenal de dérivation pendant une crue de la Meurthe avant le début des travaux de génie civil.

En arrière plan, le ponton métallique provisoire

*The diversion channel used during a flood on the Meurthe river before the start of the civil engineering works. In the background, the temporary steel bridge*



Photo 5

Réalisation de la passe à poissons entre la culée rive gauche et la pile du premier seuil mobile. Les chicanes forment une pente d'eau sur une longueur de 37 m

*Construction of the fish pass between the left bank abutment and the pier of the first mobile threshold. Baffles form a water slope along a length of 37 m*

## LES PRINCIPALES QUANTITÉS

### Barrage : génie civil

- Palplanches : 400 t
- Bétons : 3000 m<sup>3</sup>
- Coffrages : 2000 m<sup>2</sup>
- Aciers pour béton armé : 100 000 kg
- Gabions et terramesch : 1500 m<sup>3</sup>

### Terrassements généraux

- Déblais : 120 000 m<sup>3</sup>
- Remblais : 30 000 m<sup>3</sup>



dernier doit être démolé dans le cadre de nos travaux. Le nouveau barrage (photo 3) comprend :

- ◆ trois passes indépendantes de 20 m de longueur destinées à recevoir les clapets mobiles ;
- ◆ un seuil fixe et déversant de 32,5 m de longueur implanté en rive droite ;
- ◆ une passe à poissons intégrée à la culée rive gauche du barrage.

Le génie civil du barrage est conçu comme suit. Pour la partie seuil mobile, les trois passes sont identiques et comprennent :

- ◆ un radier général de 13,80 m de largeur et de 0,75 m à 2,25 m d'épaisseur, encagé entre deux rideaux de palplanches battues au refus et constituant l'étanchéité en amont et le parafouille en aval ;
- ◆ les piles sont constituées de voiles verticales de 18,00 m de longueur, de hauteur variable (4,20 m à 6,20 m) et de 1,00 m d'épaisseur. L'extrémité arrondie des voiles est inclinée de 15° par rapport à la verticale en aval et l'extrémité aval est découpée par une série de marches de 0,5 m de hauteur unitaire, l'ensemble formant une pente de 2H/1V ;

◆ les sous-pressions sous le radier en aval direct de la retenue sont limitées grâce à un rideau vertical de drains ou puits de décharge mis en œuvre en amont de l'aval radier.

La partie seuil fixe du barrage comprend :

- ◆ en aval, un mur vertical en béton de 0,30 m d'épaisseur implanté dans le prolongement des palplanches d'étanchéité ;
- ◆ en amont, un perré béton penté à 2H/1V destiné à protéger de l'érosion le corps du seuil fixe constitué par un remblai stabilisé au liant routier. En rive gauche, la culée du barrage est réalisée par une passe à poissons de 37 m pour une hauteur de chute de 6,00 m. Pour des raisons esthétiques, l'association du barrage avec les berges est établie par des massifs à parement minéral du type "gabions". Compte tenu des hauteurs à mettre en œuvre (de l'ordre de 10,00 m), la conception de ces ouvrages de soutènement s'est orientée vers des ouvrages en sol renforcé à parement gabion plutôt que des murs-poids classiques. Cette solution est techniquement plus fiable et plus économique.

## ■ MÉTHODOLOGIE D'EXÉCUTION

### Principe général

Compte tenu des périodes de neutralisation imposées par la rivière, les travaux de construction du barrage se répartissent de la façon suivante :

- ◆ période d'étiage (mai à novembre) : construction du génie civil du barrage dans le lit de la Meurthe ;
- ◆ période hivernale de "hautes eaux" (décembre à avril) : travaux réservés sur les berges : construction des culées et du seuil fixe.

Les travaux bénéficient de la protection "naturelle" que constitue l'ancien barrage. L'ouvrage peut donc être entièrement réalisé à sec à l'intérieur de batardeaux de faibles emprises. Ceux-ci sont fusibles de manière à limiter l'effet de crues éventuelles sur l'environnement. Le chantier accepte d'être submergé durant les crues importantes.

### Travaux préparatoires

Les travaux préparatoires ont débuté par la construction d'un accès au lit de la Meurthe pour atteindre la rive gauche par la rive droite, l'accès direct par la rive gauche n'étant pas autorisé. Cet accès est constitué :

- ◆ d'une rampe en déblais de 70,00 m de long dans la berge rive droite ;
- ◆ d'un ponceau métallique à deux travées de 10,00 m enjambant le chenal de dérivation de la rivière et permettant le passage d'un débit d'orage de 110 m<sup>3</sup>/s (photo 4). Cet ouvrage provisoire est dimensionné pour supporter la circulation des engins de terrassements et des grues de battage des palplanches.

### Cinématique de construction du barrage

Les travaux ont débuté au mois de septembre 1995 et le phasage a été le suivant :

- ◆ septembre - novembre 1995 : construction de la première passe mobile en rive gauche. Après réglage de la plate-forme et des merlons en terre du batardeau, les rideaux de palplanches amont et aval sont battus sur l'emprise d'une passe et demi (30,00 ml). Le génie civil de la première passe, radier et deux piles, est construit à sec (photo 2) ;
- ◆ décembre 95 - avril 96 : culée rive gauche et passe à poissons (photo 5). Durant cette période, les travaux sont déplacés en rive gauche pour libérer le lit de la Meurthe. Des casiers de faible emprise protègent les travaux des venues d'eau intempestives ;
- ◆ avril 96 - avril 97 : reprise des travaux en rivière - construction des passes mobiles restantes et du seuil fixe. Les palplanches sont battues sur l'emprise totale du barrage. Leur niveau est abaissé de



Photo 6  
Le seuil fixe pendant sa construction

*The fixed threshold during its construction*



Photo 7  
Après démolition de l'ancien barrage et la suppression de la corne des Tricoteries, le plan d'eau créé par le nouvel ouvrage et l'aménagement des berges forment un ensemble revalorisant pour les quartiers environnants. En arrière plan, travaux d'enlèvement du seuil fixe provisoire en limite amont du chantier

*After demolition of the old dam and the elimination of the Corne des Tricoteries, the water body created by the new structure and the work on the banks form a whole enhancing the surrounding neighbourhoods. In the background, works for raising the temporary fixed threshold at the upstream limit of the site*

80 cm sur l'emprise du seuil fixe qui passe sur le canal de dérivation de la rivière, de manière à permettre l'écoulement du débit d'étiage.

Les travaux de génie civil progressent de la rive gauche vers la rive droite. Une fois les seuils mobiles réalisés, la rivière est transférée en rive gauche et le seuil fixe peut être construit à sec (photo 6) ;

- ◆ mai 97 - octobre 97 : terrassements de la corne des Tricoteries et reprofilage du lit de la Meurthe sur 250 m en amont du nouveau barrage - démolition de l'ancien barrage.

Les terrassements (environ 60 000 m<sup>3</sup>) et la démolition de l'ancien barrage ont été réalisés à sec à l'abri d'une digue provisoire construite perpendiculairement au lit de la Meurthe à l'extrême limite amont du chantier (photo 7).

La confection et le calage altimétrique de cette digue a donné lieu à une étude hydraulique poussée afin, de minimiser l'influence d'un tel barrage sur le niveau de la nappe phréatique de la ville de Nancy où d'anciennes bâtisses sont fondées sur pieux en bois, et de réduire l'impact des crues

de la rivière sur le voisinage. Cette étude a servi de base à la rédaction d'un arrêté préfectoral en application de l'article 20 du décret du 29 mars 1993 d'application de la loi sur l'eau.

## ■ CONCLUSIONS

Les travaux se sont achevés fin mars 1998 respectant ainsi le calendrier prévu. Les crues de novembre 96 et février 97 ont gêné les travaux durant plus d'un mois. La crue de novembre 1997 a entraîné la rupture d'une vanne de l'ancien barrage stoppant les travaux sur le seuil fixe et érodant fortement l'emprise de sa fondation (profondeur de l'ordre de 4,00 m). Un rattrapage de niveau a dû être effectué ensuite à l'aide d'une grave stabilisée au liant routier complétée par un gros béton.

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### ***Maître d'ouvrage***

Communauté urbaine du Grand Nancy

#### ***Représentant du maître d'ouvrage***

Solorem

#### ***Assistant technique du maître d'ouvrage***

Service Navigation du Nord-Est

#### ***Concepteurs***

Stucky Ingénieur Conseil

#### ***Atelier de paysages***

Bruel/Delmar

#### ***Entreprises***

Groupement : SAEE Ramelli - Forézienne d'Entreprises - Canam

#### ***Méthodes d'exécution***

BET Forézienne d'Entreprises

## ENGLISH SUMMARY

### Building a dam in an urban site.

#### The Nancy dam

Fr. Aury

In the last quarter of 1994, the Urban Community of Greater Nancy sent out a call for tenders for works on section 4 of the Meurthe river including in particular the reconstruction of the Nancy dam in the form of design-build competitive bidding.

Forézienne d'Entreprises, awarded the civil engineering contract, completed the civil engineering work on the dam as well as all the general earthworks. The dam is a "flood regulating" structure about a hundred metres long with three mobile passes of 20 m and a fixed threshold. The upstream pond is of the order of 5,00 m.

This new structure was built directly downstream of the old dam dating back to 1920, thus benefiting from its "natural" protection during the works.

The difficulties inherent in working in the river and the highly urban-developed surroundings made difficult the definition and following of the dam's construction phases.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Bau einer Talsperre in einem urbanen Umfeld. Die Talsperre Nancy

Fr. Aury

Im letzten Quartal 1994 hat der Stadtverband Groß-Nancy die Gestaltung der Sektion 4 der Meurthe, wozu insbesondere der Neubau der Talsperre Nancy gehört, als Auslegungs-Ausführung-Wettbewerb ausgeschrieben. Forézienne d'Entreprises hat den Auftrag für den Tiefbauanteil erhalten und die entsprechenden Arbeiten einschließlich sämtlicher allgemeinen Erdarbeiten ausgeführt.

Diese ca. 100 m lange Stauanlage umfaßt drei bewegliche Wehre (20 m) und eine feste Schwelle. Die oberwasserseitige Stauhöhe beträgt 5,00 m.

Dieses neue Bauwerk wurde unmittelbar hinter der alten Staumauer aus dem Jahre 1920 errichtet, die so während der Bauarbeiten einen "natürlichen" Schutz bieten konnte.

Die der Arbeit im Fluß innewohnenden Schwierigkeiten und das stark urbani-

sierte Umfeld haben die Definition und die Verfolgung der Bauphasen für die Stauanlage erschwerend beeinflusst.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Construcción de una presa en medio urbano. La presa de Nancy

Fr. Aury

Durante el último trimestre del año 1994, la Comunidad Urbana del Gran Nancy, inició la consulta con miras al acondicionamiento de la sección 4 del río Meurthe, que incluye, básicamente, la reconstrucción de la presa de Nancy en forma de una licitación proyecto-ejecución.

La constructora Forezienne d'Entreprises, titular de la contrata de ingeniería civil, ha ejecutado las obras correspondientes, así como el conjunto de los movimientos de tierras generales. La presa es del tipo de "regulación de avenidas" y mide unos cien metros de longitud, con tres vertederos móviles de 20 m y un vertedero fijo. El embalse aguas arriba es de unos 5 m de altura. Esta nueva presa se ha construido directamente aguas abajo de la antigua presa construida en 1920, y se ha beneficiado así de su protección "natural" durante las obras.

Las dificultades derivadas de estas obras en el río, así como el carácter sumamente poblado del entorno de las operaciones, ha influido de forma acusada en la definición y el seguimiento de las etapas de construcción de la presa.

# Nancy : une écluse pour naviguer au gabarit rhénan

## L'écluse de Clévant

**C'est grâce à une solution originale proposée par Forézienne d'Entreprises que l'allongement de l'écluse de Clévant n'a interrompu le trafic fluvial, sur le port de Nancy-Frouard, que pendant quinze jours, du 29 mai au 12 juin 1997; ce chantier de 20 millions de francs s'est pourtant étalé sur un an, d'octobre 1996 à octobre 1997.**

**La solution de base prévoyait la construction d'un caisson, en béton préfabriqué dans une enceinte en palplanches, amené par flottaison et échoué dans le prolongement de l'ancienne écluse. Ce procédé nécessitait des travaux préparatoires lourds et coûteux et condamnait l'écluse à petit gabarit jouxtant l'ouvrage à allonger. En solution variante, Forézienne d'Entreprises a choisi de construire les bajoyers en place en édifiant, sur les rives, deux enceintes de palplanches, butonnées et tirantées.**

**Ces enceintes ont été terrassées jusqu'à 10 m de profondeur environ, puis remplies de béton armé après la mise en place des dispositifs d'exhaure (aqueducs). Pendant les 15 jours d'interruption du trafic, le radier a pu être coulé après la mise à sec du sas et les portes ont été mises en place.**

Voies Navigables de France a lancé un appel d'offres en mars 1996 pour l'allongement à 120 m de l'écluse de Clévant pour l'accès au port de Nancy-Frouard. C'est Forézienne d'Entreprises qui a obtenu le marché en juin 1996 sur la base d'une solution variante large.

### ■ LA SITUATION AVANT TRAVAUX

L'accès au port de Nancy-Frouard est assurée par les deux écluses de Clévant dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ◆ une écluse à petit gabarit dit "Freycinet" avec portes amont et aval busquées à vantelles ;
- ◆ une écluse de longueur utile 100 m et de largeur 12 m avec portes amont et aval busquées et alimentation du sas par aqueducs longitudinaux.

La hauteur de chute des deux écluses est de 3,00 m. En plus de l'accès au port de Frouard, les écluses de Clévant assurent la jonction du canal de la Marne au Rhin avec la Moselle canalisée.

Le port de Frouard est le seul port du bassin de la Moselle à grand gabarit ne pouvant recevoir les convois poussés et les rhénans de 110 m de long. Cette particularité constitue un handicap économique majeur par rapport aux autres ports du bassin de la Moselle et des ports rhénans alors que 60 % du parc de bateaux prévu pour l'an 2000 auront une longueur supérieure à 100 m. Ce manque de compétitivité, estimé à un surcoût du prix de revient des transports fluviaux de l'ordre de 15 %,

risque, à court terme, de marginaliser le port de Nancy-Frouard.

Dans ce contexte, l'allongement de l'écluse actuelle de Clévant est devenu un projet régional prioritaire et donc très sensible.

### ■ LA SOLUTION RETENUE

Les études de faisabilité de l'allongement de l'écluse de Clévant ont opté pour la construction d'une nouvelle tête aval avec remplacement des portes aval busquées par des portes neuves du même type.

La tête aval de l'écluse a une forme en U, constituée de deux bajoyers de 6,50 m d'épaisseur pour 10 m de hauteur et 22 m de longueur. Ils sont reliés entre eux par un radier de 12 m de largeur, correspondant au gabarit de navigation. En construisant une nouvelle tête aux dimensions identiques à l'extrémité aval de cette écluse, on obtient une augmentation de longueur supérieure à 20 m permettant ainsi de disposer d'une écluse de 120 m de longueur utile.

Au niveau des équipements, la nouvelle tête assurera la continuité des aqueducs pour permettre la vidange du sas et le logement des portes et de ses organes de manœuvre. Afin de disposer d'un tirant d'air suffisant lorsque l'écluse est en tenue amont, le projet prévoit la destruction de l'ancien pont enjambant l'actuelle tête et sa reconstruction décalée d'une vingtaine de mètres vers l'aval.

**Frédéric Aury**



CHEF DE SECTEUR  
TRAVAUX  
Forézienne d'Entreprises

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maîtrise d'ouvrage**

Voies Navigables de France

#### **Maîtrise d'œuvre**

Navigation du Nord-Est

#### **Entreprise**

Forézienne d'Entreprises

#### **Principaux sous-traitants**

• **Palplanches, démolitions, terrassements, dragages :**

Groupement Vilault SA/Semip

• **Équipements hydrauliques et électriques, porte d'écluse :**

Eurosid

• **Métallerie :**

S.F.T.I.

**Photo 1**  
 Vue du batardeau rive droite.  
 Terrassements en cours jusqu'au 2<sup>e</sup> lit de buton.  
 En premier plan, vue du dispositif "double lierne" contre les chocs de bateaux  
*View of right bank cofferdam. Earthworks in progress up to the second row of struts.  
 In foreground, view of the double fender waling against boat impacts*



**Photo 2**  
 Rive gauche.  
 Mise en œuvre des palplanches en eau  
 Left bank.  
 Placing sheet piles in the water



## ► ■ LES CONTRAINTES TECHNIQUES

Les arrêts de navigation sur la Moselle ont un impact financier très lourd. C'est pourquoi des sujétions d'exécution importantes ont été imposées aux entreprises pour la réalisation des travaux :

- ◆ la navigation sur l'écluse à grand gabarit est organisée de façon qu'un bateau se présentant à l'écluse n'attende pas plus de 2 heures le jour et 6 heures la nuit;
- ◆ l'arrêt total de la navigation sur l'écluse (dite "période de chômage") à grand gabarit est limité à quinze jours.

## ■ LA SOLUTION DE BASE DU DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

La solution de base proposée au DCE consistait à préfabriquer la nouvelle tête de l'écluse dans une enceinte de palplanches réalisée en site aquatique face à l'écluse Freycinet, à la transporter par flottaison et à l'échouer sur son implantation définitive.

Afin de permettre une telle manœuvre, la structure des bajoyers était complexe, composée d'alvéoles en voiles minces fortement armées.

Cette solution technique imposait une organisation et un phasage de chantier délicats car non classiques et comportait un grand nombre de travaux uniquement imposés par la phase de flottaison, en particulier :

- ◆ la confection d'une aire de préfabrication en site aquatique ;
- ◆ l'élargissement du canal pour manœuvrer le caisson.

Cette étape nécessitait l'arrachage de palplanches existantes sur plus de 100 ml, leur remplacement en implantation reculée en phase provisoire puis la reconstitution des berges à l'identique en phase définitive. Compte tenu des hauteurs de sol à soutenir, ces palplanches devaient être toutes tirantées ;

- ◆ l'approfondissement du canal sur le tracé de la flottaison...

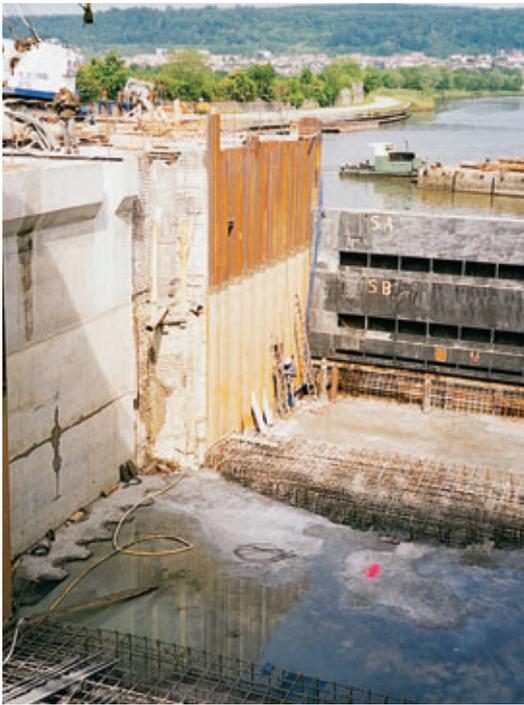
## ■ LA SOLUTION VARIANTE

Afin de s'affranchir de tous les travaux lourds et coûteux inhérents à la flottaison, la Forézienne d'Entreprises a proposé dans son offre et en solution variante de réaliser l'extension de l'écluse directement à son emplacement. C'est cette solution qui a été retenue par le maître d'ouvrage VNF pour la réalisation.

Les bajoyers ont été construits en béton moyennement armé à l'abri de deux enceintes en palplanches butonnées et tirantées. Les palplanches servant de coffrage au béton, celles-ci restent apparentes dans la configuration définitive de la tête, hormis au droit des chambres de portes où elles ont été découpées et récupérées.

En rive droite, les palplanches existantes ont été conservées et intégrées au batardeau. Compte tenu de la présence de ce rideau tiranté, les phases d'exécution ont été les suivantes :

- ◆ pré Terrassement de la plate-forme sur 1,50 m pour visualiser les anciens tirants ;
- ◆ terrassement jusqu'à une profondeur de 3,00 m afin de décharger les palplanches existantes et les rendre autostables ;
- ◆ récupération des anciens tirants et du contre-rideau arrière ;



**Photo 3**  
Réalisation du radier durant la période de "chômage" et après mise à sec du sas

*Construction of foundation during the "idle" period and after dewatering the lock*

- ◆ mise en fiche et battage des rideaux complémentaires pour fermer le batardeau;
- ◆ battage du contre-rideau et remise en place des anciens tirants pour stabiliser le rideau arrière du batardeau;
- ◆ terrassement à l'intérieur du batardeau jusqu'au premier lit de buton (-3,00 m);
- ◆ mise en place du premier lit de buton;
- ◆ terrassement à l'intérieur du batardeau jusqu'au second lit de buton déchargement (-5,50 m) (photo 1);
- ◆ mise en place du second lit de buton;
- ◆ terrassement jusqu'au fond du batardeau (-9,50 m);
- ◆ coulage d'un béton de blocage en pied servant de dernier lit de buton. Ce béton est mis en œuvre sur un complexe drainant de type Enkadrain et possède des réservations pour éviter les effets de sous-pressions éventuelles.

Compte tenu de la nature des sols situés à la base des batardeaux (marnes), les venues d'eau par le fond ou par contournement des rideaux ont été négligeables comme prévu initialement à l'étude, évitant ainsi de recourir à la technique du radier ancré.

Les travaux sur les bajoyers ont été réalisés sous navigation avec des risques de chocs sur les rideaux de palplanches situés de part et d'autre du gabarit de navigation.

Une structure capable d'amortir les chocs de bateaux a donc été mise en œuvre au niveau de la



**Photo 4**  
Mise en œuvre des deux vantaux de la porte busquée pré-réglée sur un gabarit durant la période de "chômage"

*Installation of the two leaves of the mitred door pre-adjusted on a gauge during the "idle" period*

première ceinture de liernes et butons. La première ceinture est constituée de liernes HEB 400 en vis-à-vis reliées par un réseau de butons de même profil et espacés tous les 4 ml. Dans cette configuration, les éléments "fragiles" de la structure sont les butons. Leur "fragilité" est liée au phénomène de flambement susceptible d'entraîner une rupture soudaine en cas de choc. Dans ces conditions, il a été recherché une structure capable d'amortir les chocs en sollicitant au minimum les butons.

La lierne côté canal a été doublée. Ces deux liernes (photo 1) espacées de 20 cm et reliées entre elles par des plots en bois de rigidité à l'effort normal inférieure à celle des butons, permettaient alors d'absorber l'énergie de choc des bateaux en réduisant les efforts sur les butons, minimisant ainsi les risques de rupture accidentelle.

En rive gauche, le bajoyer a été réalisé suivant le même principe de phasage. En l'absence de rideau existant côté canal, les palplanches ont été battues en eau depuis le pointis de l'estacade centrale (photo 2).

Durant les quinze jours d'interruption de la navigation, entre le 29 mai 1996 et le 12 juin 1997, le radier a pu être coulé après la mise à sec du sas et les portes busquées ont été installées (photos 3 et 4).

Cette variante, d'un montant de 20 millions de francs TTC, a généré une économie de 5 millions TTC, sur la solution de base du DCE. Compte tenu

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Palplanches : 200 000 kg
- Butons, liernes, tirants : 90 000 kg
- Bétons : 3 300 m<sup>3</sup>
- Aciers pour béton armé : 100 000 kg
- Terrassements spéciaux et dragage : 3 000 m<sup>3</sup>

des difficultés rencontrées dans la mise en fiche des palplanches, difficultés inhérentes aux caractéristiques de sol élevé de la couche d'ancrage, et aux conditions climatiques extrêmes du début de l'année (pointes jusqu'à - 17 °C), l'entreprise a mené une véritable course contre la montre pour livrer l'ouvrage, juste avant le démarrage de la saison céréalière.

En effet, l'ouverture de la nouvelle écluse au gabarit rhénan a pu être effectuée dès le début du mois de juillet 1997 (photos 5 et 6).

L'enjeu était de taille ; les entreprises ont su relever le défi !



**Photo 5**  
L'écluse de Clévant dans sa configuration actuelle constitue une nouvelle porte qui permet aux convois poussés de 3 000 t et aux automoteurs rhénans de 110 m de long d'accéder au port de Nancy-Frouard

*The Clévant lock in its present configuration has a new door which allows pushed convoys of 3,000 t and self-propelled Rhine boats 110 m long to access the Nancy-Frouard port*



**Photo 6**  
Le nouvel aménagement vu côté port  
*Present configuration from the port view*

## ENGLISH SUMMARY

### Nancy : a lock for Rhine gauge navigation. The Clévant lock

Fr. Aury

Thanks to an original solution proposed by Forézienne d'Entreprise, the interruption of waterway traffic at the Nancy-Frouard port during the extension of the Clévant lock could be limited to 15 days, from 29 May to 12 June 1997; and yet, this FF20 million project was spread out over a year, from October 1996 to October 1997.

The basic solution called for the construction of a caisson in precast concrete within a sheetpile enclosure, brought in by floating and sunk in the extension of the old lock. This technique would have required significant and costly preparatory works and the closing of the small-gauge lock next to the structure to be extended. In the alternative solution, Forézienne d'Entreprises chose to build the lock walls in place by setting up on the banks two braced and tied-rodged sheetpile enclosures. These enclosures were set at a depth of about 10 m then filled with reinforced concrete after the placing of outlet devices (culverts). During the 15 days of interrupted traffic, the foundation was poured after dewatering the lock and the doors were installed.

## DEUTSCHES KURZREFERAT

### Umbau der Schleuse Clévant bei Nancy auf das rheinische Format

Fr. Aury

Dank eines innovierenden Lösungsvorschlags von Foréziennes d'Entreprises wurde durch die Verlängerung der Schleuse Clévant die Flußschiffahrt im Hafen von Nancy-Frouard nur vierzehn Tage lang (vom 29. Mai bis 12. Juni 1997) unterbrochen, obwohl die Bauarbeiten für diese Maßnahme mit einem Investitionsvolumen von 20 Mio. FF insgesamt ein Jahr (von Oktober 1996 bis Oktober 1997) gedauert haben.

In der Basislösung war vorgesehen, in einem Spundwandcontainment einen Lieferbetonkasten einzusetzen, der schwimmend antransportiert und in der Verlängerung der vorhandenen Schleuse auf Grund gesetzt werden sollte. Dieses Verfahren bedingte eine aufwendige

und kostenträchtige Vorbereitung und verlangte die Verlängerung der Schleuse kleineren Formats neben dem neuen Bauwerk. In der Lösungsvariante von Forézienne d'Entreprises wurden die Wangenmauern vor Ort gebaut, indem an beiden Ufern zwei Spundwandcontainments mit Streben und Zugstangen errichtet wurden. Hierfür waren die Erdarbeiten bis in ca. 10 m Tiefe durchgeführt worden. Nach Aufbau der Entleerungseinrichtungen (Aquädukte) wurden die Containments mit Stahlbeton gefüllt. Während der 14 Tage der Verkehrsunterbrechung wurden nach der Trockenlegung der Schleuse die Sohlplatte gegossen und die Türen montiert.

## RESUMEN ESPAÑOL

### Nancy : esclusa para la navegación en gálibo renano.

#### La esclusa de Clévant

Fr. Aury

Las obras de prolongación de la esclusa de Clévant se han podido llevar a cabo mediante una solución original propuesta por la constructora Forezienne d'Entreprises sin interrupción del tráfico fluvial, salvo durante los días 29 de mayo al 12 de junio de 1997. Estas obras, de un importe de 20 millones de francos se han prolongado durante un lapso de un año, desde octubre de 1996 hasta octubre de 1997.

La solución básica consistía en la construcción de un cajón, de hormigón prefabricado en un recinto de tablestacas, transportado por flotación y anclado en la prolongación de la antigua esclusa. Este procedimiento requería trabajos preparatorios importantes y costosos y condenaba a la esclusa de gálibo inferior adjunta a la estructura que se trataba de prolongar. Como solución alternativa, la empresa constructora Forezienne d'Entreprises ha optado por construir in situ los muros, levantando en los costados dos recintos de tablestacas, apuntaladas y fijadas por tirantes. Estos recintos se han excavado hasta 10 m de profundidad, aproximadamente, y, a continuación, rellenados de hormigón armado tras la implantación de los dispositivos de vaciado (acueductos). Durante los 15 días de interrupción del tráfico, se ha hormigonado la solera tras haber puesto en seco el cuenco y las puertas de la esclusa.