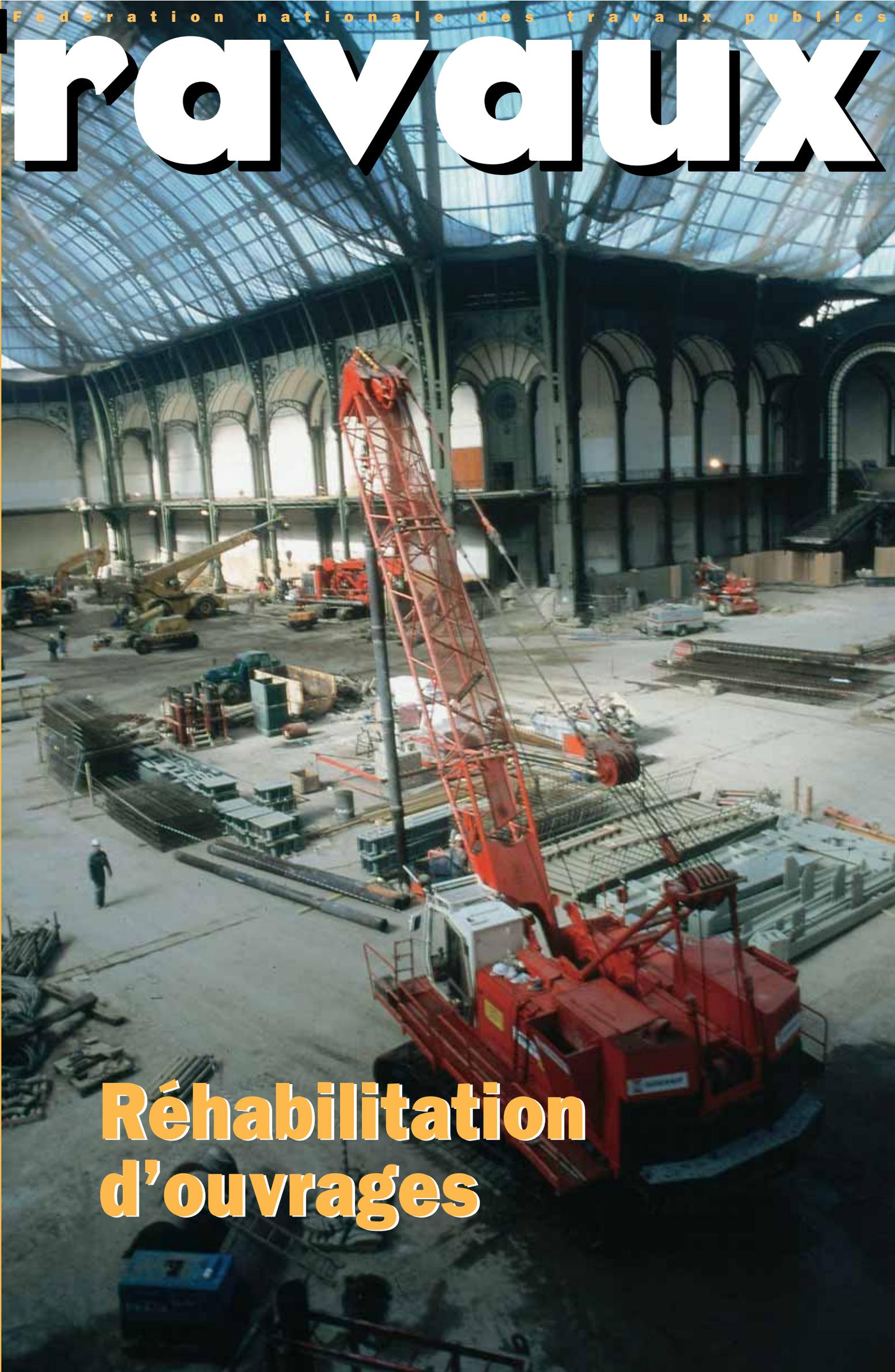


Travaux

n° 791

- Réhabilitation et modernisation du tunnel du Mont-Blanc
- Réhabilitation de la piste 2 de l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle
- Travaux de réparations et rénovations du métro parisien
- Réhabilitation d'une partie du canal d'Oraison
- Réhabilitation du réservoir d'eau potable de Tortel (Var)
- Besançon : une nouvelle vie pour les égouts
- Réparation et renforcement d'ouvrages de génie civil en milieu industriel
- Grand Palais. Travaux de rénovation des fondations et instrumentation de contrôle
- Pour une approche intégrée des travaux de maintenance et réhabilitation



Réhabilitation d'ouvrages

Travaux

numéro 791

novembre 2002

Réhabilitation d'ouvrages



Notre couverture

Le Grand Palais en travaux

© Soletanche Bachy

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. : (33) 0144133144

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart

Tél. : (33) 024118 11 41

Fax : (33) 024118 11 51

Francoise.Godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Olivier Schaffer

9, rue Magellan - 75008 Paris

Tél. : (33) 0140738005

revuetravaux@wanadoo.fr

France : 155 € TTC

Etranger : 190 €

Prix du numéro : 19 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H

8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris

Tél. : (33) 0144648420

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle

Isabelle Duflos

61, bd de Picpus - 75012 Paris

Tél. : (33) 0144748636

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).

Éditions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

actualités

matériels

PRÉFACE

Christian Tridon

RÉHABILITATION D'OUVRAGES

◆ Réhabilitation et modernisation du tunnel du Mont-Blanc : les points clés des travaux de génie civil - *Rehabilitation and modernisation of the Mont-Blanc tunnel : key aspects of civil engineering works*

Ch. Aubert

◆ La réhabilitation de la piste 2 de l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle. Un chantier express - *Rehabilitation of runway 2 at Roissy-Charles-de-Gaulle Airport. A high-speed project*

B. Sala

◆ Travaux de réparations et rénovations du métro parisien - *Repair and renovation works on the Paris underground*

E. Lapie, A. Juvet

◆ Le canal d'Oraison. Réhabilitation d'une partie du canal reliant le lac de Serre-Ponçon à l'étang de Berre - *The Oraison Canal. Rehabilitation of part of the canal linking Serre-Ponçon lake to Berre pond*

P. Ferrari

◆ Réhabilitation du réservoir d'eau potable de Tortel (Var) et étanchéité des cuves par revêtement résine armée - *Rehabilitation of the potable water reservoir at Tortel (Var region) and waterproofing of the tanks with a reinforced resin coating*

V. Pech

◆ Besançon : une nouvelle vie pour les égouts. La réhabilitation des collecteurs s'offre des matériaux composites - *Besançon : a new life for the sewers. Rehabilitation of the main sewers is performed with composite materials*

L. Coty



Sommaire

novembre 2002

Réhabilitation d'ouvrages

Dans les prochains numéros

International

Ponts

Travaux

souterrains

Routes

Recherche

et innovation

Terrassements

Sols

et fondations

Environnement

Travaux urbains



◆ Réparation et renforcement d'ouvrages de génie civil en milieu industriel
- *Repair and reinforcement of civil engineering structures in an industrial environment*

P. Faure

45



◆ Le Grand Palais. Travaux de rénovation des fondations et instrumentation de contrôle
- *The Grand Palais. Foundation renovation works and control instrumentation*

V. Dore, Y. Amicel, G. Salvi

51



◆ Pour une approche intégrée des travaux de maintenance et réhabilitation
- *For an integrated approach to maintenance and rehabilitation works*

J. Chevalier, J. Lair, M. Rubaud

60

économie

67

**répertoire
des fournisseurs**

74

**ABONNEMENT
TRAVAUX**

Encart après p. 48

Permettez-moi, pour commencer, de rappeler ce qu'écrivait un inspecteur général des ponts et chaussées ¹ "Les grands ingénieurs en génie civil ont toujours privilégié l'art de construire au détriment de l'art de réparer... il est rare d'inaugurer une réparation".

S'il est vrai que l'acte de construire reste une valeur positive, celui de réparer, sans aller jusqu'à le comparer à un constat d'échec, présente un caractère plus obscur et généralement moins valorisant.

Nos pays, pour la plupart, ont atteint un niveau d'équipement remarquable. Le génie civil s'y est inscrit sous toutes ses formes, ponts, routes, tunnels, barrages, réservoirs, usines, etc. Et tout cela en un temps relativement court. La compétence et l'imagination de l'ingénieur ont produit des ouvrages de structure toujours plus audacieuse. Cette audace, en ce domaine, semble ne plus avoir de limite.

Un ouvrage de génie civil est la conséquence d'un besoin, le plus souvent économique, nécessité par la demande de progrès de notre société. Il est généralement conçu et réalisé dans un mélange de plaisir et de douleur. Cette "gestation" achevée, il remplira la fonction pour laquelle les hommes l'ont construit et, comme eux, subira les effets dévastateurs du temps.

L'ouvrage va vieillir, ses capacités diminueront, sa structure va se modifier. Nous le savons, nous le constatons. Si la médecine a fait d'énormes progrès, reconnaissons qu'elle y a mis du temps. Ces ouvrages, si l'on exclut certaines structures très anciennes et paradoxalement en bon état, bien que relativement jeunes, présentent des dégradations d'importance proportionnelle à leur conception et à leur environnement.

La prise en compte du vieillissement commence tout juste à être prise en considération. Outre les catastrophes naturelles, contre lesquelles, malheureusement, il nous est difficile de nous opposer efficacement, les effets courants que provoquent, sur ces ouvrages, les intempéries ainsi que l'accroissement des contraintes d'utilisations modifient considérablement les réactions dont ils étaient initialement capables.

Le fonctionnement de nos sociétés est essentiellement tributaire de ces structures. Leur dysfonctionnement peut engendrer des conséquences financières énormes.

Nous ne pouvons plus ignorer ce paramètre. Il est inconcevable, aujourd'hui, de voir un axe routier important ne plus remplir sa fonction parce que les ouvrages d'art dont il est équipé ne sont plus en état de recevoir les contraintes auxquelles cette voie de communication doit répondre. Dans toute industrie, la notion de maintenance est une donnée indissociable de la rentabilité, "Si tu veux produire, entretiens et protège

ton outil". Il est donc évidemment nécessaire d'entretenir et de réparer ces structures. Elles constituent économiquement, un actif qui ne doit pas se dévaloriser, et culturellement, un patrimoine que nous devons de respecter.

A l'image du docteur en médecine qui doit, après avoir constaté la pathologie, construire un diagnostic et préconiser un traitement, l'ingénieur en génie civil doit également dresser une bonne expertise et en déduire un projet de réparation efficace.

Pour cela, il devra en acquérir la compétence, tout comme les entreprises qui seront appelées à mettre en œuvre ces procédés de réparation.

Nous touchons ici le cœur du problème. En effet, le domaine de la réparation est, nous l'avons vu, relativement récent. Son enseignement, basé

sur l'expérience de quelques spécialistes, est très limité. Les techniques auxquelles il fait appel, bien que certaines soient déjà anciennes, sont souvent mal connues et très souvent mal appliquées.

C'est pour ces raisons, que le STRRES², syndicat professionnel que je représente, a décidé de poursuivre son action sur plusieurs fronts. D'abord la reconnaissance de ses métiers, ensuite œuvrer dans le sens d'une véritable qualification du praticien pour ne plus voir des techniques efficaces souvent sabordées par un manque évident de savoir-faire, sensibiliser les jeunes à nos domaines d'activités en leur démontrant qu'ils y pourront, sans doute plus qu'ailleurs, assouvir l'épanouissement personnel qu'ils méritent, enfin participer activement à la recherche et à l'élaboration de techniques toujours mieux adaptées aux renforcements des structures.

Les méthodes de réparation font aujourd'hui appel à des techniques très

sophistiquées utilisant des matériaux de très hautes performances.

La formation à ces métiers est nécessaire, elle manque à tous niveaux, à l'enseignant, à l'ingénieur de bureau d'études, à l'entrepreneur. Mais aussi, et j'oserais dire surtout, aux maîtres d'œuvre qui, par manque d'expérience dans ces techniques, élaborent souvent des solutions peu audacieuses là où des variantes d'entreprises pourraient être plus efficaces.

Un contrôle rigoureux des travaux est garant de qualité, sur ce registre aussi la maîtrise d'œuvre se doit, vis-à-vis de l'ensemble de la profession, de faire respecter les cahiers des charges. La qualité de nos entreprises et leur équilibre économique passent par la sélectivité que de tels travaux nécessitent.

Nous sommes les gardiens de ce patrimoine, apprenons à le sauvegarder.



■ **CHRISTIAN TRIDON**
Président du STRRES²

1 - Extrait de la préface de Christian Binet dans "Maintenance et Réparation des Ponts" de J.-A. Calgaro et R. Lacroix aux Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

2 - STRRES : Syndicat National des Entrepreneurs Spécialistes de Travaux de Réparation et Renforcement de Structures - Organisme affilié à la FNTP.

Tél. : +33 (0)1 44 13 31 85 - Fax : +33 (0)1 44 13 32 42 - Internet : www.strres.org

Réhabilitation et modernisation du tunnel du Mont-Blanc

Les points clés des travaux de génie civil

L'incendie du tunnel du Mont-Blanc a entraîné la mise en place d'une circulaire interministérielle en août 2000, fixant de plus strictes procédures de sécurité. Les travaux entrepris dans le tunnel comportaient donc, outre une phase de réhabilitation, des installations de modernisation en conformité avec la nouvelle réglementation. Un délai serré, la présence d'organismes de supervision de sécurité, et des conditions de travail difficiles ont marqué le déroulement des travaux de génie civil confiés au groupement Vinci Construction Grands Projets, Bouygues et Freyssinet.

Le lot 2F de génie civil pour la concession française du tunnel sous le Mont-Blanc a été confié le 1^{er} septembre 2000 à un groupement composé de Vinci Construction Grands Projets (à l'époque Dumez-GTM/GTM Construction), en association avec Bouygues et Freyssinet (groupe Vinci). L'objectif était, d'une part, de procéder à des travaux de rénovation sur les 5 800 m de la partie française et, d'autre part, à des travaux de modernisation, pour une mise en conformité avec la circulaire d'août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national. Les travaux, qui se sont déroulés dans des conditions difficiles, se sont terminés fin juin 2001.

■ PRÉSENTATION DU PROJET

Composé d'un tube unique de 11,6 km de long et 8,60 m de large, le tunnel dans son ensemble, se compose de deux trottoirs de 0,80 m et d'une chaussée de 7 m de large avec un dévers de 1 %. Les gaines de ventilation, dont la structure est constituée, soit de caissons précontraints soit de voûtains en béton armé, se situent sous la dalle de roulement (figure 1).

Les principaux travaux à réaliser concernaient les refuges, les carneaux de désenfumage, les niches incendie et les niches sécurité, les fosses en communication avec la gaine d'air vicié, les réservoirs incendie intérieur et extérieur, la réhabilitation de la voûte du sas et la galerie de visée.

Principale contrainte : un planning très serré, qui explique une période écourtée de préparation. Les exigences du maître d'ouvrage en termes de délai se sont renforcées du fait de l'attribution au même groupement, du lot 5 F (génie civil de second œuvre) consécutif au lot 2F. Malgré un chantier ouvert 6 jours sur 7 et 24 h/24, avec une organisation quotidienne compliquée par la présence de nombreux

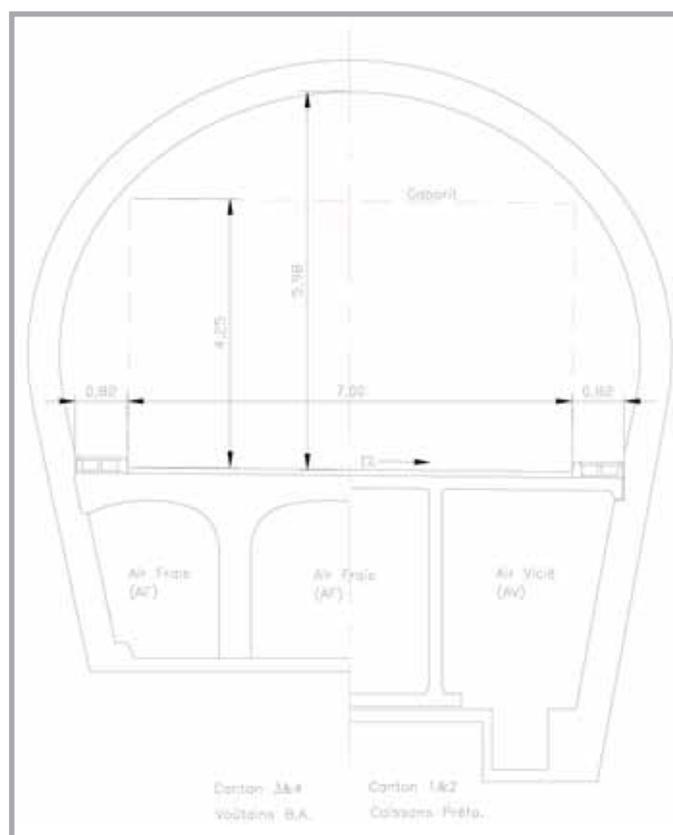


Figure 1
Coupe type
du tunnel
Typical cross section
of the tunnel

corps d'état et la réalisation de plusieurs types de travaux en parallèle, des difficultés inattendues ont provoqué un retard à la livraison.

■ LES TRAVAUX POINT PAR POINT

Le déroctage

Les travaux ont démarré par le creusement des refuges des carneaux par déroctage, à partir du sas, situé au milieu du tunnel pour séparer les concessions française et italienne, et se sont poursuivis,

► sur près de 6 km jusqu'à l'entrée du tunnel. Le travail, complexe du fait de la multitude d'ouvrages à dérocter, s'est effectué dans un espace exigu, soumis à une circulation importante, qui devait être maintenue pour alimenter les autres chantiers en place.

Figure 2
Les refuges existants du tunnel étaient constitués d'abris en béton armé construits dans les garages, face aux galeries de retournement. Les nouveaux refuges sont de deux types : C (50 m² de section) et D (28 m² de section)
The existing refuges in the tunnel consisted of reinforced concrete shelters built in the laybys, opposite the turning galleries. The new refuges are of two types : C (50 sq. m cross section) and D (28 sq. m cross section)

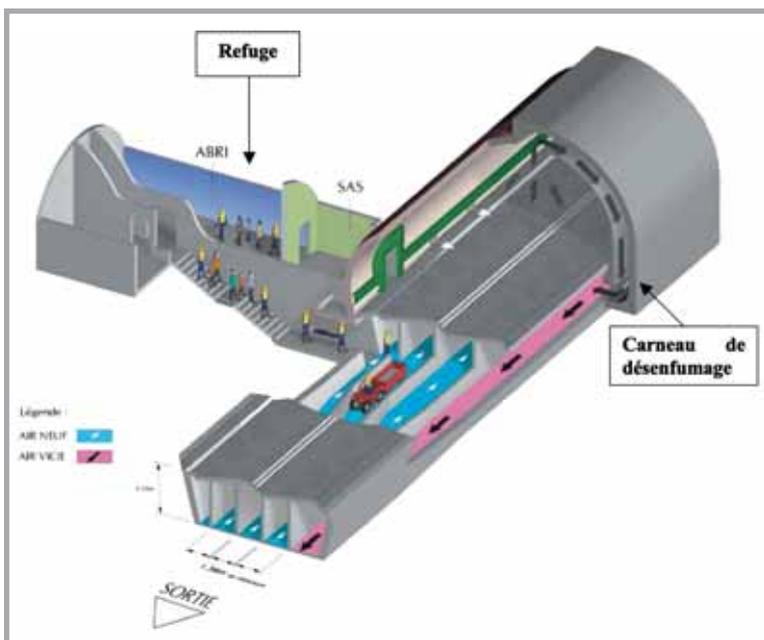


Figure 3
Coupe sur carneau de ventilation
Cross section on ventilation flue

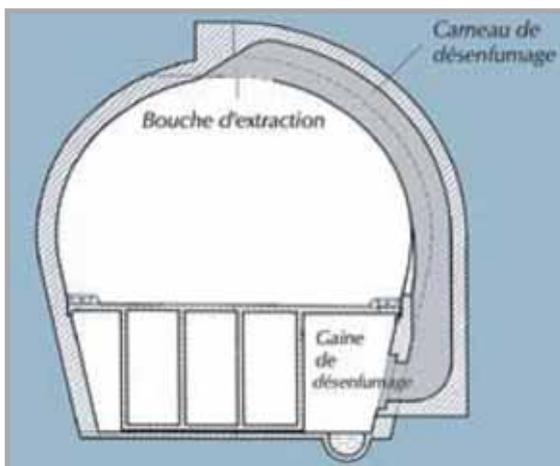


Photo 1
Amorce du creusement d'un refuge
Starting digging for a refuge



Les refuges (figure 2)

Ils se classent en deux catégories : huit refuges de type C, avec une section d'environ 50 m² ont été construits par approfondissement des galeries de retournement existantes. Et onze nouveaux refuges de type D et d'une section d'environ 28 m² ont été réalisés par creusement de nouvelles galeries. Ces refuges comportent un sas d'entrée et une pièce refuge destinée à l'accueil des usagers, ainsi qu'un accès à un escalier de liaison aux gaines de ventilation d'air frais, situées sous la chaussée. Après le creusement de la section courante (photos 1 et 2), puis de la partie basse (photo 3), la

LA RÉALISATION DES CARNEAUX

L'excavation s'est déroulée en deux phases :
- creusement de la partie au-dessus de la dalle de roulement (niche électrique et carneau d'aspiration) ;
- creusement de la partie basse (puits de connexion à la gaine d'air vicié).

Excavation de la partie voûte

- 1) Sciage du revêtement existant de part et d'autre de l'emprise de l'excavation
- 2) Boulonnage de la voûte existante. Le revêtement dans lequel s'insère le carneau étant très fissuré, il doit être stabilisé par une disposition en quinconce de neuf boulons de part et d'autre des traits de scie
- 3) Excavation du carneau et de la niche

Excavation de la partie basse

- 1) Foration, chargement, tir, ventilation, marouflage
- 2) Sciage du piédroit de la gaine de ventilation
- 3) Démolition et évacuation de ce piédroit

Quantités mises en œuvre

Carneau (partie voûte)

- Volume excavé : 180 m³
- Foration : 350 ml
- Explosif théorique : 143 kg
- Ratio théorique : 0,80 kg/m³

Carneau (partie basse)

- Volume excavé : 20 m³
- Foration : 215 ml
- Explosif théorique : 75 kg
- Ratio théorique : 3,75 kg/m³

Volumes - Quantités

- Volume total excavé partie voûte : 7 750 m³
 - Volume total excavé partie basse : 900 m³
 - Volume total béton projeté fibré : 800 m³
 - Volume total béton projeté non fibré : 200 m³
 - Boulons d'ancrage passifs : 2 900 u
- (Volumes tenant compte des hors profil)

première étape consiste à bétonner le radier et les banquettes (photo 4), avant de poser l'étanchéité, c'est-à-dire un feutre sur lequel s'applique une membrane PVC. Suivent ensuite le bétonnage du tympan (photo 5), de la voûte (photo 6) et enfin de la casquette (photo 7) (coulage du dernier plot).

Les carneaux (figure 3 et encadré)

Ces travaux, les plus complexes du chantier, impliquaient la création de 43 nouveaux carneaux de désenfumage, la modification de 15 carneaux existants et la condamnation de quatre carneaux. Disposés tous les 100 m, les carneaux sont équipés d'une trappe motorisée et télécommandée, permettant l'extraction des fumées par le haut du tunnel. Chaque carneau est constitué d'une saignée qui part de la clé de voûte du tunnel jusqu'à la dalle de roulement, et se raccorde à la gaine d'air viciné par un puits. Une niche technique adjacente accueille des trappes de réglage de débit d'air. En cas de sinistre, la puissance de désenfumage, jusqu'à 150 m³/s, sera sur 600 m, tout le long du tun-



Photo 2
Approfondissement
d'un refuge existant
*Deepening
an existing refuge*



Photo 3
Foration
de la partie basse
d'un refuge.
Crawl Furukawa
*Boring the lower
section of a refuge.
Furukawa Crawl*



Photo 4
Bétonnage
du radier
*Concreting
the foundation
raft*

Photo 6
Coffrage en place dans un refuge de type D - Masque en cours
de réalisation

*Shuttering in place in a D type refuge - Work in progress
on facing membrane*



Photo 5
Coffrage du tympan
en panneaux
coffrants
*Shuttering
the frontwall
with shutterwork
panels*



Photo 7
Ferrailage
de la casquette
*Reinforcement
of the canopy*

Photo 8
Purge et élimination
de faibles sous-profils
d'un carneau
*Purging and elimination
of slight sub-profiles
from a flue*



Photo 9
Foration pour tir
supplémentaire
(sous-profils importants)
*Boring for additional
blasting
(extensive sub-profiles)*

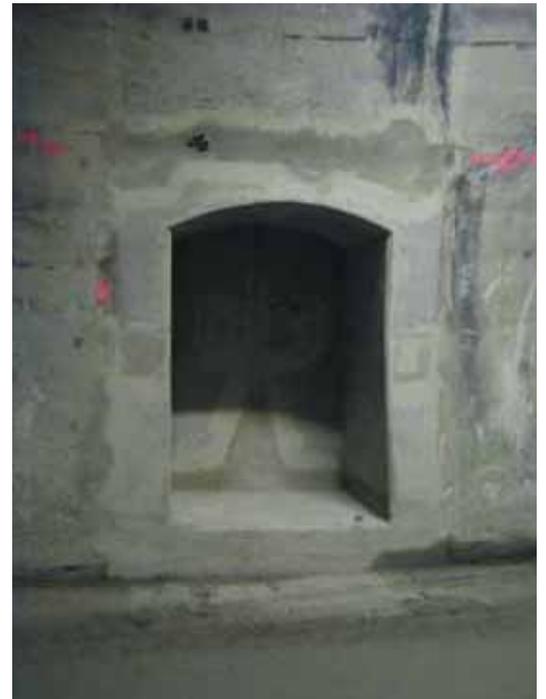


Photo 10
Excavation
d'une niche au BRH
*Excavation of a recess
by BRH machine*



nel. Cinq jours de travail sont nécessaires pour chaque carneau : après la réalisation d'installations de protection, la voûte doit être sciée puis les carnaux sont excavés à l'explosif (photos 8 et 9). Il faut ensuite s'attaquer au soutènement du rocher avec du béton projeté et des boulons ou des cintres. Cependant, dans ce cas, le travail s'est déroulé avec de fortes pressions dans la roche, qui ont provoqué des contraintes sur la section du tunnel, et, par conséquent, un phénomène de convergence. Pour stabiliser le rocher, des boulons de grande longueur ont été utilisés. Ce n'est qu'après cette étape que le revêtement définitif a pu être posé. Autre particularité : le fait de faire sauter le béton et de taper dans la roche portait atteinte au

Photo 11
Niche après bétonnage
Recess after concreting



LA CIRCULAIRE INTERMINISTÉRIELLE N°2000-63 DU 25 AOÛT 2000

Suite à l'incendie du tunnel du Mont-Blanc, le ministère de l'Intérieur et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ont décidé de mettre en place des procédures de sécurité beaucoup plus strictes pour les tunnels d'une longueur supérieure à 300 m. Ainsi, la circulaire instaure un nouveau protocole préalable à la mise en service d'un tunnel et des modalités de suivi de l'exploitation des ouvrages. Les principaux axes de sécurité concernent : les aménagements pour l'évacuation des usagers ; les aménagements pour les accès des véhicules de secours ; la ventilation de désenfumage en cas d'incendie et la tenue au feu des revêtements de tunnels.

Les dispositions géométriques applicables sont également détaillées : le profil en travers doit permettre l'accès des véhicules de secours ; des aménagements pour l'évacuation et l'accès des secours doivent être installés tous les 200 m et se présenter sous l'une des formes suivantes (en préférence décroissante) : communication directe avec l'extérieur, communication entre tubes, galerie de sécurité parallèle, abris protégés reliés à l'extérieur par un cheminement protégé.

soutènement primitif, qui devait être reconstitué dans la foulée. Le travail était encore compliqué par l'obligation de travailler à l'explosif. Le choix s'est porté sur des détonateurs Nonel (cf. encadré), et des mesures de vibrations sur la structure existante étaient effectuées en permanence. Le dosage des explosifs a également fait l'objet d'une attention particulière : le faible ratio d'explosif utilisé pour la partie voûte du carneau s'explique par le souci de préserver le revêtement contigu. Par contre, le ratio s'avère plus élevé pour la partie basse, puisqu'il s'agit d'un puits de petite dimension (1,50 x 3 m).

Les niches incendie/sécurité

Au total, 58 niches sécurité (avec présence d'un équipement d'appel d'urgence) et 20 niches incendie (avec borne d'incendie et extincteur) ont été, soit construites, soit modifiées (photos 10 et 11).

Les fosses

Deux fosses en communication avec la gaine d'air vicié ont été créées. Elles abritent des ventilateurs permettant la modification du flux d'air vicié, au niveau du débit et de la direction.

Les réservoirs incendie

Un réservoir incendie intérieur a été érigé dans la galerie de retournement et un réservoir incendie extérieur, dans les locaux techniques avoisinant l'usine de ventilation.

Le sas

Dans une zone de 150 ml, ont été menés des travaux de réhabilitation de la voûte.

La galerie de visée

Elle joue le rôle d'extracteur d'air pour le tunnel. Des travaux d'alésage de la galerie sur une longueur de 25 m ont été entrepris pour étendre sa section de 35 m² à 82 m², un cône de raccordement à chaque extrémité assurant la liaison entre les deux sections (photos 12 et 13).

■ PARTICULARITÉS DU CHANTIER

Une surveillance sécurité permanente

Le maître d'œuvre s'était entouré d'organismes tels que la CRAM (Caisse Régionale d'Assurance Maladie) et l'inspection du travail, et de personnes spécialisées dans la sécurité, qui exerçaient une supervision permanente.

Un exemple, parmi d'autres, des demandes de la CRAM et des incidences sur le travail et le délai : la CRAM avait formulé l'exigence de faire évacuer la zone de mise en œuvre des explosifs avant de procéder au chargement des volées des refuges ; toute circulation se trouvait interdite de ce fait dans le chantier, lors de cette phase. Il aurait donc résulté de cette situation, un blocage des autres ateliers et des approvisionnements, et par conséquent, un risque de dépassement des délais du programme des travaux. Le groupement a proposé à la CRAM de mettre en place des protections locales spécifiques, de façon à permettre la circulation simultanée lors des périodes de chargement : il s'agissait de placer un écran de protection rigide et d'appliquer des procédures de sécurité au chargement avec des détonateurs Nonel, pour s'affranchir de tout risque d'explosion accidentelle. Cette solution a tout de même engendré des modifications du phasage des différents ateliers ainsi qu'un délai supplémentaire d'environ trois semaines.



Photo 12
Galerie de visée - Etat d'origine
(diamètre 6,00 m)
*Inspection gallery - Original
condition (diameter 6.00 m)*



Photo 13
Alésage achevé
à diamètre 12,00 m
*Boring completed
to diameter 12.00 m*

LE CHOIX DES NONEL

La présence de câbles électriques sous tension dans le tunnel, rendant impossible l'utilisation de détonateurs électriques, il a été décidé de mettre en œuvre des détonateurs de type Nonel, du cordeau détonant et de l'explosif en cartouche.

Le Nonel (abréviation de non électrique) est un système de mise à feu qui évite tout risque électrique. Ce transmetteur d'onde de choc se compose d'un tube souple en polyéthylène de 3 mm de diamètre, avec une paroi interne, recouverte d'une fine pellicule d'une composition pyrotechnique qui détone à la vitesse de 2 000 m/s sans effet sensible à l'extérieur du tube : c'est l'onde transmise à l'intérieur qui joue le rôle tenu par le courant dans le cas de tirs électriques.

Sous le tunnel, il était primordial, à chaque tir, d'évacuer rapidement la production de fumées et de poussières, dangereuses du point de vue sanitaire, ainsi que les gravats encombrant la voie de roulement.



Photo 14
Coffrage de voûte
Arch shuttering

La ventilation

Dans les chantiers de tunnel, il est primordial d'évacuer les poussières dues aux travaux de terrassements (tirs de mines, poussières des fumées) et les gaz d'échappement des engins de travaux, tout en amenant de l'air frais. Au début, il était prévu d'utiliser le réseau existant du tunnel, qui s'est finalement avéré défaillant et fuyant. Ainsi, l'air vicié ressortait à l'intérieur du tunnel et l'appel d'air frais subissait des pertes de charges. De plus, pour alimenter la multitude de chantiers ouverts en parallèle, de nombreux engins diesel devaient circuler, rendant l'air quasi irrespirable.

Théoriquement, la solution aurait été de créer une ventilation avec deux ventubes. Cependant, ces tuyaux présentent un diamètre respectif de 2 et 3 m, ce qui aurait représenté un sérieux handicap dans un espace aussi exigu que celui du chantier du tunnel du Mont-Blanc. Les travaux se sont donc trouvés ralentis par la capacité limitée de la ventilation existante.

Le personnel

Le délai très restreint a conduit le groupement à faire appel à de la main-d'œuvre intérimaire en grande quantité. En effet, pour maintenir un effectif qui a tourné en pointe aux alentours de 600 personnes, il a fallu accueillir en tout 1 650 personnes et les initier aux procédures de la sécurité dès leur arrivée sur le chantier. Le manque de formation de nombre de ces intérimaires a nécessité une surveillance permanente.

ABSTRACT

Rehabilitation and modernisation of the Mont-Blanc tunnel : key aspects of civil engineering works

Ch. Aubert

Following the fire in Mont-Blanc tunnel, an interministerial circular was published in August 2000, stipulating stricter safety procedures. The work undertaken in the tunnel therefore involved, in addition to a rehabilitation phase, modernised installations in conformance with the new regulations. A tight deadline, the presence of safety supervisory organisations, and difficult working conditions were features of execution of the civil engineering works entrusted to the consortium formed by Vinci Construction Grands Projets, Bouygues and Freyssinet.

RESUMEN ESPAÑOL

Rehabilitación y modernización del túnel del Mont Blanc : aspectos clave de las obras de ingeniería civil

Ch. Aubert

El incendio del túnel del Mont Blanc ha acarreado la redacción de una circular interministerial en agosto de 2000, por la cual se precisan los procedimientos de seguridad más estrictos. Las obras emprendidas en el túnel incluían, pues, además de una fase de rehabilitación, las instalaciones de modernización de conformidad con la nueva normativa. Un plazo estricto, la presencia de organismos de supervisión de la seguridad y de las condiciones de trabajo difíciles han incidido en el desarrollo de las obras de ingeniería civil encargadas a la agrupación de empresas constructoras Vinci Construction Grands Projets, Bouygues y Freyssinet.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Terrassements à l'explosif : 13 600 m³
- Terrassements à brise-roche : 4 800 m³
- Mise en décharge : 85 000 t
- Boulons : 48 000 t
- Démolition : 5 100 m³
- Cintres : 255 t
- Coffrages : 31 000 m²
- Béton : 22 000 m³
- Armatures : 195 t
- Montant du marché : 13 millions d'euros

La réhabilitation de la piste 2 de Roissy-Charles-de-Gaulle

Un chantier express

Screg Ile-de-France Normandie, Colas Ile-de-France Normandie et Sacer Paris Nord Est ont obtenu en mars 2002 le marché de réhabilitation de la piste 2 de Roissy-Charles-de-Gaulle. Un marché d'un montant de 10 700 000 € à réaliser en 16 jours. Aligner six finisseurs équipés de tables de 7,5 m pour mettre en œuvre jusqu'à 14 000 t d'enrobés par jour n'était pas la seule difficulté. Il a fallu que le directeur de travaux, Philippe Soisson, gère plus de 300 salariés et jusqu'à 100 engins et camions sur un chantier de 4 600 m de long. Un pari gagné, grâce à la mobilisation de tous et à l'envie de gagner des collaborateurs du groupe Colas dont les synergies ont eu pour objectif la qualité et la satisfaction du client.

■ QU'EST-CE QU'UNE PISTE ?

Le projet

Le maître d'ouvrage, Aéroports de Paris, souhaitait réhabiliter la piste 2 située sur la plate-forme de Roissy-Charles-de-Gaulle. Ce projet avait deux objectifs :

- ◆ d'une part, améliorer l'uni et les qualités de roulage des avions sur cet ouvrage qui date de 1974. La piste 2 était jusqu'à présent constituée d'une juxtaposition de dalles en béton. Cette technique nécessite la réalisation de joints tous les 7,5 m. Le trafic et le vieillissement de la structure ont conduit inévitablement à un phénomène de battement (double de pompage accélérant la dégradation des couches sous-jacentes). Ce phénomène s'accompagne d'un défaut de planéité des dalles qui se traduit par l'apparition de marches d'escalier. Ces problèmes deviennent, avec le temps, de plus en plus sensibles lors des décollages et atterrissages des aéronefs;

- ◆ d'autre part, élargir les bandes dites "anti-souffle", situées au-delà des accotements existants ; ceci pour recevoir la nouvelle génération d'avions gros porteurs, dont les réacteurs sont plus éloignés de l'axe de la piste. Ainsi les réacteurs du futur Airbus A380 se situent à 25 m de l'axe soit à la limite des revêtements de l'ouvrage actuel. Cette situation qui n'autorise aucune erreur sur l'alignement de l'avion ne reçoit pas l'agrément des instances internationales. Par conséquent les surfaces revêtues portées à 37,5 m de part et d'autre de l'axe de la piste protégeront les accotements du souffle et des arachements qui en sont la principale conséquence.

Les contraintes

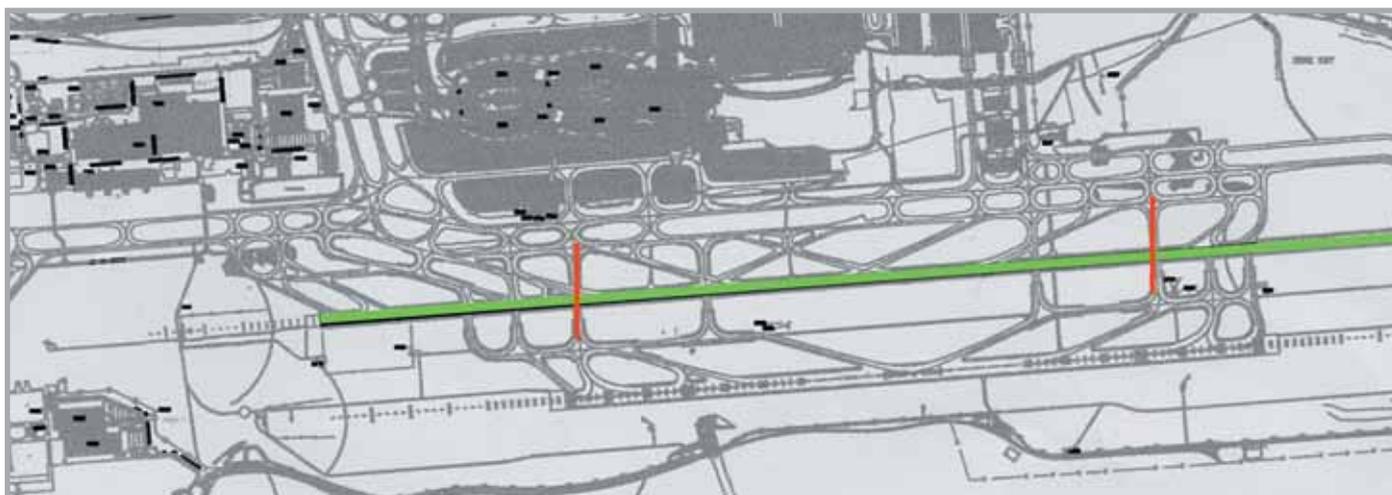
Ce chantier, d'un délai global de six mois, s'est déroulé entre le 1^{er} mars 2002 et le 31 août 2002. Il était assorti d'un délai partiel de fermeture de la piste de 16 jours, du 6 août 2002 au 22 août 2002, période d'exécution des couches de fondation et de roulement mais aussi des accotements. En dehors de cette phase de totale libération du chantier, la piste était fermée de nuit (23h00 à 5h00) entre le 16 juin 2002 et le 4 août 2002, et du 26 août 2002 jusqu'à la fin du délai, pour les travaux de post-goujonnage, de sondages, et de mise à niveau des chambres.

La plate-forme de Roissy dispose de deux doublés de pistes, l'un au nord, les pistes 1 et 3, l'autre au sud, les pistes 2 et 4. Le trafic aérien imposait l'utilisation permanente de trois des quatre pistes. Durant toute la durée du chantier, y compris lors de la fermeture aux avions de la piste 2, l'accès à la piste 4 croisait par deux fois la zone d'évolution des engins de travaux aux deux extrémités du chantier (figure 1). Cette contrainte décrite dans l'appel d'offres a fait l'objet d'une attention toute particulière lors de la phase de préparation, mais aussi au cours de la réalisation de l'opération.

Un autre élément essentiel pour ces travaux aéroportuaires était la gestion des accès. En effet, l'ensemble des interventions liées à ce marché s'est déroulé en zone dite de sûreté. Dans ce cas toute personne amenée à pénétrer sur le site doit être munie d'un badge personnel et si elle utilise un véhicule (hors engins de chantier), celui-ci doit bénéficier d'un laissez-passer préalablement établi par les services de gendarmerie de la plate-forme.

Figure 1
Localisation
du chantier; vert,
lieu du chantier;
rouge, traversées
avions pour accès
piste 2

Site location;
in green, site
premises; in red,
aircraft crossings
for access
to runway 2



piste 2 de l'aéroport Gaulle

■ LES RÉPONSES

Les obligations du marché

L'étude technique liée à la réhabilitation ne faisait pas partie de notre marché. En effet, le marché n'était pas ouvert aux variantes et la solution proposée par le maître de l'ouvrage pour la piste était la suivante :

- ◆ mise en place de goudjons entre les différentes dalles ;
 - ◆ réalisation d'un tapis sable fortement dosé en bitume sur les 30 m axiaux de la piste, épaisseur 2 cm ;
 - ◆ mise en œuvre d'une couche d'enrobés à module élevé sur 45 m de large, épaisseur 9 cm ;
 - ◆ application d'un enrobé aéronautique type BBA 0/14 sur les 60 m de piste, épaisseur 6 cm.
- Concernant la réalisation des accotements, les pièces du marché indiquaient :
- ◆ couche de forme en grave de béton concassé 0/30 ;
 - ◆ couche de fondation en grave traitée aux liants hydrauliques 0/20 ;
 - ◆ application d'un béton bitumineux aéronautique BBA 0/10 sur les accotements existants et en chaussée neuve sur 6 cm.

Le goujonage des dalles a pour objectif de limiter l'effet de battement et d'assurer une parfaite continuité de la couche de fondation. En effet, sans cette opération les battements issus des efforts transmis seraient tels que les couches d'enrobés se fissureraient au droit des dalles dans un délai extrêmement court.

Cette opération ayant été réalisée, une première couche constituée d'un sable enrobé est destinée à absorber la discontinuité, malgré tout existante entre deux dalles successives, ainsi que la microfissuration toujours présente dans les bétons. Ce sable fortement dosé en bitume élastomère est donc un deuxième rempart contre la remontée des fissures. Il assure aussi une fonction d'étanchéité en interdisant l'infiltration d'eau au sein de la couche de fondation.

Ensuite vient la couche de liaison réalisée en enrobé à module élevé. Au-delà de sa fonction de renforcement de la structure elle assure, elle aussi, une protection contre la remontée trop rapide des fissures. L'expérience d'ADP prouve que ce phénomène se développe à la vitesse d'un centimètre par an. Cette épaisseur garantit neuf années de tranquillité avant l'attaque de l'ultime couche d'enrobé. Cette strate d'EME assure enfin une fonction d'amé-

lioration de l'uni en moyennes ondes avant la mise en œuvre du BBA 0/14. Le projet imposait de ne pas modifier le profil des voies d'accès à la piste. Ainsi, il a fallu ancrer la nouvelle structure dans les dalles existantes et réaliser cette couche en épaisseur variable afin de garantir un nivellement conforme aux plans établis par les géomètres.



Un chantier de plus de 4 600 m de long

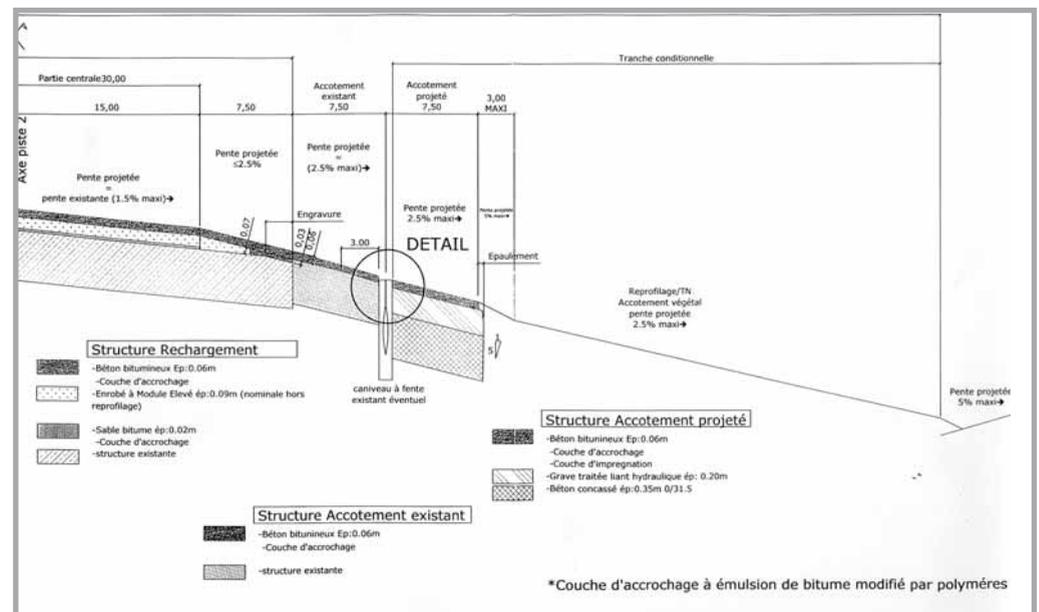
A construction site over 4,600 m long



Mise en œuvre de l'EME

Laying high modulus hot mixes

Coupe type des travaux piste
Typical cross section of runway works



Les compacteurs CC501 préparent le revêtement pour le passage des Airbus vers la piste 4 en phase 2B

The CC501 compactors prepare the surfacing for passage of Airbus planes to runway 4 in phase 2B



L'utilisation d'alimentateur a assuré une qualité d'uni optimale

The use of a feeder ensured optimum quality of evenness



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur de la piste : 4 600 m
- Surface : 360 000 m²
- Terrassement d'accotements : 40 000 m³
- Graves traitées : 35 000 t
- Graves béton concassé : 45 000 t
- Enrobés : 87 000 t

La couche finale d'enrobés au bitume modifié assure les qualités d'adhérence et de profil en long du projet. Ces deux paramètres sont essentiels pour garantir une piste de bonne qualité. Le premier garantit un coefficient de frottement optimal afin d'obtenir un freinage performant des avions. Le second par une réduction importante des défauts de petites ondes participe grandement au confort des passagers dans les phases de décollage et d'atterrissage.

Dans le cas de la constitution d'accotement, la structure adoptée est seulement dictée par les contraintes liées à la mise en œuvre des couches de surface. La grave concassée assure une plate-forme de module suffisant à la réalisation de la couche de fondation en grave traitée, qui elle-même n'assure qu'un rôle de support au finisseur et aux camions chargés d'approvisionner les enrobés des bandes anti-souffles (celles-ci ne devant jamais recevoir de trafic).

Phase de préparation et mise en place de l'encadrement de chantier

Afin d'assurer une continuité dans l'exploitation de la plate-forme aéroportuaire le chantier était découpé en trois phases principales et deux sous-phases :

◆ phase 1 : du 17 juin 2002 au 5 août 2002. Fermeture de la piste de nuit permettant la réalisation

des goujons et des sondages préalables sur les accotements ;

◆ phase 2 A : fermeture H 24 de la piste du 6 au 13 août 2002 pour permettre de réaliser les deux extrémités de piste sur 600 m environ (y compris accotement), tout en laissant un accès libre à la piste 4 dans le sens décollage ou atterrissage ;

◆ phase 2 B : fermeture H 24 de la piste du 13 au 22 août 2002 avec basculement des traversées avions sur les parties réalisées en phase 2 A. Réalisation de la partie centrale de la piste et des accotements ;

◆ phase 3 : finitions d'accotements de nuit entre le 22 août 2002 et le 30 septembre 2002 et mise à niveau des 600 chambres électriques.

Ce planning extrêmement court a bien entendu nécessité la mise en place très tôt d'une structure d'étude et de direction de travaux.

Dès le 1^{er} mars 2002 les agences Screg Seine-Saint-Denis/Val d'Oise (mandataire du groupement conjoint Screg Ile-de-France Normandie/Colas Ile-de-France Normandie/Sacer Paris Nord Est) et Colas Paris Nord ont dédié chacune un ingénieur. Au total quatre personnes travaillent jusqu'à la veille du démarrage des travaux principaux en août.

La phase d'études a permis de définir très en amont les sources d'approvisionnement des matériaux.

Les 75 000 t de calcaires durs destinées à la réalisation des couches d'enrobés à modules élevés et des graves traitées d'accotement proviennent des carrières CCM situées dans le Nord de la France. 70 % de ce matériau ont été acheminés par le train. Pour les matériaux entrant dans la composition des couches de roulement, la carrière Voutré a été retenue car elle garantissait au mieux le respect des délais d'approvisionnement. En effet, l'ensemble des constituants nécessaires à la réalisation du chantier devait se trouver sur la plate-forme avant fin juillet. Il était bien évidemment impossible de compléter les approvisionnements en août alors que jusqu'à 20 000 t de matériaux divers seraient mis en œuvre chaque jour.

Le choix des partenaires a donc été dicté tout au long de ce chantier par leurs capacités à répondre au mieux aux objectifs de fiabilité en termes d'engagements sur les délais, la qualité et la réactivité. La mise en œuvre de 160 000 t de matériaux sur un délai de 16 jours ne s'improvise pas et il était alors hors de question de modifier une quelconque procédure de réalisation en cours de chantier. L'ensemble des paramètres a bénéficié d'une validation au cours de la préparation de chantier et toutes les tâches ont été simulées lors de l'établissement d'un véritable plan de vol pour cette opération. La rigueur du management des sociétés partenaires de ce chantier, notamment dans le cadre de la certification ISO 9000 a permis de garantir des procédures efficaces et la rédaction d'un PAQ précis et sans faille. En l'absence de cette culture de management par la qualité l'équipe de di-

rection des travaux n'aurait jamais pu obtenir une telle précision dans le process de réalisation du chantier.

La logistique du chantier

L'option technique décrite par les pièces du marché contraignait à fabriquer quatre formules d'enrobés différentes tout au long du chantier (sable bitume, EME 0/14, BBA 0/14, BBA 0/10). Les rendements imposés par la fenêtre de libération de la piste 2, soit jusqu'à 13 000 t de matériaux enrobés par jour ont nécessité la mise en place de deux postes mobiles de type Ermont TSM 25 d'une capacité chacun d'environ 450 t par heure. En pointe les partenaires pétroliers approvisionnaient 800 t de bitumes par jour sur le site. Ces deux usines alimentaient en deux postes de 8 heures les ateliers suivants :

- ◆ pour le sable bitume : deux finisseurs équipés de tables de 7,5 m ;
- ◆ pour l'EME : deux finisseurs équipés de tables de 7,5 m alimentés chacun par une Franex et deux finisseurs munis de tables extensibles ;
- ◆ pour le BBA 0/14 : six finisseurs équipés de tables de 7,5 m dont quatre alimentés par une Franex ;
- ◆ pour le BBA 0/10 : deux finisseurs équipés de tables de 7,5 m.

L'ensemble de ces ateliers était approvisionné par une flotte d'environ 40 semi-remorques.

Les couches d'accrochage de type "rupture rapide" étaient réalisées par deux répanduses équipées de rampes à rupteur.

La réalisation des couches d'enrobés s'accompagnait du terrassement des accotements, de la mise en œuvre des couches de forme et de fondation en grave traitée.

Au total jusqu'à 300 personnes se croisaient par jour sur ce chantier de 4 600 m de long et qui avançait sans interruption 16 heures durant avec l'aide d'une équipe (disposant d'un véhicule frigorifique) chargée d'assurer, au moment des poses, le ravitaillement en eau et en nourriture de l'ensemble des salariés. En effet, il arrivait que vingt ateliers différents se succèdent sur la longueur de la piste.

L'équipe d'encadrement en place au mois d'août rassemblait dix ingénieurs ou conducteurs de travaux, douze techniciens de laboratoire, quatorze chefs de chantiers. Avec près de 500 K€ d'activité par jour, cette équipe n'était pas de trop pour assurer la conformité de l'avancement avec le plan établi lors de la préparation.

■ LE DÉFI

La rapidité d'exécution ne permettait pas de reprise. Chaque phase et chaque couche de matériaux



Le ballet de six finisseurs et quatre Franex pour une piste
Ballet of six paver finishers and four Franex machines for one runway



Les deux centrales en action face aux 80 000 t à absorber
The two mixing plants in action faced with 80,000 tonnes to absorb



Les finisseurs destinés à réaliser les EME étaient guidés par un plan laser
The paver finishers for laying high modulus hot mixes were guided by a laser map

devaient nécessairement être contrôlées et validées à l'avancement. Les opérations de suivi de la qualité ont donc bénéficié de toute l'expérience acquise par les entités présentes sur le chantier. Les agences de Screg, Colas et Sacer toutes certifiées depuis de nombreuses années ont pu appliquer un contrôle efficace et peu consommateur de temps (élément essentiel au bon déroulement du chantier). Grâce à une conscience acquise par toute la chaîne hiérarchique de la nécessité absolue du suivi qualité, ce chantier n'a pas été plus pesant qu'un autre pour l'application des règles dictées pour obtenir la satisfaction du client. Malgré tout, l'ensemble des directions régionales du groupe Colas ont dû être engagées, et c'est grâce à l'immersion totale dans le chantier des techni-

► ciens chargés du contrôle (plus de 150 extractions et contrôles d'enrobés, 200 contrôles de densités sur les graves traitées et enrobés, 200 carottages...) qui accompagnaient les exploitants tout au long de la réalisation des travaux, que ce chantier hors norme a pu être réalisé sans qu'aucune reprise sur la piste ne soit nécessaire.

Cette synergie, reflet du projet d'entreprise, qui anime le groupe Colas, prouve la pertinence d'un management soucieux d'une transversalité efficace.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Aéroports de Paris

Maitre d'œuvre

Aéroports de Paris

Groupement d'entreprises

Screg Ile-de-France Normandie (mandataire), Colas Ile-de-France Normandie, Sacer Paris-Nord Est

Sous-traitants

- Cosson (filiale Screg Ile-de-France Normandie) : terrassements et graves concassées
- Socafil : réseaux
- Isotech : goujonage

ABSTRACT

Rehabilitation of runway 2 at Roissy-Charles-de-Gaulle Airport A high-speed project

B. Sala

Screg Ile-de-France Normandie, Colas Ile-de-France Normandie and Sacer Paris Nord Est were awarded, in March 2002, the contract for rehabilitation of runway 2 at Roissy-Charles-de-Gaulle Airport.

A contract worth 10,700,000 euros, to be executed in 16 days. Aligning six paver finishers equipped with 7.5 m tables to lay up to 14,000 tonnes of bituminous mixes per day was not the only difficulty. The works manager, Philippe Soisson, had to manage over 300 employees and up to 100 machines and trucks on a construction site 4,600 metres long. The challenge was met, thanks to the energetic efforts of all concerned and the winning spirit of the employees of Colas Group, with synergies aimed at quality and customer satisfaction.

RESUMEN ESPAÑOL

Rehabilitación de la pista 2 del aeropuerto de Roissy-Charles-de-Gaulle Rápida ejecución de las obras

B. Sala

Las empresas constructoras Screg Ile-de-France Normandie, Colas Ile-de-France Normandie y Sacer Paris Nord-Est obtuvieron, en marzo de 2002, el contrato de rehabilitación de la pista 2 del aeropuerto de Roissy-Charles-de-Gaulle.

Se trataba de un contrato por un importe de 10700000 euros, que se tenía que ejecutar en 16 días.

La única dificultad para respetar el plazo impartido no se limitaba a poner en línea seis acabadoras dotadas de tableros de 7,5 m para implementar hasta 14000 t de aglomerados por día. También fue preciso que el director de las obras, Philippe Soisson, organizase el trabajo de más de 300 empleados y hasta 100 máquinas y camiones en unas obras de 4600 m de longitud. Apuesta ganada debido a la movilización de todos y a la intención de lograr por parte de los colaboradores del Grupo

Colas, cuyas sinergias han tenido por meta la calidad y la satisfacción del cliente.

Travaux de réparations du métro parisien

La RATP a lancé depuis les années 70 une reconnaissance systématique de ses infrastructures afin de décider des travaux d'entretien à entreprendre. Toutes les nuits pendant l'interruption du service voyageurs, des travaux sont réalisés dans le métro de Paris pour maintenir en état et rénover les ouvrages. L'entreprise Sotem, spécialisée dans les travaux d'injection, est en charge de ces travaux. Elle a conçu et adapté des moyens d'exécution spécifiques pour répondre aux contraintes d'exploitation du métro et limiter l'impact de ses installations dans un environnement urbain.

Depuis 7 ans, l'entreprise Sotem réalise toutes les nuits des travaux d'injection pour le compte de la RATP dans le métro parisien.

La société Sotem est une filiale de Solétanche Bachy (51 % Solétanche Bachy/49 % SEFI). Elle a été créée à l'origine pour effectuer exclusivement les travaux de maintenance des infrastructures du métro. Encore aujourd'hui, elle réalise 95 % de son chiffre d'affaires pour la RATP.

■ PRÉSENTATION

Les premières lignes du métro parisien ont été mises en service au début du XX^e siècle. La construction de la quasi-totalité des lignes intra-muros telles que nous les connaissons aujourd'hui a été achevée à la fin des années 30. Afin de maintenir ses infrastructures en bon état, la RATP a lancé au début des années 70, des campagnes de reconnaissances et des traitements de ses ouvrages par injection de coulis de ciment. L'éboulement du tunnel SNCF de Vierzi au début des années 70 qui avait fait de nombreuses victimes a conforté cette décision.

Les tunnels du métro parisien sont essentiellement constitués de maçonneries de meulière hourdées au mortier de ciment pour la partie voûtée et une partie des piédroits, alors que le radier et la base des piédroits sont constitués d'un gros béton (mélange de cailloux avec du mortier de ciment). Dans les stations voûtées, seule la voûte est en maçonnerie, le reste étant constitué de béton. Dans les parties moins profondes les ouvrages sont des tranchées couvertes avec des piédroits en maçonnerie qui soutiennent un tablier métallique et qui sont réunis à leur base par un radier maçonné. Ces ouvrages en contact avec le terrain et les circulations d'eau se détériorent avec le temps, les maçonneries se désagrègent progressivement et des vides apparaissent soit entre l'ouvrage et le terrain soit dans la maçonnerie par la disparition du mortier de liaison et l'altération de la meulière. La grande majorité du réseau du métro parisien a été construite au-dessus de la nappe phréatique, par contre les ouvrages sont soumis aux diverses infiltrations provenant de la surface (pluie, fuites des réseaux d'assainissement ou des conduites d'eau) qui peuvent endommager rapidement les ouvrages localement. Pour le confort de ses passagers la RATP demande d'intervenir également au niveau des accès et des stations pour réaliser des travaux d'étanchéité par injection.

Carottage à l'aide d'une mini-sondeuse dans un escalier d'accès

Coring by means of a mini-borer in an underground rail access stairway



Sondeuse de reconnaissance pour les accès : une machine compacte qui peut être acheminée sans démontage à l'intérieur des enceintes du métro

Reconnaissance boring machine for accesses : a compact machine that can be transported without disassembly inside the underground rail system



■ LES TRAVAUX DE RÉNOVATION

Les traitements de réparation consistent à injecter un coulis de ciment fortement dosé (1 t de ciment par m³ de coulis) par l'intermédiaire de forage d'une profondeur égale à 2/3 de l'épaisseur de l'ouvrage (traitement de régénération de maçonnerie) et à réaliser des injections au contact du terrain par l'intermédiaire de forages traversant (traitement de collage). Pour réaliser l'étanchéité, l'injection est faite dans la maçonnerie avec des coulis de ciment fine mouture qui ont une capacité de pénétration importante afin de remplir l'ensemble des fissures. Des compléments d'injection de résine sont ensuite réalisés ponctuellement.

■ LES MOYENS ET CONTRAINTES

La RATP a un vaste programme d'entretien de l'ensemble de ses ouvrages. Tout débute par une reconnaissance systématique des ouvrages. Une équipe spécialisée de la RATP est en charge de vi-

et rénovations

Emmanuel Lapie

DIRECTEUR

Sotem

Alain Juvet

RESPONSABLE ENTITÉ

M2E/ML1/TR2 (TRAVAUX MÉTRO)

RATP

siter systématiquement les ouvrages et planifie les reconnaissances. La Sotem réalise également des sondages. Cette équipe décide ensuite des traitements à effectuer aux vues des résultats des reconnaissances. La RATP confie alors à Sotem les traitements de type injection, au travers d'un marché de travaux, une commande d'une durée de cinq ans. Sotem est également amenée à exécuter, souvent en urgence, des injections pour stopper des infiltrations ponctuelles.

Ce qui fait la spécificité des travaux dans le métro parisien, c'est l'environnement et les contraintes liées à l'exploitation.

En effet, la RATP donne la priorité à l'exploitation et au confort de ses passagers, ce qui fait que les travaux doivent s'insérer dans les créneaux horaires correspondant à l'interruption du service voyageur la nuit, c'est-à-dire entre 1h15 et 5h30. Cette plage horaire est encore réduite pour les travaux en tunnel pour lesquels il est nécessaire de demander une consignation des installations électriques du rail de traction, celle-ci ne pouvant se faire qu'entre 1h45 et 5h00.

Pendant ces plages horaires, les équipes de Sotem doivent installer le chantier, réaliser les travaux demandés et procéder ensuite au repli des installations et au nettoyage du chantier. La RATP fixe d'ailleurs dans les contrats qu'elle passe avec les entreprises qui travaillent pour son compte des pénalités dissuasives en cas de retard d'exploitation causé par les chantiers de nuit.

A cela vient s'ajouter une contrainte liée à l'environnement extérieur de surface du métro parisien. L'injection de coulis de ciment demande des installations lourdes. Le coulis doit être fabriqué sur place en quantité suffisante pour assurer la production de la nuit. La Mairie de Paris ne concède qu'exceptionnellement des emprises fixes pour installer une centrale d'injection. L'ensemble du matériel doit également être insonorisé pour ne pas générer de nuisances sonores particulièrement sensibles la nuit en site fortement urbanisé.

Face à ces contraintes, la Sotem a dû concevoir des moyens de production adaptés détaillés ci-après.

Les trains de travaux

Sotem a équipé un train pour faire des traitements d'injection de coulis. Celui-ci est autonome et constitué d'une centrale de fabrication et d'injection de coulis, d'une source de production d'air comprimé et d'un groupe électrogène permettant d'alimenter



Mise en place des appareils de sécurité suite à la consignation de traction. La coupure du rail répond à une procédure précise, réalisée par du personnel formé par un service spécialisé de la RATP

Setting up safety devices after placing the traction system in safety configuration. Cutting the rail is performed in accordance with a precise procedure, by personnel trained by a specialist department of the RATP



Poste mobile d'injection - Les presses d'injection sont fixées à la paroi du container pour ne prendre qu'une emprise minimum

Mobile injection station - The injection presses are fastened to the wall of the container so as to minimise space requirements

La micro-centrale d'injection : du matériel compact et facilement transportable pour réaliser des petits chantiers d'injection dans les accès du métro

The micro injection plant : compact, easily transportable equipment to execute minor injection works in the underground rail accesses



Trains de travaux pour traitement d'injection : une centrale montée sur plusieurs wagons afin de s'affranchir des contraintes liées à l'environnement extérieur

Work trains for injection treatment : a mixing plant mounted on several carriages so as to overcome constraints related to the external environment



Le centraliste commande le démarrage des presses d'injection en tapant sur l'écran tactile

The plant operator actuates start-up of the injection presses by tapping on the touch-sensitive screen



Ecran de contrôle et de pilotage de l'injection dans un poste mobile. Visualisation des courbes de débit et de pression instantanée pour les forages d'injection

Injection monitoring and control screen in a mobile station. Display of flow rate and instantaneous pressure curves for injection drilling



Poste mobile d'injection : une centrale d'injection autonome posée sur la remorque d'un camion, rapide à déplacer et à installer; un impact sonore limité, l'ensemble du matériel étant monté à l'intérieur d'un container insonorisé

Mobile injection station : an autonomous injection plant placed on the trailer of a truck, which can be moved and installed rapidly; limited noise impact, all the equipment being mounted inside a sound-insulated container

l'ensemble du matériel. Le groupe électrogène est muni d'un système d'épuration des gaz d'échappement. Il possède également un stockage de ciment de 9 t, d'une réserve d'eau suffisante pour assurer la production d'une nuit. L'avantage des trains est qu'ils s'affranchissent complètement des contraintes liées à l'environnement de surface; par contre leur acheminement sur le site des travaux, assuré par la RATP, demande une organisation et une logistique contraignante, dues au grand nombre de convois de chantier circulant sur le réseau la nuit, ce qui au final représente des délais d'acheminement et des coûts importants (mise à disposition de trains de travaux et de conducteurs, maintenance du matériel roulant, nécessité de sites pour garage des trains pendant la journée). Pour cette raison, les trains de travaux sont maintenant utilisés lorsqu'il n'y a pas d'autre solution de remplacement. Actuellement la Sotem n'a plus qu'un train de travaux pour l'injection et un train pour réaliser les reconnaissances en tunnel.

Les postes mobiles

Il s'agit d'une centrale fabrication et d'injection de coulis complète (quatre points d'injection simultanée possibles) montée dans un container insonorisé et posé sur une remorque de camion. Le groupe électrogène, le silo à ciment et le compresseur sont également dans un container insonorisé, l'ensemble faisant une longueur de 13 m avec une largeur et une hauteur au gabarit routier. Sotem a actuellement en service six postes mobiles d'injection toutes les nuits. Le matériel est donc acheminé entre 22h00 et minuit à proximité d'un débouché de métro proche des travaux à réaliser. Les conduites d'alimentation en coulis et d'air sont raccordées entre le poste mobile et les conduites préalablement installées dans le réseau du métro. L'installation est alors opérationnelle dès la fin du service voyageur. Les forages sont réalisés à l'aide de marteaux perforateurs puissants montés sur poussoir ou sur glissières. Les échafaudages utilisés en tunnel sont montés sur des lorries. En surface, l'emprise nécessaire correspond au stationnement d'un semi-remorque. Les travaux s'effectuant de nuit, la circulation routière est fluide et les possibilités d'emplacement en surface sont largement facilitées. En particulier, la RATP a la possibilité d'utiliser ses couloirs de bus lorsque le service est terminé.

Malgré les faibles contraintes qu'ils engendrent vis-à-vis de la circulation, chaque emplacement de poste mobile doit faire l'objet d'une autorisation du

Service de la voirie de la Ville de Paris et de la police.

Le volume moyen d'injection par nuit pour un poste mobile varie de 2 à 3 m³.

Les microcentrales

Dans les accès du métro où l'épaisseur des maçonneries est moins importante et l'étendue des travaux est nettement plus faible en comparaison d'un chantier de tunnel, la Sotem utilise une microcentrale. Il s'agit d'une véritable centrale d'injection constituée d'un malaxeur de fabrication de coulis de 50 litres, d'un bac de reprise, d'une presse d'injection avec enregistreur graphique, l'ensemble étant monté sur un petit porteur à chenille ou sur roues afin de permettre un déplacement autonome de l'ensemble dans les zones de travaux. Ce matériel est stocké pendant la journée dans des emprises affectées par la RATP (emprise sur quai ou local). A la fin du service voyageur, la microcentrale est acheminée sur la zone de travaux, l'alimentation électrique est fournie par le réseau RATP. Le ciment servant à fabriquer le coulis est livré en sacs de 25 kg. Celui-ci est acheminé du débouché du métro jusqu'à la zone de stockage avec une brouette montée sur un chenillard avec un moteur thermique. Le volume moyen d'injection réalisé par nuit pour une microcentrale est de l'ordre de 500 litres de coulis.

La sondeuse de reconnaissance pour les accès

Les carottages dans les accès sont réalisés avec une petite sondeuse électrique montée sur un porteur à chenille motorisé (moteur thermique). Cette machine est dimensionnée au gabarit des portes d'accès du métro afin d'être acheminée sans aucun démontage. Les carottages réalisés doivent permettre d'extraire une carotte constituée de la maçonnerie de l'ouvrage et d'au moins 10 cm de terrain au contact de l'ouvrage.

Le train de reconnaissance

La RATP a mis en place une reconnaissance systématique de ses tunnels avec des carottages de l'ouvrage et des terrains encaissants sur plusieurs mètres et des forages destructifs d'environ 30 m en radier pour reconnaître des vides éventuels. Un train de travaux est affecté toutes les nuits à ces reconnaissances; il est constitué de trois wagons sur lesquels sont posées une sondeuse, une foreuse avec enregistreur des paramètres de forage et une centrale d'injection. L'énergie est fournie par un groupe électrogène muni d'un système d'épuration des gaz d'échappement. Une fois arrivé sur zone, cet atelier doit pouvoir assurer chaque nuit, dans un délai inférieur à 3 heures, un fora-

ge destructif profond, deux à trois carottages et des essais d'injection. Ces reconnaissances sont réalisées tous les 20 mètres de tunnel.

Les ateliers d'injection de résine

Pour réaliser les injections d'étanchéité ponctuelles, Sotem a également des pompes d'injection manuelles à résine. Ce matériel portatif est acheminé directement par les opérateurs.

Informatisation du matériel

Depuis maintenant 2 ans, l'ensemble du matériel d'injection (hormis les microcentrales) est équipé de système de pilotage et d'enregistrement des paramètres d'injection. Ce matériel permet de garantir un contrôle précis des quantités d'injection par forage et des pressions d'injection limites. Le contrôle de la pression est une donnée très importante, afin de ne pas endommager les ouvrages lors de l'injection, la pression d'injection ne doit pas dépasser 0,2 MPa ou 0,3 MPa en fonction du type de travaux et de leur localisation. Chaque matin les données d'injection de chaque chantier sont enregistrées sur disquette, ce qui permet d'éditer le jour même le rapport d'injection des travaux réalisés dans la nuit. Le rapport indique, par chantier, les volumes, débit et pression d'injection pour chaque forage réalisé. Toutes ces données sont ensuite rassemblées dans un fichier affecté à un chantier, ce qui permet d'avoir à tout moment l'ensemble des travaux réalisés et d'en faire une analyse. Il est alors possible d'adapter si nécessaire le traitement en fonction des résultats des analyses.

Les moyens humains

L'activité de la Sotem, la nuit, représente en moyenne une douzaine de chantiers pour la RATP soit un effectif moyen de 80 personnes.

La Sotem est structurée avec un effectif réduit de jour d'une dizaine de personnes constituant l'encadrement et le personnel affecté au dépôt et à l'atelier de réparation du matériel.

A côté de cette activité pour la RATP, Sotem réalise également des travaux d'injection, de forage ou de reconnaissance pour d'autres clients privés. Cette activité reste cependant marginale puisqu'elle ne représente que 5 % du chiffre d'affaires annuel. Le chiffre d'affaires réalisé sur l'année 2001 a été de 6,6 millions d'euros et devrait être sensiblement identique sur 2002.



Travaux d'injection de résine pour étanchéité : équipe réduite et matériel léger

Resin injection works for waterproofing : small team and lightweight equipment

ABSTRACT

Repair and renovation works on the Paris underground

E. Lapie, A. Juvet

The Paris public transport organisation RATP has initiated since the 1970s the systematic reconnaissance of its infrastructure to decide on maintenance work to be undertaken. Every night during suspension of the passenger service, work is carried out in the Paris underground to maintain and renovate the structures. The firm Sotem, specialised in injection work, is in charge of these works. It designed and adapted specific construction facilities to meet the constraints of underground railway operation and limit the impact of its installations in an urban environment.

RESUMEN ESPAÑOL

Obras de reparaciones y renovaciones del Metro de París

E. Lapie y A. Juvet

La RATP, empresa contratante, ha iniciado desde los años 70 una campaña de reconocimiento sistemático de sus infraestructuras, con objeto de tomar una decisión acerca de las obras a emprender. Todas las noches y durante la interrupción del servicio de transporte de pasajeros, se procede a la ejecución de obras y trabajos en el metro de París para su mantenimiento en estado de funcionamiento y renovar ciertas estructuras. La empresa Sotem, especializada en los trabajos de inyección, se ha hecho cargo de estas obras y trabajos, habiendo diseñado y adaptado los medios de ejecución específicos para responder a los imperativos de funcionamiento del metro y limitar el impacto de sus instalaciones en un entorno urbano.

Le canal d'Oraison

Réhabilitation d'une partie du canal à l'étang de Berre

Après une expertise complète réalisée en 1998 sur le canal d'Oraison (Alpes-de-Haute-Provence), construit à la fin des années 1950, il a été décidé d'améliorer son étanchéité.

L'intervention du groupement d'entreprises (Freyssinet mandataire) a porté sur un tronçon long de 6 km et a consisté d'une part, à préparer les surfaces (écrêtage des bourrelets des anciens joints de dalles, rainurage) avant l'application d'une couche de résine primaire (système bi-composant à base de polyuréthane élastomère à réactivité instantanée) au pistolet et d'autre part, à réaliser de nouveaux joints de dilatation entre les dalles à la scie diamantée murale.

L'intervention a également porté sur de nombreux travaux annexes dont la création de 24 exutoires pour faciliter l'évacuation des eaux pluviales, le remplacement de certaines dalles et la réparation des joints et des parements en béton du pont-canal situé au-dessus de la rivière Bléone.

Un chantier, aux dimensions impressionnantes qui a mobilisé une soixantaine de personnes pendant onze semaines, délai impératif de chômage des installations hydrauliques.

Le canal d'Oraison se situe dans le département des Alpes-de-Haute-Provence. Il s'inscrit dans le cadre de l'aménagement de la Durance, dont le réservoir est constitué par la retenue de Serre-Ponçon, d'une capacité de 1 000 millions de m³, dont 200 millions de m³ pour les besoins agricoles.

Construit à la fin des années 1950 et mis en service en 1962, cet ouvrage de forme trapézoïdale alimente plusieurs centrales électriques et couvre les besoins agricoles de la région. Il comporte plusieurs particularités, dont un passage en souterrain dans la commune des Mées (le site classé dit des "Pénitents" a contraint les concepteurs à l'enterrer sur une longueur de 2 775 m) et des déblais et remblais très importants imposés par le relief montagneux.

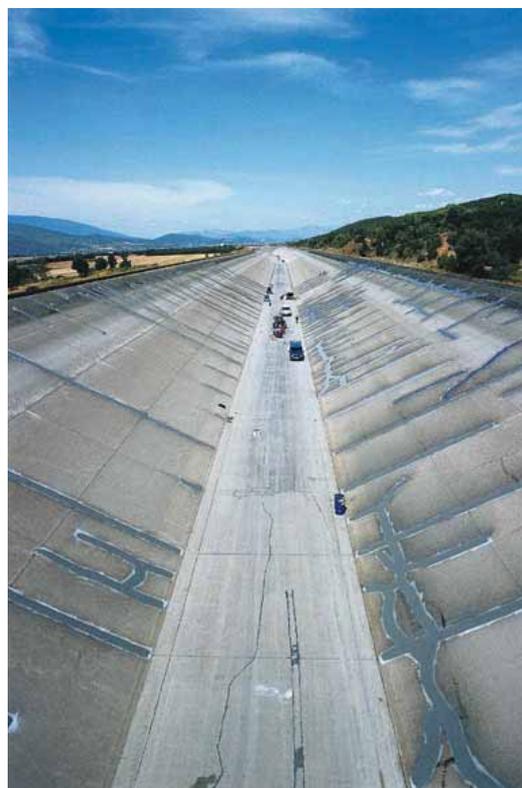


Photo 1
Les travaux de réhabilitation s'étendaient sur un tronçon de 6 km de long dans les communes des Mées et d'Oraison

The rehabilitation works extended over a section 6 km long in the communes of Mées and Oraison

Après une trentaine d'années d'exploitation, des dégradations décelés grâce à une surveillance constante des services d'EDF (Electricité de France), ont conduit à vidanger l'ouvrage en 1998 pour effectuer une expertise complète et définir le type de travaux à engager. Il a été décidé de traiter plusieurs tronçons pour améliorer l'étanchéité du canal. L'intervention de Freyssinet a porté sur un

tronçon long de 6 km dans les communes des Mées et d'Oraison (photo 1).

Le canal comporte un radier en béton de 9 m de large et des bajoyers inclinés à 1 pour 2 composés de quatre panneaux en béton de ciment de 6 m de haut et 7,5 m de long. La profondeur totale du canal est de 10 m environ. Longitudinalement, le canal comporte des joints de retrait tous les 7,5 m et des joints de dilatation tous les 75 m.

■ 52 KILOMÈTRES DE JOINTS

Les premiers travaux consistent en un écrêtage des bourrelets des anciens joints de dalles constituées d'un mastic bitumineux contenant de l'amiante. L'écrêtage est effectué au marteau piqueur, opération banale mais qui, dans ce contexte, doit s'entourer des plus grandes précautions. En effet, avec une présence minimale d'amiante, les équipes Freyssinet ont dû revêtir les protections nécessaires légales, sous une température ambiante dépassant les 40° C au fond du canal. Les équipes affectées à cette intervention avaient au préalable reçu une formation spécifique et obtenu la qualification amiante. Une fois ce traitement terminé, une dizaine de personnes s'est appliquée à la réalisation d'une rainure légère de 7 mm x 7 mm à la tronçonneuse de part et d'autre des fissures et des joints à reprendre, puis au sablage des surfaces en béton à revêtir. Les rainures assurent une sécurité supplémentaire pour la tenue de la bande de résine exposée au phénomène de "pelage" créé par l'important débit du canal. Cent quatre kilomètres de rainurage ont ainsi été réalisés.

Les joints et les fissures ont été recouverts d'un ruban adhésif de 40 mm. Il permet de désolidariser la membrane d'étanchéité, large de 40 cm, du béton des dalles, afin de permettre leur libre dilatation sous l'effet des variations thermiques, notamment lors de la remise en eau du canal.

Une couche de résine primaire projetée au pistolet (photo 2) a été mise en œuvre avant l'application de la membrane d'étanchéité. Cette dernière est un système bi-composant à base de polyuréthane élastomère à réactivité instantanée qui forme une membrane de 2 à 3 mm d'épaisseur. Le produit est mis en œuvre à chaud par projection au moyen de deux machines spécifiques équipées de conduites chauffées de 60 m de long qui permettent le traitement quotidien de 1 600 m de fissures et de joints. Une troisième machine préchauffe la résine (photo 3) pour ne pas interrompre la pro-



reliant le lac de Serre-Ponçon

jection et assure le recyclage du produit non utilisé. Ces travaux sont d'abord effectués sur les bajoyers puis sur le radier, après le grenailage des zones à traiter. Compte tenu de l'absence de joints de dilatation à certains endroits, quelques dalles souffraient d'importants éclatements de béton entraînés par leur dilatation, défauts apparus pendant la période de chômage du canal. Quinze nouveaux joints de dilatation ont donc été réalisés à la scie diamantée murale.

■ TRAVAUX PRÉPARATOIRES

L'intervention portait également sur de nombreux travaux annexes. Freyssinet a ainsi procédé, durant la première semaine d'intervention, à la création de 24 exutoires de 150 mm de diamètre pour faciliter l'évacuation des eaux pluviales et de deux entonnements d'alimentation des cultures environnantes. Les exutoires débouchent dans des canalisations ovoïdes perpendiculaires au canal situées pour les plus profonds à 7 m sous le radier. Les entonnements, quant à eux, ont un diamètre de 420 mm.

En amont de la zone asséchée, deux batardeaux ont été construits pour assurer le maintien des eaux destinées aux cultures et un troisième batardeau pour garantir l'assèchement de la zone aval. Ces batardeaux, de 1,5 m de haut, ont été réalisés à l'aide de "big bag" remplis de graviers et recouverts en amont d'une membrane en PVC.

En fin de travaux, tous les percements ont été rebouchés par mise en œuvre de mortier sans retrait. Des regards ont également été percés pour permettre l'auscultation vidéo des drains longitudinaux.

■ TRAVAUX STRUCTURAUX ANNEXES

Compte tenu de l'importante fissuration de certaines dalles, Freyssinet a procédé à leur remplacement, à la démolition du béton au BRH et à leur reconstitution par coulage en place de béton de centrale. De nombreuses réparations de béton ont été effectuées sur les surfaces de dalles au moyen de mortier de réparation NF (30 t de matériaux). Parallèlement, les équipes Freyssinet sont intervenues dans la réparation des joints (traitement par bandes PVC et mastic) et des parements en béton du pont-canal situé au-dessus de la Bléone

**Photo 2**

La membrane d'étanchéité, de 2 à 3 mm, est un système bi-composant à base de polyuréthane élastomère à réactivité instantanée. 1.600 m de fissures et de joints ont été traités quotidiennement

The membrane, 2 to 3 mm thick, is a two-component system with an instant setting polyurethane elastomer base. 1.600 m of cracks and joints were treated daily

**Photo 3**

La membrane est mise en œuvre à l'aide de deux machines spécifiques équipées de conduites chauffées. Une troisième machine préchauffe la résine pour ne pas interrompre la projection

The membrane is applied by two special machines fitted with heated pipes. A third machine preheats the resin so as not to interrupt spraying



Photo 4

Les travaux ont également porté sur la réparation des joints et des parements en béton du pont-canal de la Bléone

The works also covered repair of the concrete joints and facings on the Bléone canal bridge

(photo 4), un ouvrage de 115 m de long constitué d'une bache trapézoïdale prolongeant exactement le canal entre l'amont et l'aval à l'exception du radier, lequel est remonté de 2 m pour laisser un débouché libre suffisant aux crues de la rivière. Ce chantier (photo 5), aux dimensions impressionnantes, aura mobilisé une soixantaine de personnes pendant onze semaines, délai impératif de chômage des installations hydrauliques. Il a nécessité également une organisation logistique particulière, un seul accès étant possible dans la zone asséchée.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

EDF GEH Moyenne Durance (Groupe Energie Hydraulique)

Maitre d'œuvre

EDF CIH (Centre d'Ingénierie Hydraulique)

Entreprise générale

Freyssinet mandataire du groupement Freyssinet Etandex



Photo 5

Jérôme Coupy, conducteur de travaux Freyssinet, et son équipe auront été mobilisés pendant onze semaines sur ce chantier aux dimensions impressionnantes

Jérôme Coupy, Freyssinet works foreman, and his team were kept busy for eleven weeks on this project of impressive scale

ABSTRACT

The Oraison Canal. Rehabilitation of part of the canal linking Serre-Ponçon lake to Berre pond

P. Ferrari

Following a comprehensive expert appraisal performed in 1998 on the Oraison Canal (Alpes-de-Haute-Provence region), built at the end of the 1950s, it was decided to improve its waterproofing. The work performed by the consortium (led by Freyssinet) covered a section 6 km long and involved, on the one hand, preparing surfaces (trimming beads from the former slab joints, slotting) before applying a coat of primary resin (two-component system with an instant setting polyurethane elastomer base) by gun and, on the other hand, executing new expansion joints between the slabs by wall-mounted diamond slitting wheel.

The operation also covered numerous ancillary works including the creation of 24 outlets to facilitate rainwater drainage, the replacement of some slabs and the repair of the concrete joints and facings of the canal bridge above Bléone River.

A project on an impressive scale which occupied about sixty people for eleven weeks, an absolutely firm deadline due to hydraulic installation downtime.

RESUMEN ESPAÑOL

El canal de Oraison. Rehabilitación de una parte del canal que pone en comunicación el embalse de Serre Ponçon con la albufera de Berre

P. Ferrari

Tras una peritación completa llevada a cabo en 1998 en el canal de Oraison (Alpes de Haute Provence) construido hacia finales de 1950, se tomó la decisión de mejorar su impermeabilidad. La intervención del grupo de empresas constructoras (encabezado por Freyssinet) ha intervenido en un tramo de 6 km de longitud y ha consistido, en primer lugar, en preparar las superficies (rebaje de los salientes de las antiguas juntas de losas, ranurado) antes de la aplicación de una capa de resina primaria (sistema bicomponente a base de poliuretano elastómero de reactividad instantánea) aplicada con pistola y, en segundo lugar, ejecutar nuevas juntas de dilatación entre las losas por medio de una sierra diamantada mural. La intervención ha incluido también numerosos trabajos anexos, entre los cuales la creación de 24 exutorios para facilitar la evacuación de las aguas pluviales, la sustitución de algunas losas y la reparación de las juntas y de los paramentos de hormigón del puente canal situado por encima del río Bléone. Se trata de unas obras de dimensiones impresionantes que ha precisado la intervención de unas sesenta personas durante once semanas, plazo imperativo de cierre de las instalaciones hidráulicas.

Réhabilitation du réservoir d'eau potable de Tortel (Var) et étanchéité des cuves par revêtement résine armée

La réfection du vieux réservoir d'eau potable de Tortel à La Seyne-sur-Mer (Var) vient de se terminer. Cet important ouvrage possédant deux bassins de 1 000 m³ a nécessité 5 mois de travaux confiés au groupement Freyssinet - Estandex - Cometra. La nouvelle étanchéité des cuves est un revêtement à base de résine époxy armée fibre de verre fixée mécaniquement. En 1999, le réservoir de la Colle d'Artaud avait déjà reçu le même type de revêtement appartenant à la gamme Permatex.

Situé à la Seyne-sur-Mer dans le Var, le réservoir de Tortel est le plus ancien édifice sur la commune (1890); il comprend deux cuves de 1 000 m³. Cet ouvrage a été construit en maçonnerie traditionnelle (moellons pour les parois et béton sans armature pour les voûtes). Il est alimenté par le réseau de Toulon et par celui du centre principal de la Colle d'Artaud¹. Il dessert le centre-ville de la Seyne avec un débit de 22 l/seconde (2 000 m³/jour).

En 1966 un observatoire (Antares) a été construit sur l'ouvrage sans fondation. La vétusté de cette construction ainsi que sa conception ont entraîné un certain nombre de désordres et ont amené une rupture de l'étanchéité.

Pour assurer la pérennité de ce réservoir et pour le mettre en conformité avec les règles sanitaires il convenait d'effectuer sa réhabilitation afin d'éviter tout risque de pollution de l'eau de consommation. Un appel d'offres a été lancé par la ville de la Seyne-sur-Mer qui a adjugé le marché au groupement d'entreprises : Freyssinet (mandataire), Estandex et Cometra.

Pour assurer la pérennité de ce réservoir et pour le mettre en conformité avec les règles sanitaires il convenait d'effectuer sa réhabilitation afin d'éviter tout risque de pollution de l'eau de consommation. Un appel d'offres a été lancé par la ville de la Seyne-sur-Mer qui a adjugé le marché au groupement d'entreprises : Freyssinet (mandataire), Estandex et Cometra.

■ CONSISTANCE DES TRAVAUX

Le marché prévoyait la mise en œuvre des éléments suivants :

- ◆ reprise des étanchéités et maçonneries extérieures (poste 1);
- ◆ étanchéité de la couverture, confortement en sous-œuvre de l'observatoire (poste 2);
- ◆ clôture de l'ouvrage et mise en sécurité;
- ◆ plantation d'arbustes et semis d'une prairie sur la toiture terrasse.

L'opération la plus importante étant le revêtement d'étanchéité intérieur (poste 3).

Début janvier 2002, l'ordre est donné de commencer les travaux qui sont planifiés sur 5 mois.

La maîtrise d'œuvre est assurée par le Service des eaux de la Seyne-sur-Mer et le contrôle technique par le bureau Veritas de Toulon.

Le montant des travaux s'élève à un peu plus de 400 000 € et a bénéficié d'une aide de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse à hauteur de 130 000 €.



Terrasse
Terrace



Terrasse
Terrace



Voiles extérieurs,
béton projeté
Exterior shear
walls, shotcrete

Vincent Pech

DIRECTEUR TECHNIQUE
Permatex France S.A.S.



1 - Le réservoir de la colle d'Artaud a été réhabilité de la même manière en 1999.

**Vue générale
cuve nord**
*General view
of the North tank*



**Vue générale
cuve nord**
*General view
of the North tank*



Détail d'une fixation
Detail of a fastener



■ PRÉPARATION ET RÉPARATIONS

Différentes tâches se sont succédé lors de la préparation :

- ◆ enlèvement des terres de couverture ;
- ◆ repiquage des parties de béton défectueuses ;
- ◆ préparation des supports intérieurs par lavage très haute pression ;
- ◆ ponçage des défauts intérieurs (sous-face) ;
- ◆ ouverture des fissures, etc.

Les réparations ont porté sur les éléments suivants :

- ◆ fissures extérieures : injection à l'aide de résine aquaréactive ;
- ◆ mur ouest : pose d'un drain longitudinal et mise en œuvre d'un béton projeté ;
- ◆ voûtes : remise aux cotes par béton projeté avec finition talochée ;
- ◆ observatoire : renforcement par pose d'un treillis soudé et béton projeté en partie basse.
- ◆ ragréage des structures : application d'un enduit hydraulique modifié (Lanko) ;
- ◆ étanchéité de la terrasse : par pose d'une mem-

brane de bitume armée et d'une isolation thermique ;
◆ étanchéité intérieure : après avoir remis le réservoir aux cotes et vérifié l'aptitude à recevoir le revêtement, l'opération a consisté à poser un complexe en fibre de verre et une résine époxy fixée mécaniquement et posée en semi-indépendance. Le revêtement mis en place devait répondre à un certain nombre de critères d'alimentarité et de résistance mécanique.

Alimentarité

Le revêtement possède une attestation de conformité sanitaire (ACS) délivrée par un laboratoire agréé par le ministère de la Santé : LHRSP N° 98 MAT NY 330 (Laboratoire d'hygiène et de recherche en santé publique de Nancy 54).

Résistance mécanique

Un certain nombre de tests ont été effectués par le laboratoire Veritas de Saint-Ouen-l'Aumône (Val-d'Oise) portant sur :

- ◆ l'imperméabilité à l'eau ;
 - ◆ essai de tenue à la contre-pression d'eau ;
 - ◆ essai de tenue à la condensation continue ;
 - ◆ essai de comportement aux cycles climatiques conventionnels ;
 - ◆ essai d'adhérence ;
 - ◆ essai de fissurations...
- ... démontrent la parfaite qualité du revêtement.

■ DÉROULEMENT DES OPÉRATIONS

Confection dans la partie haute d'une engravure (arrêt des revêtements) et création d'une zone d'adhérence sur 20 cm par application d'une résine époxy en phase aqueuse (EmulpoX).

Application sur les parois et le radier d'une couche de résine époxy sans solvant (Betonol G270).

Pose d'un renfort mécanique et multidirectionnel en fibre de verre E à un grammage de 800 g/m² (Permaver DX 800).

Saturation du complexe par pose d'une deuxième couche de résine (Betonol G 270).

Après la prise du revêtement, perçage des trous d'un diamètre de 8 mm et d'une profondeur de 80 mm et pose de chevilles polypropylène Hilti d'une longueur de 50 mm en observant un maillage strict calculé en fonction de la configuration de l'ouvrage (environ huit fixations au mètre carré sur les parois et quatre fixations au mètre carré au sol).

Nota : En quelques points, les fixations ont été plus rapprochées (autour des piquages, des parties hautes, des ouvertures, etc.).

Ces chevilles sont ensuite recouvertes d'un carré de 20 cm x 20 cm de tissu de verre et saturées de résine.

CONSOMMATIONS DES PRODUITS D'ÉTANCHÉITÉ INTÉRIEURE

- Permaver DX 800 : 2 500 m²
- Permacor G270 : 4 300 kg
- Permacor 3650 : 2 000 kg
- Chevilles : 12 000 (environ)



Escalier d'accès

Access stairs

Après le durcissement, un ponçage des défauts est effectué.

Un contrôle des revêtements est réalisé portant sur :

- ◆ la polymérisation des résines ;
- ◆ l'aspect (absence de défauts, trous, porosités) ;
- ◆ la continuité du film par passage du Porotest² (balai électrique).

Après cette opération, la couche de finition est appliquée : Permacor 3650 blanc (résine époxy sans solvant appliquée au pistolet Airless).

Après un délai de 7 jours, le réservoir peut être mis en service (désinfection et remplissage).

Reste à remblayer la terre de culture et effectuer les plantations.

Cette opération a été conduite en 5 mois avec, en moyenne, la collaboration de sept à huit ouvriers par semaine.

2 - Porotest DC Holiday Detector de Elcometer.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Mairie de la Seyne-sur-Mer

Maitre d'œuvre

Service Eau et Assainissement (M. Incatasciato)

Entreprises

- Freyssinet Sud-Est (M. Ferrari)
- Etandex Sud-Est

Fournisseurs

Permatex France S.A.S.

Contrôle technique

Bureau Veritas (Toulon)

ABSTRACT

Rehabilitation of the potable water reservoir at Tortel (Var region) and waterproofing of the tanks with a reinforced resin coating

V. Pech

Revamping of the old potable water reservoir at Tortel in La Seyne-sur-Mer (Var region) was recently completed. This major structure having two basins of capacity 1,000 cu. m required five months' work, entrusted to the Freyssinet-Etandex-Cometra consortium. The new waterproofing for the tanks is a coating with an epoxy resin base reinforced with glass fibre fastened mechanically.

In 1999, the Colle d'Artaud reservoir had already received the same type of coating, forming part of the Permatex range.

RESUMEN ESPAÑOL

Rehabilitación del depósito de agua potable de Tortel (Var) y la impermeabilización de las cubas mediante revestimiento de resina armada

V. Pech

Se acaba de dar fin a las obras de refacción del antiguo depósito de agua potable de Tortel, en La Seyne-sur-Mer (Var). Esta importante estructura estaba formada por dos embalses de 1 000 m³ y ha precisado cinco meses para las obras encargadas al Grupo Freyssinet - Etandex - Cometra. La nueva impermeabilización de las cubas consiste en un revestimiento a base de resina epoxídica armada mediante fibra de vidrio fijada mecánicamente. En 1999, el depósito de la Colle d'Artaud había sido ya objeto de este mismo género de revestimiento correspondiente a la gama Permatex.

vie pour les égouts s'offre des matériaux

Laurent Coty
RESPONSABLE
DES TRAVAUX DE RÉHABILITATION
DES COLLECTEURS
D'ASSAINISSEMENT
Ville de Besançon

ou exfiltrations, la suppression des risques structurels. D'un point de vue économique mais également pratique, quand on connaît les difficultés d'intervention en centre-ville historique, tous ces points devraient contribuer, à la satisfaction d'un exploitant de réseau, à diminuer l'entretien ultérieur, et à minimiser les perturbations de surface dues aux curages.

■ DES ÉTUDES PRÉALABLES INDISPENSABLES

La programmation des travaux de réhabilitation passe par une étape préalable de diagnostic divisée en deux phases. La première appelée prédiagnostic, assurée généralement par le personnel de l'exploitant du réseau, permet d'établir un premier bilan en classant les collecteurs en trois catégories :

- ◆ tronçons sans risque ;
- ◆ tronçons ne nécessitant que des travaux d'entretien courant ;
- ◆ travaux nécessitant des investigations complémentaires.

Le troisième cas de figure doit normalement provoquer une auscultation, qui nécessite l'emploi de matériel spécifique.

C'est pourquoi, dès 1992, la ville de Besançon a commandé à la Sagep, service MAC (Mécanique d'Auscultation des Conduits) l'auscultation de 2350 m de réseau, prestations réalisées avec son système MAC. Il s'agit d'une méthode de vérinage intérieur qui permet d'approcher la raideur propre du collecteur et ainsi de déterminer la qualité mécanique de la structure et son interaction avec le sol encaissant. Cette expérience a été renouvelée plus récemment sur le collecteur des Près Jacquot, avec cette fois une série de mesures avant travaux (août 2001) et une autre après travaux (février 2002).

■ DEUX EXEMPLES DE CHANTIER DE RÉHABILITATION

Réhabilitation des collecteurs aux Près Jacquot

Il s'agit de deux tronçons de collecteurs ovoïdes dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ◆ site n° 1 - Longueur : 172 m :
- hauteur comprise entre 153 et 163 cm (moyenne : 158 cm),



Photo 1
Collecteur
aux Près Jacquot.
Etat
avant travaux
*Sewer
at Près Jacquot.
Condition
before the works*

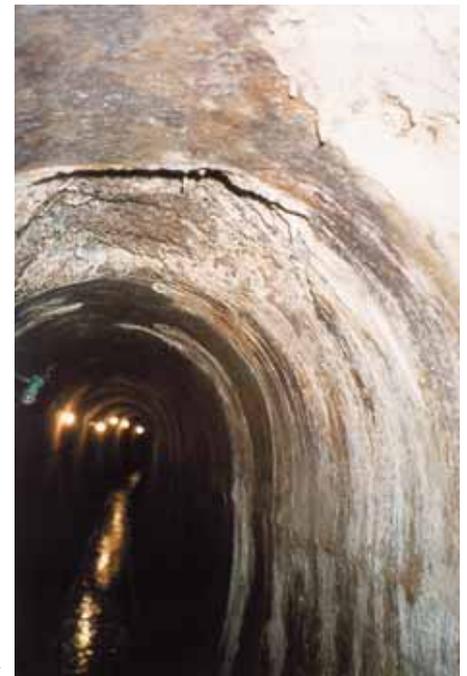


Photo 2
Collecteur
aux Près Jacquot.
Dégradation
de la maçonnerie
*Sewer at Près
Jacquot.
Deterioration
of masonry*

- largeur comprise entre 91 et 94 cm (moyenne : 92,5 cm),
- traversée du collecteur par une conduite ;
- ◆ site n° 2 - Longueur : 53 m :
- hauteur comprise entre 132 et 139 cm (moyenne : 135,5 cm),
- largeur comprise entre 79,5 et 81,3 cm (moyenne : 80,4 cm).

Le radier de ces collecteurs est très fortement dégradé, la structure présentait par endroit les fissures et des dégradations parfois profondes de la maçonnerie.

Compte tenu de l'état des ouvrages (photos 1 et 2), la ville de Besançon a décidé de les réhabiliter. Avant les travaux de réhabilitation proprement dits, à la demande du Service Assainissement, maître d'œuvre de l'opération, le bureau d'études Béture-Cérec a réalisé des mesures de débit pendant un mois en décembre 2001, permettant de déterminer le débit de temps sec et celui que l'entreprise devrait prendre en compte ultérieurement en stockage ou en dérivation.

Un relevé de profilométrie des canalisations et une première campagne d'essais MAC ont complété le diagnostic.

La synthèse des résultats communiqués par les bureaux d'études et l'état des ouvrages ont orienté le choix du maître d'œuvre pour la constitution du dossier d'appel d'offres. Le CCTP a été large-

BIBLIOGRAPHIE

- Manuel sur l'état de l'art - Opération RERAU 4 - Tubage par éléments préfabriqués avec espace annulaire - Juillet 2002
- Guide technique pour la reconstruction des collecteurs visitables - Tome 1 - Editions Lavoisier Tec et doc
- Arrêté du 22 décembre 1994 relatif à la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées

ment inspiré du manuel sur l'état de l'art de l'opération RERAU 4 concernant le tubage par éléments préfabriqués avec espace annulaire, appelés plus communément "coques". La solution avec des coques PRV Channeline (photo 3) de chez Hobas

Photo 3
Collecteur
aux Prés Jacquot. Coques
avant mise en œuvre
*Sewer at Prés Jacquot.
Shells prior to laying*



Photos 4 et 5
Collecteur
aux Prés Jacquot. Etat
après réhabilitation
*Sewer at Prés Jacquot. Condition
after rehabilitation*



Photo 6
Installation de chantier,
place Jean Cornet
*Site installation,
Jean Cornet square*



proposée par SMCE Réha a été retenue après appel d'offres ouvert. Les travaux pouvaient commencer.

Après une préparation soignée des ouvrages, avec notamment un reprofilage du radier, les coques ont été assemblées une à une à l'intérieur des ouvrages existants. Un coulis de remplissage, spécialement préparé pour cette opération, a ensuite comblé le vide entre la structure existante et les coques nouvellement posées. L'intérieur des regards a également été repris avec un mortier résistant aux ambiances corrosives.

Une fois les travaux terminés (photos 4 et 5), une deuxième campagne d'essais MAC a permis de vérifier l'absence de vide à l'interface de la nouvelle et de l'ancienne structure et de calculer l'apport mécanique apporté par l'ensemble coques/coulis. Les travaux se sont déroulés sur la période du 17 septembre 2001 au 22 janvier 2002, hors essais, avec une période d'arrêt en décembre 2001 provoquée par une vague de fort gel.

Le montant des travaux s'établit à 311 611,51 € HT soit 372 687,37 € TTC (≈ 1 650 € TTC/ml).

Réhabilitation des collecteurs du centre-ville 10^e tranche

Le chantier se trouvait au cœur même du centre-ville historique de Besançon situé dans la boucle du Doubs, les emplacements des installations de chantier doivent donc être étudiés avec la plus grande attention pour l'espace qu'ils occupent mais aussi pour garantir leur approvisionnement (photo 6).

En aucun cas, l'aspect commercial du secteur et la proximité des bâtiments ne doivent être négligés surtout lorsque la durée du chantier est très longue. La dixième tranche a été programmée sur 20 mois, avec deux installations de chantier distinctes pour un linéaire de réseau de 1 300 m. La hauteur des collecteurs varie de 1,50 à 2 m. En 1992, les essais de résistance mécanique n'ont pas fait apparaître de risques structurels des ouvrages. La réhabilitation a consisté alors à améliorer la capacité d'écoulement, la liaison entre le conduit et le terrain encaissant ainsi qu'à rétablir l'étanchéité. Une conduite d'eau en fonte, hors service et à démonter sur 530 m compliquait un peu plus la tâche de l'entreprise (photo 7).

Les travaux (figure 2), réalisés par SFCE-TC (Société Franc-Comtoise d'entreprises - Terrassement et canalisations) ont commencé par le renforcement du collage à l'interface sol/conduit par injection d'un coulis à l'extrados du collecteur, ce qui permet également de régénérer les joints de maçonnerie en moellons calcaires constituant les ouvrages. Chaque percement est repéré, le volume de coulis est contrôlé trou par trou en volume et en pression.

Les paramètres sont enregistrés sur le "VOPI",

appareil de réglage et de contrôle des injections. Les travaux se sont poursuivis avec l'étanchement des parois par projection d'un béton fibré sur une hauteur de 1 m, hauteur maximum où le niveau de l'eau peut monter, et une épaisseur de 2 cm. Après un décapage sur 5 cm en début de chantier, le radier a été reprofilé à l'aide de cunettes Poly-H en CSR (Composite Sable Résine) préfabriquées en usine par Polcryl avec remplissage des vides jusqu'à former une banquette entre les cunettes et les parois (photos 8, 9 et 10). Les travaux se sont déroulés du 28 août 2000 au 21 juin 2002 pour un montant de 1073583,12 € HT soit 1 284 005,41 € TTC (≈ 998 € TTC/ml).

L'ÉTAT DU PATRIMOINE PROMET UN BEL AVENIR AUX TECHNIQUES SANS TRANCHÉES

Sans jamais interrompre le service rendu aux Bisons, la Ville a investi depuis 1989, 4,9 M € HT (32 MF HT) dans la restauration de ses collecteurs d'assainissement dont 4,2 M € HT (27 MF HT) pour 6,7 km de réseaux visitables et 0,7 M € HT (4,6 MF HT) pour 1,7 km de non visitables. Ces montants bénéficient d'aides importantes de l'Agence de l'Eau RMC (Rhône-Méditerranée-Corse) sous la forme de 30 % de subventions et 20 % d'avances remboursables. L'arrêté du 22 décembre 1994 relatif à la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement

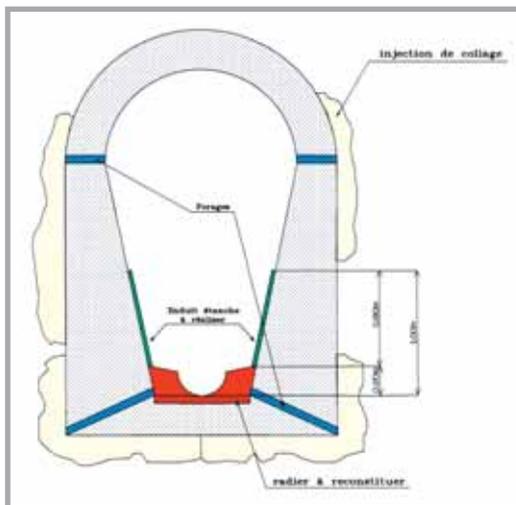


Figure 2
Schéma de principe de réhabilitation
Schematic diagram of rehabilitation



Photo 8
Collecteur rue des Granges.
Etat après réhabilitation
*Sewer in Granges Street.
Condition after rehabilitation*



Photo 9
Collecteur rue Moncey. L'état de la maçonnerie a nécessité l'application d'enduit sur toute la surface intérieure du collecteur
Sewer in Moncey Street. Given the condition of the masonry, a coating had to be applied over the entire inner surface of the sewer



Photo 7
Collecteur rue des Granges. Démontage de l'ancienne conduite d'eau
Sewer in Granges Street. Removal of the old water pipe



Photo 10
Collecteur rue des Granges.
Travaux de finition
*Sewer in Granges Street.
Finishing works*

des eaux usées, que les gestionnaires de réseaux ne peuvent ignorer, stipule que :

"Le suivi du réseau de canalisations doit être réalisé par tout moyen approprié (par exemple inspection télévisée décennale, enregistrement des débits horaires véhiculés par les principaux émissaires...). Le plan du réseau et des branchements est tenu à jour".

L'application de cette réglementation laisse entrevoir un bel avenir pour les techniques de réhabilitation dites "sans tranchée". En effet, compte tenu des connaissances actuelles sur l'état du patrimoine national dans le domaine des réseaux d'assainissement, les faiblesses et défauts des ouvrages, qui surgiront inmanquablement, devraient alimenter la liste des travaux à programmer.

La prise en compte de la gêne occasionnée aux riverains et aux usagers en surface sera plus encore à l'avenir qu'aujourd'hui un facteur déterminant sur les méthodes de réhabilitation retenues pour ces ouvrages souterrains que Victor Hugo qualifiait de "boyaux de la ville".

ABSTRACT

Besançon : a new life for the sewers. Rehabilitation of the main sewers is performed with composite materials

L. Coty

Starting in 1979 with the laying of 400 metres of GRC shells in the sewer on Veil-Picard quay, the City of Besançon has, since 1989, undertaken a vast programme for rehabilitation of its sewerage network, managed directly by the municipality. The nuisances of all types related to civil engineering work sites, whether they be sound nuisances, loss of time or other, are increasingly unacceptable to frontage residents and users of the public domain. To overcome these annoyances, the City of Besançon turned to so-called trenchless techniques, not yet very widely used by contracting authorities and project managers. Two projects inside man-entry sewers, completed in 2002, reflect thirteen years of effort in the area of rehabilitation.

RESUMEN ESPAÑOL

Besançon : una nueva vía para la red de alcantarillado. Rehabilitación de los colectores mediante materiales compuestos

L. Coty

La ciudad de Besançon ha emprendido, desde 1989, un amplio programa de rehabilitación de su red de saneamiento, llevado a cabo por administración directa municipal, que fue iniciado en 1979 con el tendido de 400 m de membranas de materiales compuestos por cemento de vidrio (GRC) en el colector del muelle Veil-Picard. Las molestias de todo género, relacionadas con las obras de ingeniería civil, ya sean sonoras, pérdidas de tiempo u otras son cada día menos soportadas por la población aledaña o los usuarios del dominio público. Para hacer frente a tales molestias, la ciudad de Besançon se ha orientado hacia las técnicas denominadas "sin zanjas", aún poco utilizadas por las entidades contratantes y los propios ejecutantes. Dos obras formadas por colectores transitables, finalizadas en 2002, reflejan trece años de esfuerzos en el aspecto de la rehabilitación.

Réparation et renforcement d'ouvrages de génie civil en milieu industriel

Pierre Faure

DIRECTEUR TECHNIQUE
Freyssinet Pôle Europe



La réparation et le renforcement d'ouvrages de génie civil en milieu industriel posent des problèmes tout à fait particuliers aux entreprises spécialisées qui sont amenées à réaliser de tels travaux.

Ces problèmes sont liés en général à plusieurs facteurs tels que l'agressivité de l'environnement, la nécessité de travailler en milieu souvent très encombré, l'importance apportée au maintien, avec un minimum de gêne, de l'activité industrielle ou la nécessité de réaliser les travaux dans un délai très court si ceux-ci doivent se faire en période d'arrêt de l'usine.

Dans ces conditions les entreprises sont dans bien des cas amenées à concevoir des solutions techniques sortant de l'ordinaire associées à des méthodes d'exécution peu conventionnelles. C'est ce que nous allons montrer au travers de quatre chantiers réalisés récemment par la société Freyssinet France.

■ MISE EN SÉCURITÉ D'UN SATURATEUR À SEL

Contexte général de l'opération

Ce saturateur à sel est un ouvrage en béton armé construit dans les années 60 dont la fonction est de permettre la saturation de l'eau par du sel de mer pour les besoins de production du site. Il s'agit d'un ouvrage circulaire de 14,00 m de diamètre reposant sur une embase cylindro-tronconique. Malgré la présence à l'intérieur d'un briquetage de protection, le béton est très agressé par les ions chlorures de la saumure. Cette attaque conduit à terme à une dissolution plus ou moins importante des aciers de béton armé donc à une insuffisance de résistance de l'ouvrage face aux sollicitations dues à la poussée du liquide ou du tas de sel dont la hauteur peut dépasser de 2,00 m celle de la cuve durant l'exploitation.

Dans le cas présent, l'ouvrage présentait une forte dégradation des bétons avec pollution à cœur et éclatements en surface, de nombreuses fissures et des traces importantes de coulure de saumure. Les désordres étaient tels que les responsables techniques de l'usine craignaient une rupture en pétale de la ceinture circulaire supérieure.

Il était donc impératif de procéder d'urgence à une mise en sécurité de la cuve pour rétablir sa fonction.

Solution technique mise en œuvre

Très souvent, le renforcement de structures circulaires se fait par cerces extérieures de précontrainte mais dans le cas présent, les bétons et les



Saturateur à sel. Vue générale après mise en sécurité. On distingue le ceinturage par lattes de bois et bandes de T.F.C.

Salt saturator. General view after placing in safety configuration. One can see the girding of wooden laths and TFC strips

armatures étaient trop dégradés pour appliquer sans risque une telle technique.

Il était donc indispensable de s'orienter vers un renforcement de type passif mais, là encore, les techniques traditionnelles étaient mal adaptées :

- ◆ un renforcement par béton projeté extérieur risquait à terme de connaître les mêmes problèmes que la structure initiale (pollution du béton par les chlorures et dissolution des armatures). Sa réalisation était par ailleurs difficile et son coût élevé ;

- ◆ une solution de cerclage par bandes métalliques n'assurait pas une garantie suffisante vis-à-vis de la corrosion, même en cas d'utilisation d'acier inoxydable.

Face à cette situation, Freyssinet a proposé une solution originale et économique, associant un matériau traditionnel – le bois – et un produit moderne – la fibre de carbone sous forme de bandes de T.F.C.®.

La résistance des tonneaux en chêne contenant de la saumure est en effet bien connue depuis des

siècles. Quant à celle du carbone, associée à une résine époxydique, elle a été validée depuis plusieurs années par quantités d'essais et d'applications, dans des domaines aussi divers que l'industrie aérospatiale, les matériels de sport ou de loisir, les voitures de course ou le génie civil. La solution proposée, élaborée au sein de la Direction Technique de Freyssinet France a consisté à mettre en œuvre, sur tout l'extérieur de la cuve, des lattes de chêne disposées verticalement et d'assurer le cerclage par des bandes de T.F.C.® disposées en partie haute et basse de ces éléments. Cette mise en sécurité a vu son efficacité confirmée par une utilisation sans incident de l'ouvrage depuis plus d'un an.

MISE EN SÉCURITÉ D'UN SATURATEUR À SEL

Maitre d'ouvrage - Maitre d'œuvre

Atofina

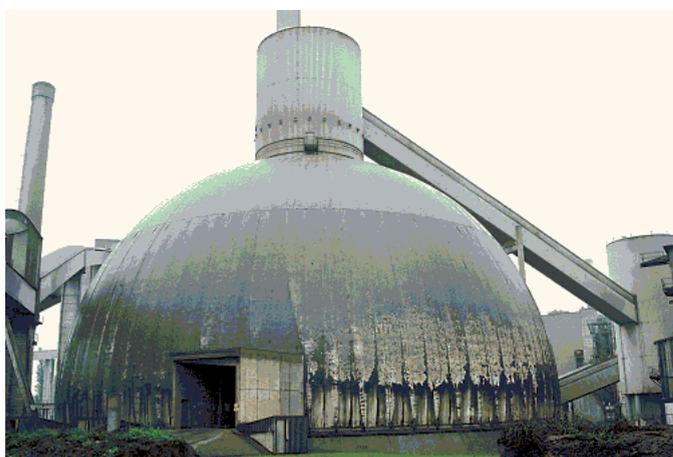
Entreprise

Freyssinet France

- Date des travaux : avril 2001
- Durée : 1 mois
- Surface renforcée : 60 m²

Coût des travaux : 43400 €

Lafarge Cimenterie.
Vue générale
de l'ouvrage
Lafarge cement plant.
General view
of the structure



Lafarge Cimenterie.
Vue du renforcement
en cours de réalisation
Lafarge cement plant.
View of the reinforcement work
in progress



■ RENFORCEMENT D'UN SILO À CLINKER

Contexte général de l'opération

L'ouvrage en question, appelé "Silo des incuits" a pour fonction de permettre une séparation du clinker non conforme provenant du four, sans arrêt de la production.

La structure en béton armé est schématiquement constituée par un cylindre de 7,50 m de diamètre intérieur et de 28 m de hauteur entouré par un hall de stockage semi-sphérique de 27,00 m de rayon. En tête de l'ouvrage central, une plate-forme en béton armé supporte les équipements mécaniques, le poids total de cet ensemble dépassant 300 tonnes.

Dans le process industriel, le clinker non conforme est stocké à l'intérieur du silo cylindrique, le reste à l'extérieur, sous la coupole. Les hauteurs de remplissage sont fortement variables et la paroi verticale peut être soumise à des poussées internes ou externes. Quant au matériau stocké à l'intérieur du silo, sa température peut aller de 150 à 400° C. L'ouvrage ayant été conçu pour une température de référence de 200° C, un diagnostic a été effectué pour vérifier son état.

A l'issue de celui-ci, il s'est avéré que la résistance du béton et l'adhérence acier/béton avaient chuté d'environ 50 % et que l'ouvrage présentait une fissuration généralisée dans les deux directions. L'importance des désordres et la baisse de résistance des matériaux remettaient en cause la stabilité de la plate-forme haute et le maître d'ouvrage décidait donc de procéder à un renforcement de l'ouvrage.

Solution technique retenue

Dans un premier temps, diverses solutions de renforcement ont été envisagées par la Direction Technique Génie civil de Lafarge :

- ◆ chemisage en acier avec protection thermique par fibres de céramique ;
- ◆ chemisage en béton projeté ;
- ◆ chemisage par utilisation d'éléments préfabriqués.

Ce renforcement devait avoir deux rôles essentiels :
◆ réduire les contraintes de traction dans la jupe du béton du silo ;
◆ assurer la reprise des charges de la plate-forme haute.

Et sa réalisation devait être la plus rapide possible pour perturber un minimum l'exploitation.

Au final, la solution retenue, mise au point à partir d'une proposition technique présentée par Freyssinet France, a consisté à réaliser un renforcement à base d'éléments préfabriqués associant :

- ◆ des raidisseurs verticaux en Ductal non armés plaqués à l'extérieur de la jupe ;

- ◆ des torons de précontrainte galvanisés gainés graissés assurant un cerclage actif de cette dernière ;
 - ◆ des panneaux extérieurs en Ductal armés, reprenant la poussée des matériaux stockés dans le hall ;
 - ◆ un chevêtre circulaire en béton armé traditionnel assurant en partie haute, le renfort des charges de la plate-forme sur le corset préfabriqué.
- Rappelons que le Ductal® est un béton fibré à hautes performances ($R_i > 140$ MPa) dont la fabrication et la commercialisation sont assurées par Lafarge Ciments.

Réalisation des travaux

Compte tenu du caractère novateur de la solution, il a été décidé en accord entre le maître d'ouvrage et l'entreprise, de procéder en deux étapes :

- ◆ une première phase d'études et d'essais devait permettre la mise au point de la solution et la réalisation d'essais sur les divers éléments préfabriqués. A l'issue de celle-ci, une validation technique du procédé a été obtenue auprès de Socotec ;
- ◆ la phase opérationnelle de travaux pendant laquelle ont été successivement réalisées :
 - la préfabrication des éléments,
 - la réalisation des travaux sur site par les équipes de la Direction régionale Sud-Ouest de Freyssinet France.

Grâce à l'étroite collaboration qui s'est instaurée, dès la présentation de la solution technique,



Lafarge Cimenterie.
Préfabrication des éléments en Ductal®
Lafarge cement plant.
Prefabrication of Ductal® elements

entre les divers intervenants (maître d'ouvrage, exploitant, bureau d'études, bureau de contrôle, préfabriquant, entreprise...), l'opération s'est réalisée sans aucun incident et dans le respect parfait des délais.

■ RÉHABILITATION DE L'OSSATURE EN BÉTON PRÉCONTRAIT D'UN BÂTIMENT INDUSTRIEL



Usine Ferro. Vue générale du bâtiment. On peut voir en partie haute les ancrages des nouveaux câbles de précontrainte
Ferro plant. General view of the building. One can see in the upper section the anchor bolts for the new prestressing cables

RENFORCEMENT D'UN SILO À CLINKER

Maître d'ouvrage - Maître d'œuvre

Lafarge Ciments La Couronne

Bureau de contrôle

Socotec

Entreprise

Freyssinet France

Sous-traitant

Bonna Sabla

Bureau d'études

Sica

Planning de l'opération

- Octobre - Novembre 2001 : mise au point projet - Essais
- Décembre 2001 : mise au point méthodes chantier
- Janvier - Mars 2002 : préfabrication des éléments en Ductal
- Avril - Mai 2002 : réalisation des travaux sur site

Coût des travaux : 820 000 €

Contexte général de l'opération

La société Ferro fabrique dans cette usine des produits céramiques spéciaux destinés à l'industrie. Une des unités de production est abritée dans un bâtiment à ossature en béton précontraint construit au début des années 60.

Ce bâtiment a une longueur totale de 210 m et une largeur courante de 63 m. Cinquante-huit fermes sont constituées par des poutres de 21,00 m de portée rendues continues sur trois travées et dix sont isostatiques avec la même portée.

Depuis la construction, plusieurs poutres avaient été le siège de désordres liés à la corrosion des fils de précontrainte extérieure, corrosion due à la

► présence, dans certaines zones, d'un environnement très agressif (chaleur et vapeurs acides) et à la médiocre protection apportée par le mortier de protection d'origine.

Dans certains cas, ces désordres avaient nécessité d'enfermer les poutres dans un corset métallique autoporteur afin d'éviter un effondrement local du bâtiment.

L'exploitant souhaitant poursuivre son activité industrielle en toute sécurité, une solution de réhabilitation totale de l'ossature a été recherchée.

**Usine Ferro.
Vue des nouveaux
câbles de précontrainte
extérieure**

**Ferro plant. View
of the new outer
prestressing cables**



Solution technique retenue

Après visite du site et pré-étude de faisabilité, la Direction Technique de Freyssinet France a estimé qu'il était possible de substituer à la précontrainte d'origine déficiente une nouvelle précontrainte réalisée à l'aide de torons gainés graissés et de remettre ainsi en état l'ossature du bâtiment.

Cette solution technique qui pouvait être mise en œuvre sans arrêter la production a intéressé l'industriel qui a décidé de lancer une consultation sur ces bases.

C'est le bureau d'études Cetec Ingénierie, qui avait conçu les précédents renforcements métalliques, qui a élaboré le DCE de réparation.

Sur le plan technique, la substitution de la précontrainte d'origine par les nouveaux câbles était prévue par phases avec mise en place d'un étaielement provisoire.

Dans sa réponse, Freyssinet France, associée à l'entreprise locale Jouanny, a proposé de réaliser les travaux sans mettre en œuvre cet étaielement provisoire mais en assurant la stabilité des poutres par des bracons obliques venant s'appuyer sur les fermes adjacentes. Financièrement intéressante et moins contraignante pour l'exploitation de l'atelier, cette solution a été retenue par le maître d'ouvrage.

Les études détaillées de l'opération intégrant les diverses phases de mise en tension de la nouvelle précontrainte et celles de découpe de la précontrainte d'origine, en tenant compte de ruptures accidentelles dissymétriques, ont été réalisées par le BE Robin en association avec la Direction Technique de Freyssinet France.

La précontrainte de substitution est constituée par des unités 3C15 disposées de part et d'autre de chaque poutre.

Le tracé comporte deux déviateurs en travée situés au droit des joints entre éléments préfabriqués.

Les câbles sont constitués de torons gainés graissés mis en place dans une gaine générale métallique avec injection au coulis de ciment préalablement à la mise en tension.

Ils sont ancrés sur des chevêtres transversaux s'appuyant aux abouts des fermes. Ils sont tendus initialement à 0,55 Frg, valeur suffisante pour remettre l'ossature en conformité avec la réglementation actuelle. La capacité résiduelle permet de faire face à une augmentation éventuelle des surcharges d'exploitation suspendues à l'ossature, la précontrainte mise en place pouvant être ajustée dans le temps. Les travaux ont été réalisés par zones de largeur limitée en perturbant au minimum les conditions d'exploitation du site.

Les opérations délicates de découpe et de démontage de la précontrainte d'origine et de son cachetage se sont déroulées conformément aux prévisions.

En complément de ces travaux des renforcements spécifiques par T.F.C.® et par consoles métalliques des poutres transversales et des poteaux ont été réalisés.

Première opération de substitution totale de précontrainte sur un ouvrage industriel de ce type, ces travaux se sont déroulés sans incident à la satisfaction des divers intervenants.

RÉHABILITATION DE L'OSSATURE EN BÉTON PRÉCONTRAIT D'UN BÂTIMENT INDUSTRIEL

Maître d'ouvrage - Maître d'œuvre

Groupe Ferro

Bureau d'études conseil

CETEC Ingénierie

Bureau de contrôle

Socotec

Groupement d'entreprises

Freyssinet France - Jouanny

Bureau d'études

J. Robin

• Date de réalisation des travaux : octobre 2001 - Juin 2002

Coût des travaux : 1 880 000 €

■ REMPLACEMENT DU MASSIF D'APPUI DU BROYEUR/ CUISEUR DE L'USINE DES PLÂTRES LAFARGE

Contexte général de l'opération

Située en zone périurbaine, cette usine est soumise à des contraintes d'environnement très importantes. Ceci a conduit à programmer, durant la période d'arrêt technique de fin d'année, la rénovation complète du système de fondation de broyeur en continu pour supprimer les vibrations qui étaient ressenties par les riverains.

Concrètement, il s'agissait dans un temps minimum, de démonter la partie mécanique du broyeur, démolir son massif d'embase en béton armé – un bloc enterré de 7,00 x 5,00 m et de 4,00 m de profondeur – d'imperméabiliser la fosse dans laquelle il se trouvait puis de refaire les longrines supports des nouveaux dispositifs amortisseurs, et de positionner sur ces derniers un nouveau bloc d'embase en béton armé pesant environ 250 t avant de procéder au remontage du broyeur.

Ayant déjà eu l'occasion d'intervenir sur cette machine deux ans auparavant pour en refaire les fixations et les travaux s'étant déroulés à la satisfaction totale du client, Freyssinet France a de nouveau été sollicité par celui-ci pour la manutention lourde du nouveau massif.

Lors des discussions techniques, il s'est avéré que la coordination des tâches depuis la démolition de l'existant jusqu'à la livraison du nouveau massif était primordiale pour la réussite de l'opération et dans ces conditions, l'entreprise a proposé de prendre en charge, avec un sous-traitant local – la société Routière du Mont Ventoux (SRMV) toutes les opérations autres que les travaux sur la partie mécanique du broyeur et la fourniture des systèmes amortisseurs.

Cette solution, qui faisait appel à une préfabrication totale des nouveaux éléments béton et une manutention avec un matériel spécifique d'encombrement réduit a été retenue en définitive par l'industriel, malgré un coût qui n'était pas le plus bas. Plusieurs raisons ont conduit à ce choix :

- ◆ la prise en charge globale de l'opération qui limitait les aléas de coordination;
- ◆ le choix technique de la préfabrication qui était un gage de qualité et de respect des délais;
- ◆ la faible incidence des travaux sur l'ossature du bâtiment industriel.

Déroulement des travaux

La préfabrication du nouveau massif d'embase (6,24 x 4,56 x 3,00 m) et des longrines d'appui du système isolant (7,04 x 0,80 x 0,75) a été réalisée par S.R.M.V. sur une plate-forme disponible dans l'usine à proximité du broyeur.



Usine Plâtres Lafarge. Déplacement du nouveau massif préfabriqué à l'aide de pousseurs hydrauliques. La largeur de passage disponible est extrêmement réduite par rapport au gabarit du bloc (moins de 20 cm par côté)

Lafarge Plâtres plant. Moving the new prefabricated foundation by means of hydraulic pushers. The available passage width is extremely narrow by comparison with the size of the block (less than 20 cm on each side)



Usine Plâtres Lafarge. Descente du massif dans la fosse. La nouvelle embase métallique du broyeur est déjà en place sur le bloc préfabriqué

Lafarge Plâtres plant. Lowering the foundation into the pit. The new metallic base of the grinder is already in place on the prefabricated block

La principale difficulté consistait dans la mise en place, avec des tolérances très réduites, de l'ensemble des nombreux inserts dans un ferrailage dont la densité dépassait 200 kg/m³.

Ces travaux terminés deux semaines avant le début de l'opération de remplacement se sont parfaitement déroulés.

Le planning de l'opération de remplacement proprement dite a été ensuite le suivant :

- ◆ semaine précédant le démontage du broyeur :
- vérinage du nouveau bloc et équipement de ce

REEMPLACEMENT DU MASSIF D'APPUI DU BROYEUR/ CUISEUR DE L'USINE DES PLÂTRES LAFARGE

Maitre d'ouvrage - Maitre d'œuvre

Lafarge Plâtres

Dispositifs amortisseurs

G.E.R.B.

Entreprise générale

Freyssinet France

Sous-traitant

Société Routière du Mont Ventoux

Méthodes

Direction Technique Freyssinet France

Coût des travaux : 145 000 €

▶ dernier (oreilles de levage, embase du broyeur...),
- mise en place des dispositifs de ripage hors de la zone nécessaire à l'évolution des engins de démolition,

- préripage du bloc sur quelques mètres ;

◆ dès la fin du démontage du broyeur :

- démolition et évacuation de l'ancien massif,

- nettoyage et étanchement de la fosse du massif,

- mise en place et scellement des poutres d'appui,

- ripage sur environ 40 m du nouveau massif,

- descente du bloc dans la fosse et pose sur amortisseurs.

Ces opérations ont été achevées en un peu moins de 2 jours et demi, conformément au planning.

A noter que la phase de ripage nécessitait deux virages à 90 ° et la mise en fosse un dévérinage sur 3,00 m de hauteur. Le déplacement s'est effectué sur des rails fixés sur caissons métalliques mis en place à l'avancement. Le poussage était réalisé par deux vérins hydrauliques de 15 t.

Chaque changement de direction se faisait après vérinage du bloc et modification du positionnement des rails. Quant au dévérinage, il s'est effectué à l'aide de quatre vérins de 90 t de capacité par courses unitaires de 150 mm.

En fin d'opération, le positionnement du bloc a été assuré avec une tolérance en plan de ± 5 mm et inférieure à 1 mm en altimétrie ce qui a permis une mise en place rapide de l'ensemble du système d'isolation (amortisseurs visco-élastiques et boîtes à ressort).

■ CONCLUSION

A travers ces quelques exemples est mis en évidence le fait que, si les entreprises appelées à intervenir sur des structures existantes en milieu industriel doivent parfaitement maîtriser les techniques classiques de réparation, elles doivent également savoir faire preuve d'imagination pour concevoir et mettre en œuvre des solutions qui répondent aux besoins exprimés par l'exploitant.

La plupart du temps une collaboration efficace peut s'établir dès le stade du projet entre les divers intervenants pour limiter au maximum les imprévus qui pourraient avoir des répercussions sur l'outil industriel.

Car, peut être plus encore que dans d'autres domaines du génie civil, la réalisation de tels travaux ne peut souffrir d'improvisation et de résultats aléatoires.

ABSTRACT

Repair and reinforcement of civil engineering structures in an industrial environment

P. Faure

Repair work in an industrial environment poses very specific problems and obliges the specialised contractors to conceive and implement solutions that are often original and innovative.

This is what is shown in this article through four projects carried out by Freyssinet France :

- placing a salt saturator in safety configuration with wood and TFC strips ;

- reinforcement of a clinker silo by prestressing and prefabricated Ductal elements ;

- complete replacement of the cables in a prestressed concrete structure in the Ferro plant ;

- replacement of the support foundation for a grinder/cooker in a very short time.

RESUMEN ESPAÑOL

Reparación y consolidación de las estructuras de ingeniería civil en medio industrial

P. Faure

Las obras de reparación en medio industrial vienen a plantear problemas sumamente específicos y obligan a las empresas especializadas a imaginar e implementar soluciones que, con suma frecuencia, son originales e innovadoras.

Esto es lo que se trata de demostrar en este artículo, por la descripción de cuatro obras ejecutadas por Freyssinet France, a saber :

- la puesta en condiciones de seguridad de un saturador de sal, mediante elemento de madera y bandas de TFC ;

- el refuerzo de un silo de clinker por pretensado y elementos prefabricados de material Ductal ;

- la sustitución total de los cables de una estructura de hormigón pretensado de la planta Ferro ;

- la sustitución dentro de un plazo sumamente corto de un macizo de apoyo de un molino/hornero.

Le Grand Palais

Travaux de rénovation des fondations et instrumentation de contrôle

Les travaux de rénovation du Grand Palais, lot 1, "Gros œuvre Fondations", sont réalisés par le groupement Soletanche Bachy (mandataire), Spie SCGPM, Spie Fondations et SMET TS. Ces travaux concernent la confortation des fondations de la partie sud (essentiellement sur pieux bois) et des fondations de la nef.

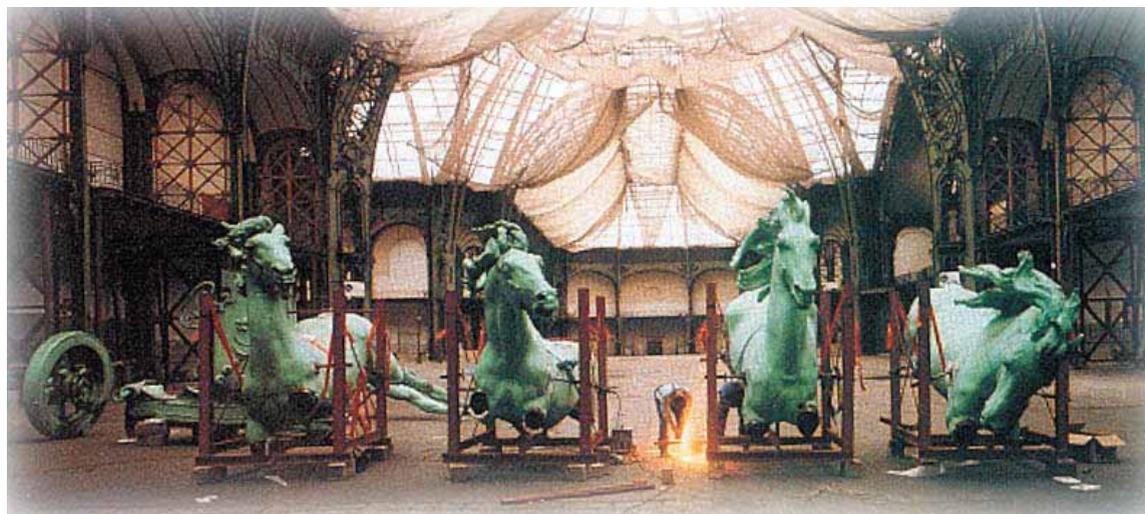
Les travaux comprennent :

- ◆ les travaux préparatoires (désamiantage) et de gros œuvre (semelles, reprises en sous-œuvre);
- ◆ une paroi moulée en nef sud, dôme et paddock qui servira d'appui et de fondation profonde aux fermes de la nef, et ultérieurement de soutènement aux sous-sols envisagés;
- ◆ des colonnes de jet grouting, diamètres 1 m et 1,40 m destinées à reprendre les fondations de la nef nord, du palais d'Antin et des galeries latérales sud;
- ◆ des injections de régénération de maçonnerie;
- ◆ la mise en place d'une instrumentation et un suivi des tassements en temps réel par le système de surveillance Cyclops mis au point et développé par SolData (filiale de Soletanche Bachy).

■ UNE PAGE D'HISTOIRE

En prévision de l'Exposition Universelle de 1900, qui consacrera l'apogée de la III^e République, sous la présidence d'Emile Loubet, un concours est lancé en 1896, pour la réalisation d'un projet d'urbanisme d'envergure : il s'agit de créer une perspective entre les Champs Elysées et les Invalides. Pour ce faire, il faut donc élaborer un ensemble architectural cohérent, qui comprendra le futur pont Alexandre III, le Grand et le Petit Palais. Les travaux débuteront en 1897 et s'achèveront à l'orée de 1900. Entre temps, en 1898, il est décidé que ces bâtiments deviendront pérennes. Le Petit Palais étant affecté à la Ville de Paris tandis que le Grand Palais le sera à l'Etat qui le destine à accueillir des salons et des concours hippiques.

Dès l'abord, les architectes du Grand Palais rencontrent un obstacle de taille : la différence de nature et donc de qualité, des sols. Dans sa longueur, le futur édifice est orienté nord-sud, et il est prévu d'asseoir la nef nord sur des alluvions modernes et anciennes de bonne qualité ; elle sera donc fondée sur des semelles superficielles. En revanche la nef sud ainsi que le dôme central doivent reposer sur des terrains argileux, proches de la Seine, qu'il va falloir remblayer. A l'issue d'impressionnants travaux de terrassement, ce ne sont pas moins de 3000 pieux en bois qui seront utilisés, pour fonder et stabiliser la charpente métallique. Pourtant, malgré ces précautions, que détaille Al-



Vue intérieure du Grand Palais.
Dépose des chevaux

Interior view of the Grand Palais.
Removing the horses

fred Picard, commissaire général de l'Exposition universelle, dans son rapport de 1903, des désordres structurels apparaissent très tôt, sans doute consécutifs pour une part à la crue de 1910, mais également aux variations de la nappe phréatique. Dès lors, au fil des décennies, les rapports des architectes en chef soulignent l'apparition d'importants tassements de plusieurs centimètres par endroit ainsi que des mouvements du bâtiment qui s'enfoncent dans le sol en raison du pourrissement des pieux en bois assurant les fondations profondes de la moitié sud du Palais. Corollaire, la charpente métallique qui supporte les verrières et la coupole, se dégrade en raison des facteurs conjugués

Géologie dissymétrique des terrains de fondation (alluvions argileuses de portance médiocre conjuguées à la présence de la Seine côté sud)

Asymmetric geology of the foundation ground (clayey alluvia of mediocre bearing capacity combined with the presence of the Seine on the South side)

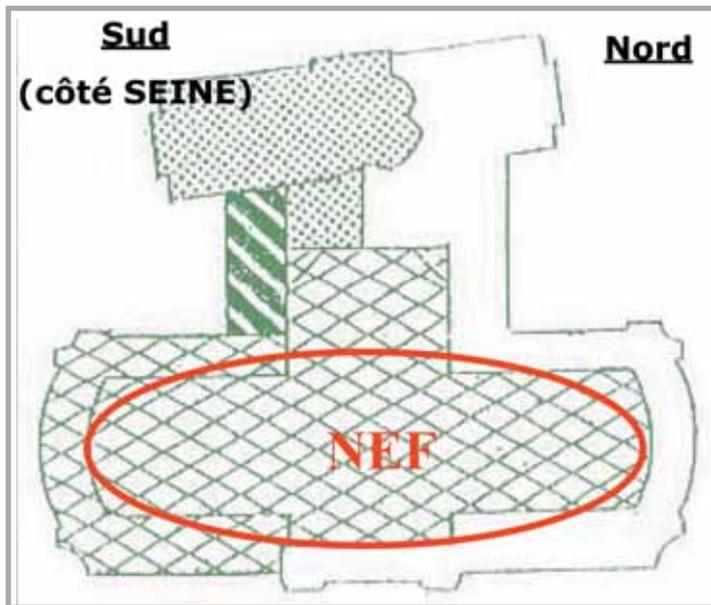


Tableau I
Données
pressiométriques
Pressuremeter
data

Soil	Area	Structure coefficient α	limit pressure PI - MPa	Pressuremeter modulus Ep - MPa
Am *	South	2/3	0,5	2,5
	North	1/2	1,5	13,5
Aa *	South	1/2	2,4	17,5
	North	1/3	5,2	46
CGa *	All	1/3	2,7	21
CG *	All	1/3	7	95

Tableau II
Données
géotechniques
Geotechnical
data

soil	area	C_u kPa	ϕ_u °	C' kPa	ϕ' °	γ kN/m ³
Am *	South	80	0	10	25	20
	North	75	20	10	25	20
Aa *	South	0	35	0	35	18
	North	0	35	0	35	18
CGa *	All	450	0	0	40	22
CG *	All	1000	0	1000	0	22

* Am = recent alluvium
Aa = ancient alluvium
CGa = weathered limestone
CG = sound limestone

Travaux préalables de désamiantage
Preliminary asbestos removal work



Une verrière, dôme en verre et structure métallique, de dimension impressionnante

A glass roof, glass dome and metallic structure of impressive size

des tassements différentiels, de fuites de toitures, de phénomènes non appréhendés lors de la conception de l'édifice.

C'est alors qu'en juin 1993, la chute d'un rivet dans la nef, se détachant de la charpente située à 35 m de hauteur, entraîne en novembre suivant, la fermeture du Grand Palais.

A l'issue d'une campagne d'un mois de travaux, destinés à assurer la sécurité de leurs visiteurs, le Palais de la Découverte et les Galeries Nationales du Grand Palais rouvrent leurs portes tandis que la nef demeure close. L'Etat décide alors de la restaurer. Il s'agira d'une part, de conforter les fondations et les charpentes, puis de procéder à la réfection des verrières et de la toiture. Ensuite, interviendra la restauration des façades en pierre de taille, des statues et des fresques ornant le monument. Pour ce faire, la Direction de l'Architecture et du Patrimoine, émanation du ministère de la Culture et de la Communication, maître d'ouvrage, confie le mandat de maîtrise d'ouvrage à l'EMOC, établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels. Celui-ci s'adjoint le bureau de contrôle Socotec, tandis que la maîtrise d'œuvre est confiée à l'architecte mandataire Alain-Charles Perrot, architecte en chef des monuments historiques.

■ GÉOLOGIE DU SITE

La topographie du site est horizontale au niveau + 32 m NVP (Paris).

La géologie générale sous le site est composée de la séquence simplifiée suivante :

- ◆ remblais ;
- ◆ dépôts d'alluvions récents (limons et sables fins) ;
- ◆ calcaire ;
- ◆ marnes et argile.

Cependant, une hétérogénéité existe due à la présence d'un ancien bras de rivière dans la partie sud du site, créant une zone à faible capacité portante (limons ; sables lâches ; calcaire fissuré). La partie des sols en zone nord présente par contre de bonnes caractéristiques géotechniques.

Les tableaux I et II indiquent les données pressiométriques des terrains en place dans les deux zones, ainsi que les données géotechniques qui ont été considérées dans le dimensionnement des solutions retenues.

Le niveau d'eau se trouve à + 23/24 m NVP (Paris) et varie très faiblement, même en phase de crue, le lit de la rivière étant colmaté. Néanmoins, les critères de dimensionnement utilisés pour les fondations et parois moulées ont été les suivants :

- ◆ phase construction : 29,00 NVP ;
- ◆ période de retour décennale : 30,00 NVP ;
- ◆ période de retour centennale : 30,60 NVP.

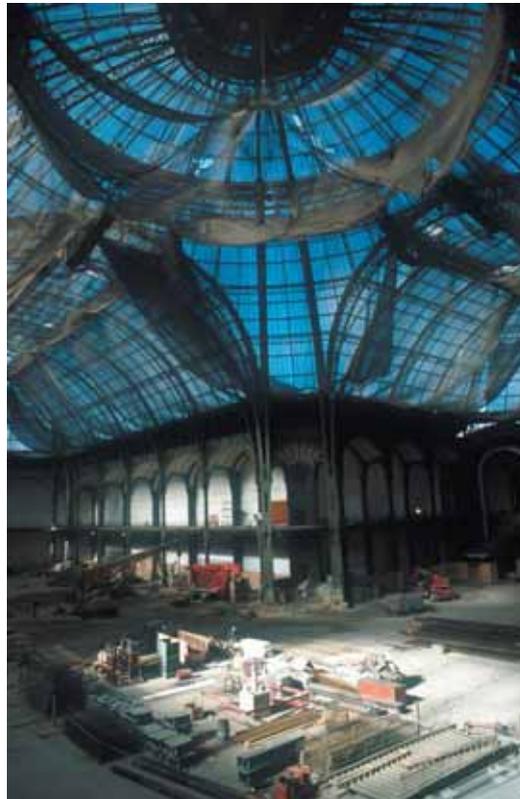
■ TYPE DE FONDATIONS EXISTANTES ET PATHOLOGIE

Dans la partie nord, les poteaux de la structure sont supportés par des semelles filantes de maçonnerie, fondations directes, fondées sur le toit des couches de sables, alors que dans la partie sud, ces maçonneries sont fondées sur des pieux battus en bois.

Juste après la fin de la construction du Grand Palais (à partir de 1910), des désordres structurels et des tassements différentiels ont commencé à apparaître et n'ont jamais cessé de croître depuis. Les variations de la nappe phréatique et son rabattement ont exposé les pieux en bois, provoquant ainsi leur affaiblissement et pourrissement. Des tassements totaux entre 100 à 150 mm ont été mesurés, et plus de 50 mm ont été observés entre 1972 et 2001 (et 14 cm en un siècle). Les structures métalliques ont subi des dommages structurels, torsions provoquées par le poids de la verrière.

■ LES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE (figures 1 et 2)

Le renforcement des fondations supportant la structure métallique en partie sud, est réalisé au travers d'une paroi moulée périmétrale suivant l'aligne-



Vue intérieure du Grand Palais. Ensemble aire de fabrication et stockage cages d'acier paroi
Interior view of the Grand Palais. Manufacturing area and storage area for wall reinforcing steel cages



Opération de désamiantage
Asbestos removal operations

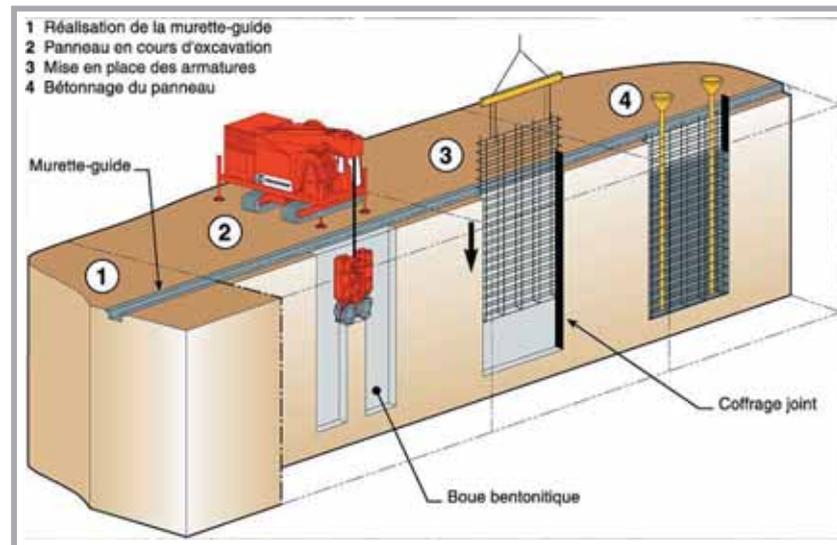


Figure 1
La technique paroi moulée
The diaphragm wall technique

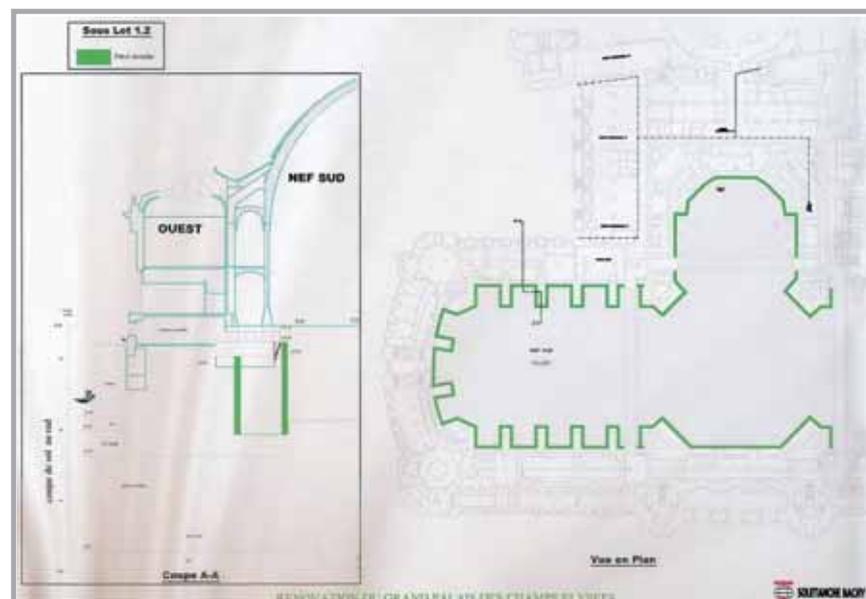
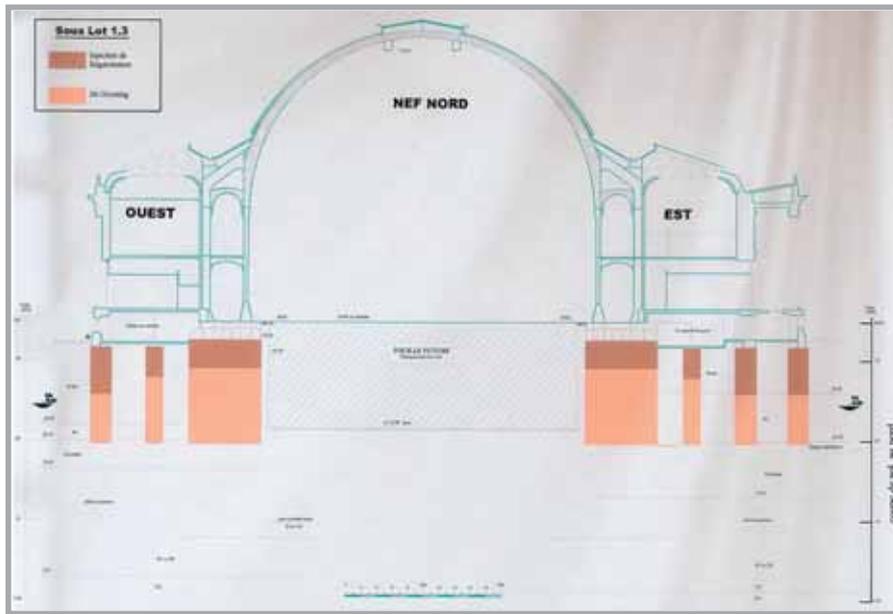


Figure 2
Sous-lot 1.2 : travaux de paroi moulée
Work sub-section 1.2 : diaphragm wall work

Figure 3
Sous-lot 1.3 :
travaux
de jet grouting
Work
sub-section 1.3 :
jet grouting work



ment des fondations en maçonnerie actuelles reposant sur pilotis en bois. Les charges seront transférées de la structure à la paroi moulée par la mise en place d'une précontrainte horizontale entre les deux poutres de chaînage de la paroi moulée qui enserrant l'ancienne fondation en maçonnerie. Cette paroi moulée a été dimensionnée pour les sous-sols qui pourraient être aménagés dans le futur et pourra donc servir ultérieurement à réaliser une fouille à l'intérieur du Grand Palais. La construction de la paroi moulée est réalisée grâce à l'hydrofraise® latine, machine compacte montée sur grue, permettant de travailler sous hauteur limitée, à l'intérieur de la nef, et le long des structures et piliers métalliques. La perforation des panneaux successifs est réalisée sous protection d'un fluide bentonitique, en circuit inverse, minimisant les vibrations et le bruit grâce à un système entièrement hydraulique utilisant deux moteurs fond de trou.

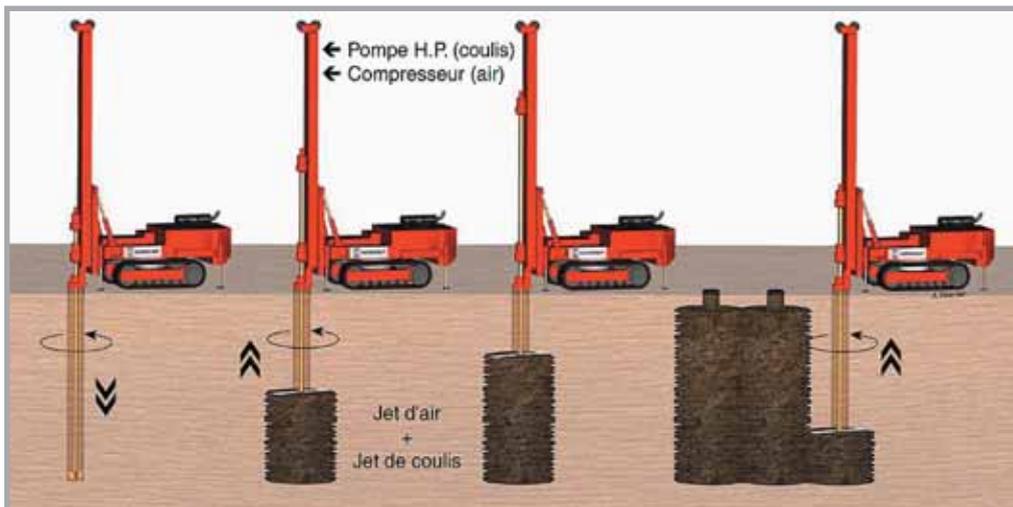


Figure 4
La technique du jet grouting
The jet grouting technique

LES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE

Les objectifs

- Fondation des appuis en nef sud, dôme et paddock, et soutènement des sous-sols à venir
- Paroi réalisée sous hauteur réduite (7 ml)
- 9500 m² de paroi ép. 0,82 m
- Profondeur de 15 à 19 ml dans les alluvions modernes et anciennes avec un ancrage dans le calcaire grossier
- Délai : 5 mois (mars - juillet 2002)

LES TRAVAUX DE JET GROUTING (figure 3)

Le renforcement de la structure métallique de l'aile nord ainsi que la partie sud du bâtiment en maçonnerie est réalisé par l'installation de 2100 colonnes de jet grouting, sous les semelles existantes et descendant jusqu'au toit du calcaire. Ces colonnes de jet grouting réalisées par injection d'un coulis de ciment dans le sol à très haute pression (supérieure à 300 kg/cm²), augmente la portance des fondations dans les zones les moins soumises aux tassements (figure 4). Le procédé de jet grouting consiste à détruire un sol en profondeur à l'aide d'un jet de haute pression dans un forage et à mélanger le sol érodé avec un coulis autodurcissant pour former des colonnes, panneaux et autres structures dans le terrain. Le choix du système à employer et les paramètres à utiliser s'effectue en fonction :

Perforation pour colonnes de jet grouting
Drilling for jet grouted columns



- ◆ de la nature du sol et des caractéristiques géotechniques du sol à traiter ;
- ◆ du rayon d'action du jet nécessaire pour atteindre la dimension des éléments à réaliser ;
- ◆ des caractéristiques mécaniques demandées pour le sol traité ;
- ◆ des contraintes du site.

La conception d'une structure de *jet grouting* comprend plusieurs phases qui peuvent être itératives pour une meilleure optimisation :

- ◆ définition de la géométrie et de la résistance globale de la structure ;
- ◆ définition des éléments de jet constituant la structure en tenant compte des caractéristiques géotechniques et hydrogéologiques du terrain, des performances des systèmes de jet et de leurs contraintes ;

◆ réalisation d'essais préalables pour vérifier que la méthode et les paramètres de jet choisis répondent aux exigences de la conception.

La sélection du système de jet et de ses paramètres s'opère en évaluant :

- ◆ l'énergie du jet à mettre en œuvre suivant le rayon d'action souhaité avec le système de jet prévu ;
- ◆ le dosage du coulis nécessaire pour atteindre la résistance demandée pour le sol traité.

Les objectifs techniques à atteindre et les travaux réalisés sont reportés sur l'encadré en dernière page.

La séquence des opérations nécessaires à la réalisation des colonnes de jet est la suivante :

- ◆ préperforation par carottage des fondations existantes pour pouvoir passer au travers les tiges de *jet grouting* ;
- ◆ perforation à l'aide d'une perforatrice longue course, permettant d'atteindre la profondeur requise des colonnes de jet ;
- ◆ injection à haute pression du coulis de ciment, qui vient désagréger le sol avoisinant pour former en remontant des colonnes de sol-ciment de diamètre moyen variable entre 1,00 et 1,40 m.

■ SYSTÈME DE CONTRÔLE - INSTRUMENTATION "CYCLOPS"

La complexité et la sensibilité des travaux sur la structure existante ont nécessité l'installation d'un système de contrôle automatique permettant le suivi en temps réel des déformations et des températures, et de mesurer leur variation avec le temps. Les conditions contractuelles et techniques du chantier autorisaient un tassement de 5 mm seulement durant la durée des travaux.

Le système Cyclops

Il a été ainsi décidé d'installer un système automatique de mesure et de contrôle utilisant un théodolite motorisé. Soldata et IGN, l'Institut géographique



Travaux de terrassements et reprise en sous-œuvre des fondations anciennes

Earthworks and ground improvement work on the old foundations



Préparation de la perforation pour les injections de régénération

Preparation of drilling for regeneration injection



Hydrofraise compacte en cours d'opération

Compact hydro-cutter in operation



Mise en place du système de surveillance Cyclops
Setting up the Cyclops monitoring system

Figure 5
Déplacement vertical des poteaux en fonction de la température
Vertical target values in function of temperature

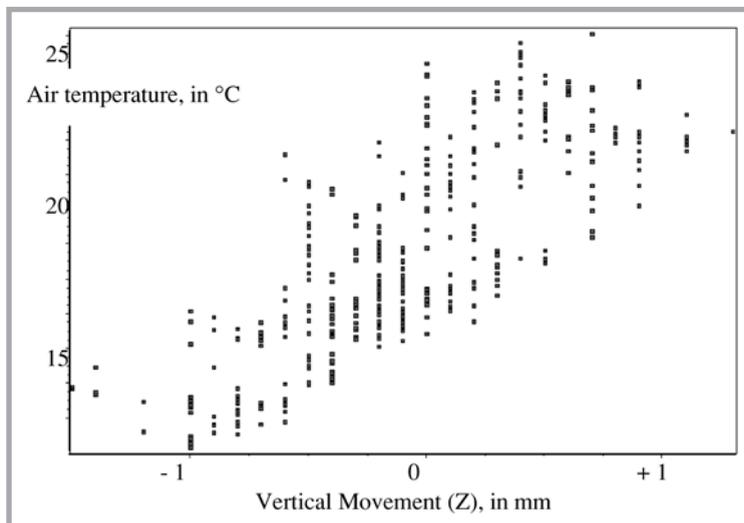


Figure 6
Comparaison des mouvements verticaux des deux poteaux au nord et au sud, en fonction de l'avancement des travaux de paroi au sud
Comparison of vertical targets movements, for 2 pillars in North and South areas, as diaphragm wall excavation work proceeds

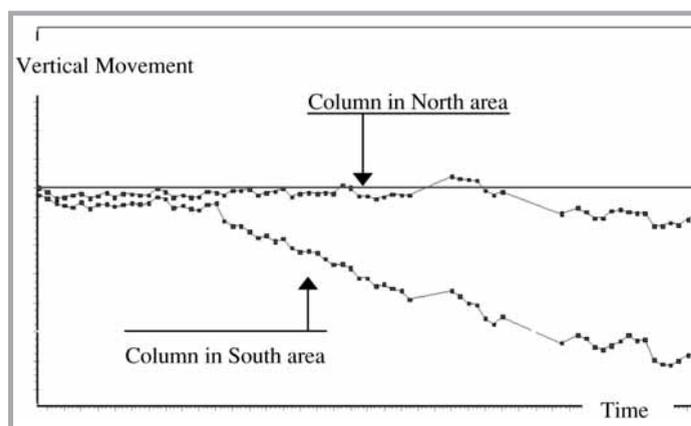
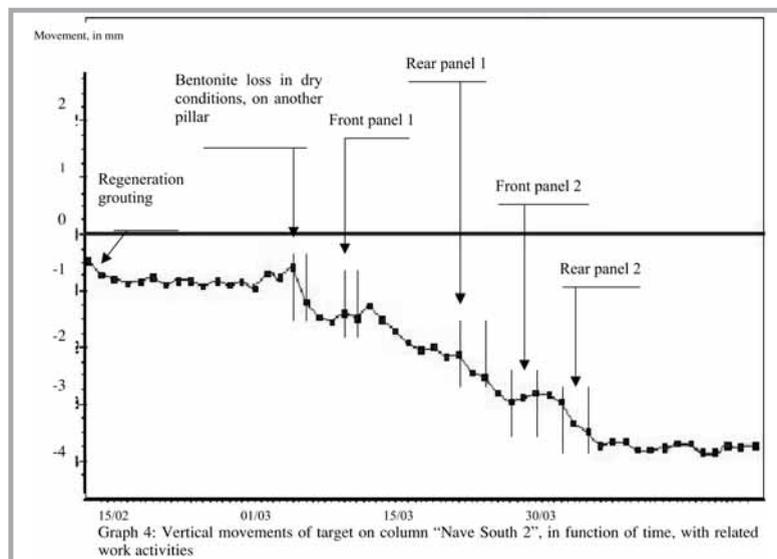
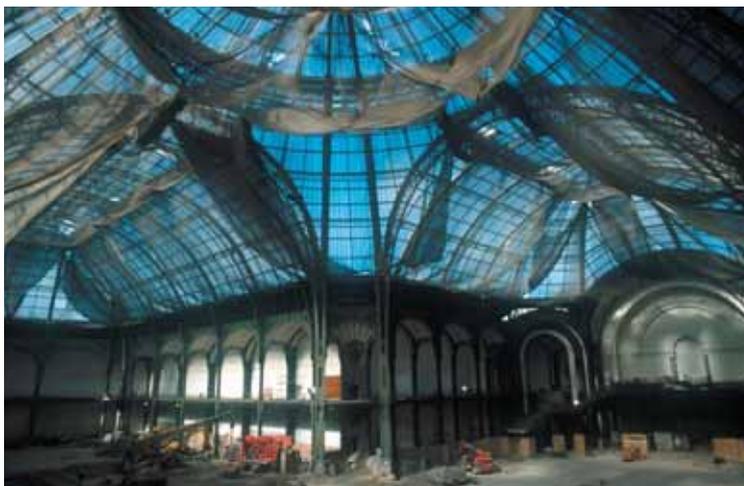


Figure 7
Mouvements verticaux du poteau Nef-sud n°2 en fonction du temps et des diverses phases d'exécution
Vertical movements of target on column "Nave South 2", in function of time with related work activities



Vue générale, verrière et ensemble du chantier
General view, glass roof and overall project



national, ont codéveloppé ce concept en 1997, et l'opèrent conjointement sur de nombreux projets de part le monde.

Cyclops est un système global de surveillance automatique comprenant une station théodolite motorisée équipée d'un enregistreur vidéo de paramètres sous contrôle informatique. Le système inclut de plus un logiciel permettant d'obtenir un contrôle global totalement versatile et convivial. Equipé de séquences de calculs correctifs compensant pour tout mouvement du théodolite et tout changement de températures ou tout autre élément externe, Cyclops permet la mesure en continu de tous mouvements. Sur ce chantier du Grand Palais, le Cyclops a été installé au centre de la structure, sur un mat de 2 m de hauteur, assurant ainsi une optimisation des lignes de visée. Les cibles sont implantées sur chaque pilier métallique. Des cibles additionnelles ont été installées sur l'arrière de ces piliers, pour permettre d'obtenir des informations sur les tassements différentiels pouvant survenir.

Capteurs de température

Des questions se posaient quant à la réaction de la structure métallique aux variations de température durant les travaux. Bien qu'il fût clair que le point d'intérêt concernait la base inférieure des poteaux métalliques (tassement ou mouvement possibles durant les travaux), il était envisageable que l'impact de tout changement de température sur la structure métallique induise un changement "naturel" des contraintes, et provoque un mouvement qui ne serait pas dû aux travaux en cours.

Hydrofraise HC03 compacte en opération

Compact hydro-cutter HC03 in operation



Il a donc été décidé d'installer deux capteurs de température, un au niveau du sol, l'autre au sommet d'un poteau, sous le dôme. Les capteurs sont lus automatiquement et enregistrés en temps réel sur la même base de données de celle du Cyclops, permettant ainsi une corrélation aussi précise que possible (figure 5).

Enregistrement des données et traitement en temps réel

Un ordinateur installé dans les bureaux du chantier contrôle le Cyclops, réalise tous les calculs nécessaires, enregistre, emmagasine et présente les rapports de données et d'enregistrements, gère les alarmes.

Les interfaces entre le Cyclops et les capteurs de température sur site d'un côté et l'ordinateur du bureau de l'autre, sont réalisées par liaisons radio. Le résultat final qui apparaît sur l'écran de l'ordi-

nateur est une image représentant en temps réel l'état actuel de la structure en fonction de l'avancement des travaux, sans aucun câble de connexion à l'instrumentation installée : ceci facilitant bien sûr son installation et minimisant toute nuisance aux activités du chantier.

La paroi moulée a été dimensionnée et construite pour protéger les fouilles futures mais également pour réduire les tassements autour des excavations nécessaires au pied des fondations actuelles pour réaliser ces travaux de reprise en sous-œuvre. Il est donc montré qu'un dimensionnement adéquat permet de contrôler et limiter tous mouvements pendant la phase d'excavation à l'intérieur de la paroi moulée. Mais des tassements différentiels pendant la construction même de la paroi moulée peuvent survenir et c'est ceux-ci qu'il fallait contrôler.

Les mesures faites ont indiqué que ces déformations étaient tout à fait acceptables (figures 6 et 7).

LA RÉPARTITION DES TRAVAUX

La figure 8 illustre la répartition des travaux avec pour le lot 1 – travaux de confortation des fondations et instrumentation – les sous-lots suivants :

- ◆ sous-lot 1.1 : travaux préparatoires + gros œuvre : Soletanche Bachy (mandataire) + SCGPM (figure 9);
- ◆ sous-lot 1.2 : paroi moulée - Soletanche Bachy (mandataire);
- ◆ sous-lot 1.3 : *jet grouting* + injection + micropieux : Soletanche Bachy mandataire de la S.E.P Soletanche Bachy/Spie Fondations/SMET.

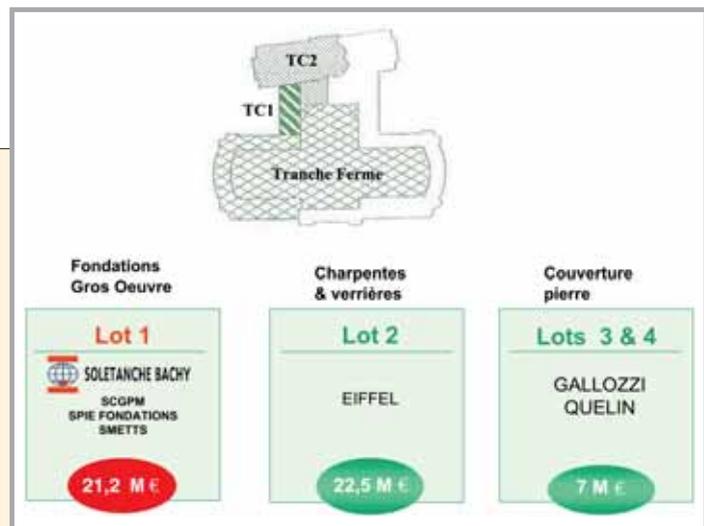
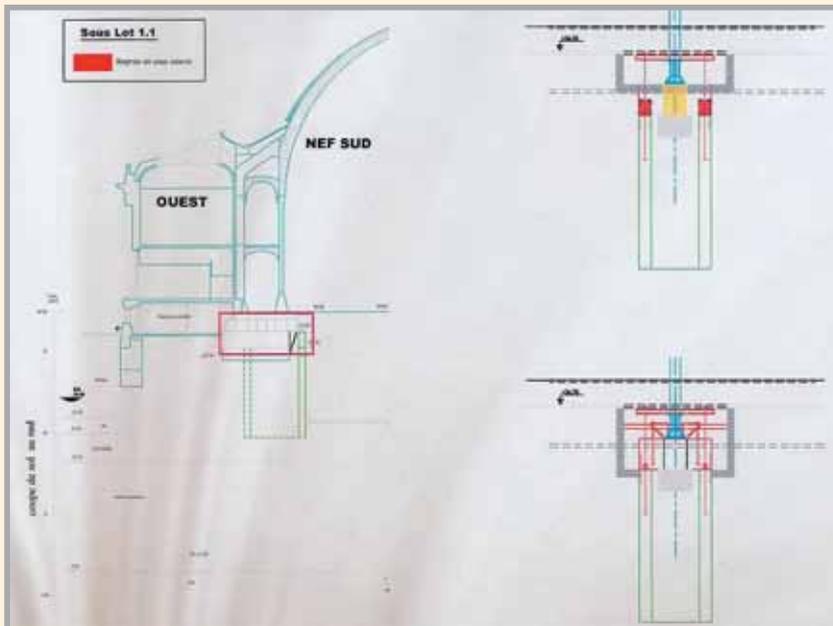


Figure 8
La répartition des travaux
Work breakdown

Figure 9
Sous-lot 1.1.
Travaux préparatoires et gros œuvre
Work sub-section 1.1. Preparatory works and structural work





Vue de la centrale à boue pour la paroi moulée
View of the slurry plant for the diaphragm wall

OBJECTIFS DES TRAVAUX DE JET GROUTING

- Reprendre les fondations de la nef nord (TF) ainsi que celles du Palais d'Antin (TC) et galeries latérales sud

- Quantités : 2100 colonnes (représentant 27 000 ml de perforation et 17 000 ml de jet grouting)

- Diamètres : 1,00 et 1,40 m

- Moyens : 3 ateliers sur 1 poste quotidien

- Délai d'exécution : 12 mois



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'architecture et du patrimoine

Mandat de maîtrise d'ouvrage

ÉMOC, Etablissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels

Assistance à la maîtrise d'ouvrage

- Bureau de contrôle : Socotec
- Coordination sécurité et protection de la santé : Jacobs Serete
- Ordonnancement pilotage coordination : Planitec BTP

Maitrise d'œuvre

- Architecte mandataire : Alain-Charles Perrot, architecte en Chef des Monuments Historiques
- Architecte : Jean-Loup Roubert, architecte en Chef des Bâtiments civils et Palais nationaux
- Concepteur technique : Setec
- Economiste : Fernand Tomasina, vérificateur des Monuments historiques

Les entreprises

Lot 1 : gros œuvre fondations

- Mandataire : Soletanche Bachy
- Spie SCGPM
- Spie Fondations
- SMET TS

Lot 2 : charpente métallique verrières

- Eiffel

Lot 3 : couverture métallerie

- Mandataire : Galozzi entreprises
- SA Toitures Petit & Fils
- Miege et Piollet Entreprise SA
- Van Mullem

Lot 4 : pierre de taille

- Quelin



Unité de dessablage Sotres 450 m³/h

Sotres degritting unit, 450 cu. m/h

LES MOYENS LOGISTIQUES UTILISÉS

Les moyens en matériel

- Excavation à l'hydrofraise compacte
- Grue de service Liebherr 841
- Centrale de criblage : Sotres 450 m³/h
- Fabrication boue : centrale Melk
- Stockage boue : cuves et bacs (500 m³ de stockage)
- Organisation en deux postes quotidiens

Excavation à l'hydrofraise compacte dans la nef sud

Excavation by compact hydro-cutter in the South nave





CONCLUSION

Cette première tranche des travaux (paroi moulée, génie civil et poutres de chaînage, *jet grouting*), commencée début 2002, s'est achevée en septembre 2002, dans les délais impartis. L'investissement total pour cette phase représente un montant de 125 M€.

A partir de 2003, démarrera la phase de restauration des façades et toitures qui devrait s'achever en 2005, tandis que début 2004, on procédera à la remise en place des quadriges. La livraison de la suite des ouvrages et des charpentes de la nef est prévue pour 2005.

Le Grand Palais que les visiteurs retrouveront en 2007 sera sensiblement différent de celui qu'ils ont quitté en 1993, plus lumineux et moins chaud. Il retrouvera ainsi sa vocation originelle, celle de "place publique" accueillant manifestations artistiques, salons, défilés de mode, conférences...

LES DÉLAIS

- Août 2001 : dépose du quadrige côté Champs Elysées
- Octobre 2001 : dépose du quadrige côté Seine
- 2002 - 2005 : confortation des fondations et des charpentes de la nef
- Début 2004 : remise en place des quadriges
- 2003 - 2005 : restauration des façades et toitures

ABSTRACT

The Grand Palais. Foundation renovation works and control instrumentation

V. Dore, Y. Amicel, G. Salvi

The renovation works on the Grand Palais, work section 1, "Foundation Structural Work", are performed by the consortium formed of Soletanche Bachy (representative), Spie SCGPM, Spie Fondations and SMET TS. These works involve consolidation of the foundations in the South section (mainly on wooden piles) and the foundations of the nave.

This article describes the renovation and instrumentation works carried out in the Grand Palais. The works include the construction of a perimeter diaphragm wall, concrete foundations and wall-tie girders for absorbing forces and for linking with the present structure, and ground improvement by jet grouted columns around and below the current foundations. An automatic monitoring system was set up, due to the sensitivity of the metallic and glass structure.

RESUMEN ESPAÑOL

El Grand Palais de París. Obras de renovación de los cimientos e instrumentación de control

V. Dore, Y. Amicel y G. Salvi

Las obras de renovación del Grand Palais, lote 1, "Obra estructural de los cimientos", se han llevado a cabo por el Grupo Soletanche Bachy (empresa encabezadora), Spie SCGPM, Spie Fondations y SMET TS.

Estas obras se refieren a la consolidación de los cimientos de la parte Sur (principalmente sobre pilotes de madera) y los cimientos de la nave principal.

Se presentan en este artículo las obras de renovaciones y de instrumentación que se han implantado en el Grand Palais. Las obras incluyen la construcción de una pantalla continua perimetral, de apoyos de hormigón y de vigas de concatenación para transmitir los esfuerzos y el enlace con la estructura actual, así como de recalce de cimientos por columnas "jet grouting" en torno y por debajo de los cimientos

actuales. Se ha instalado un sistema de control automático, debido a la sensibilidad de la estructura metálica y de vidrio.

Pour une approche intégrée des travaux et réhabilitation

La prise en compte des aspects environnementaux par les entreprises constitue un enjeu stratégique majeur en ce qui concerne :

- ◆ les risques chroniques créés par les différents rejets (émissions dans l'air, l'eau, les sols);
- ◆ les phénomènes ayant un impact sur l'environnement (bruit, poussières, odeurs...);
- ◆ les risques liés aux produits fabriqués ou mis en œuvre (effets sur la santé).

Aussi, les entreprises subissent-elles des contraintes des différents acteurs de la construction (assureurs, commission de normalisation, utilisateurs...). Depuis quelques années c'est plus généralement dans la perspective du développement durable (dont le principe est de satisfaire nos besoins en préservant l'aptitude des générations futures à satisfaire les leurs) que s'inscrivent les différentes évolutions. Dans le concept du développement durable, la préservation de l'environnement n'est qu'un des trois volets, à côté de l'économique et du social.

La prise en compte de ces aspects peut conduire sur un mode "gagnant-gagnant" à :

- ◆ une amélioration des coûts (optimisation des procédés de construction, économies d'énergie, de ressources naturelles, réduction des coûts de maintenance, meilleure gestion des déchets...),
- ◆ une amélioration des conditions de travail;
- ◆ une amélioration de l'image de l'entreprise.

Des groupes de travail nationaux et internationaux se penchent sur cette approche depuis quelques années pour trouver le juste milieu entre la complexité et l'universalité du thème et la prise en compte des exigences des acteurs de terrain, en matière de simplicité et de facilité d'emploi ou de suivi. Des guides, des recommandations, des référentiels et même des textes normatifs se développent peu à peu, et leur connaissance doit permettre de se préparer aux évolutions, nécessaires autant qu'inévitables.

■ OPÉRATIONS DE MAINTENANCE ET RÉHABILITATION DANS LE CYCLE DE VIE DES PRODUITS ET OUVRAGES DE CONSTRUCTION

Terminologie sur les actions de maintenance et réhabilitation

Les définitions suivantes, relatives aux différents types de travaux de maintenance et réhabilitation, proviennent de diverses sources bibliographiques :

- ◆ NF EN ISO 8402 "Management de la qualité et assurance de la qualité";
- ◆ NF X 50-501 "Durée de vie et durabilité des biens - Vocabulaire des activités de rénovation et de reconstruction";
- ◆ NF X 60-010 "Maintenance - Concepts et définitions des activités de maintenance";
- ◆ NF X 60-500 "Terminologie relative à la fiabilité, maintenabilité, disponibilité".

Un parallèle avec la terminologie anglaise s'adressant plus spécifiquement au domaine de la construction (ISO 15686-1 et suivantes "*Buildings and constructed assets - Service life planning*") est proposé en note.

Durabilité : "Aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint".

Maintenance¹ : "Ensembles d'interventions simples et régulières, permettant de maintenir une construction en (bon) état de fonctionnement".

Entretien : "Action continue destinée au maintien ou à la remise en (bon) état d'une construction, sans modifications majeures de l'utilisation et de la valeur".

Réparation² : "Action entreprise sur un produit non conforme de façon qu'il satisfasse aux exigences de l'utilisation prévue, bien qu'il ne soit pas nécessairement conforme aux exigences spécifiées à l'origine".

Réfection : "Opération tendant à rétablir le fonctionnement de tout ou partie d'un ouvrage, son utilisation, et à lui conférer une durabilité déterminée".

Restauration³ : "Opération tendant à remettre en état une construction de valeur historique ou de style, tout en conservant son caractère original".

Rénovation⁴ : "Opération tendant à améliorer une construction par des interventions profondes, pour en modifier l'utilisation et en accroître la valeur".

1 - *Maintenance* : "Combination of all technical and administrative actions during the service life to retain an item in a state in which it can perform its required functions".

2 - *Repair* : "Return of an item to an acceptable condition by the renewal, replacement or mending of worn, damaged or degraded parts".

3 - *Restoration* : "Actions to bring an item to its original appearance or state".

4 - *Refurbishment* : "Modification and improvements to an existing building or its parts to bring it up to an acceptable condition".
Retrofit : "The redesign and reconstruction of an existing facility or subsystem to incorporate new technology, to meet new requirements, or to otherwise provide performance not foreseen in the original design".

Chantier de déconstruction d'une usine
Factory deconstruction project



de maintenance

On peut aussi évoquer de nouveaux concepts, tels que le *Relifing*⁵, défini comme une stratégie ou une chaîne d'actions visant à prolonger ou maintenir la vie en service d'un ouvrage de construction quand il apparaît économique de le faire dans une approche en coût global.

Fonctionnalités des produits et ouvrages de construction

Pour toute opération de construction (fabrication, construction, maintenance, réhabilitation...), les critères de décision ne doivent pas se limiter à des aspects purement techniques mais doivent également prendre en compte les différents aspects du développement durable, à savoir :

- ◆ les aspects technico-économiques ;
- ◆ les aspects environnementaux ;
- ◆ les aspects sociologiques.

Aspects technico-économiques

Ils comprennent :

- ◆ les critères économiques (approche coût global : optimiser le coût tout au long du cycle de vie, ne pas limiter les coûts d'investissement au détriment des coûts d'exploitation et de maintenance) ;
- ◆ les critères fonctionnels (les ouvrages et produits doivent assurer un ensemble de fonctions pendant la durée de vie de l'ouvrage ; les produits neufs assurent généralement de manière plus efficaces les fonctions) ;
- ◆ les critères contextuels (certains produits doivent être remplacés parce que des produits voisins sont remplacés : profiter de la présence des échafaudages lors de la réfection d'une façade pour rénover ou réhabiliter les fenêtres).

Aspects environnementaux

Les objectifs principaux sont les suivants :

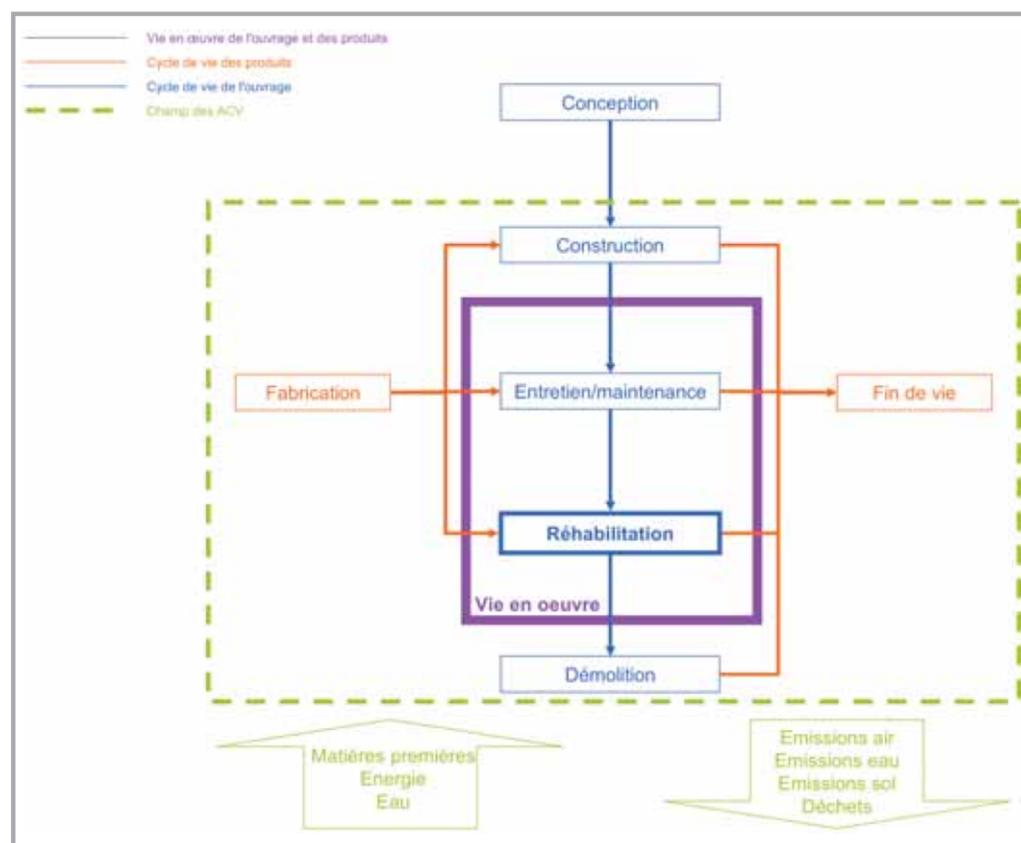
- ◆ limiter les consommations de ressources et d'énergie ;
- ◆ limiter les déchets à éliminer ;
- ◆ réduire les émissions (dans l'eau, dans l'air et dans le sol) de substances dangereuses pour l'environnement et la santé.

⁵ - *Relifing* : "Strategy or course of action adopted, whether by intervention or change, that extends or sustains a service life existing, or a course proposed, for the designed life intended of a constructed work, or its constituent parts, in both cases, only when it is economic in a whole life cost context to do so". Concept défini dans Lucchini A. & Whyatt D. "Dismission and life care management". Paper CL1.02 CIB World Congress Wellington (New-Zealand).

Aspects sociologiques

Ils incluent notamment :

- ◆ les critères psychologiques (les produits anciens ont en règle générale une image plus négative que les produits neufs) ;
- ◆ les critères esthétiques (les produits neufs ou réhabilités sont en général plus esthétiques que les vieux produits) ;
- ◆ les exigences culturelles (protection du patrimoine historique par exemple).



Position de la maintenance et de la réhabilitation dans le cycle de vie des produits et ouvrages de construction

La figure 1 permet de positionner la réhabilitation dans le cycle de vie de l'ouvrage mais aussi dans celui des produits de construction. La prise en compte de l'environnement dans la réhabilitation doit impérativement tenir compte du choix des produits et techniques de construction. Cette figure met également en évidence la contribution des opérations de réhabilitation à l'évaluation de la qualité globale d'un ouvrage.

Jacques Chevalier

INGÉNIEUR D'ETUDES

ET DE RECHERCHE

CSTB - Département Développement Durable

Division "Environnement et Durabilité"

Jérôme Lair

INGÉNIEUR D'ETUDES

ET DE RECHERCHE

CSTB - Département Développement Durable

Division "Environnement et Durabilité"

Marcel Rubaud

INGÉNIEUR D'ETUDES

ET DE RECHERCHE

CSTB - Département Développement Durable

Division "Environnement et Durabilité"

Figure 1
Cycle de vie des produits et ouvrages de construction

Life cycle of construction products and structures

► **PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE ET RÉHABILITATION**

En complément des critères techniques que sont la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la durabilité (cf. infra), la prise en compte de critères environnementaux pour les chantiers de réhabilitation revient à (en référence aux opérations de construction neuve) :

- ◆ choisir des produits, matériaux et procédés utilisés pour la réhabilitation qui soient les plus respectueux possibles de l'environnement, de la qualité sanitaire des espaces intérieurs et du confort);
- ◆ réaliser un chantier à faibles nuisances (bruit, poussières, odeurs...);
- ◆ optimiser la gestion des déchets du chantier (déconstruction et reconstruction).

Bâtiment dont la structure est mise à nu avant réhabilitation

Building with the structure stripped bare before rehabilitation



Critères : fiabilité, maintenabilité, disponibilité et durabilité (FMDD) (NF X60 319 "Terminologie de la maintenance")

Il est de la responsabilité de toute organisation de maintenance de définir sa stratégie de maintenance selon trois critères principaux :

- ◆ assurer la disponibilité du bien pour la fonction requise, souvent au coût minimum;
- ◆ tenir compte des exigences de sécurité relatives au bien, à la fois pour le personnel de maintenance et le personnel d'exploitation, et si cela est nécessaire, tenir compte des répercussions sur l'environnement;
- ◆ améliorer la durabilité du bien et/ou la qualité du produit ou du service fourni, en tenant compte des coûts si nécessaire.

Pour toute opération, il faut s'attacher à prendre en compte de manière satisfaisante et optimiser les quatre critères définis ci-après :

- ◆ fiabilité ("Aptitude d'une entité à accomplir une (des) fonction(s) requise(s), dans des conditions

données, durant un intervalle de temps donné");

- ◆ maintenabilité ("Aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une (des) fonction(s) requise(s), lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits");

- ◆ disponibilité ("Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une (des) fonction(s) requise(s) dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée");

- ◆ durabilité ("Aptitude d'une entité à accomplir une (des) fonction(s) requise(s), dans des conditions données d'usage et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint").

Choisir des produits, matériaux et procédés respectueux de l'environnement, de la santé et du confort

Le choix de produits, matériaux et procédés de réhabilitation respectueux de l'environnement, de la santé et du confort exige de disposer d'informations sur les caractéristiques environnementales des produits. Ces informations sont aujourd'hui mises à disposition du public par les industriels sous la forme de déclarations environnementales de produits au format de la norme XP P01-010⁶. Ce sont les analyses du cycle de vie (ACV) des produits qui servent de base à ces déclarations. Cette norme, fera l'objet dès mars 2003 d'une révision : à cette occasion les produits utilisés dans les ouvrages de génie civil entreront eux aussi dans le champ de la norme.

L'outil INIES BASE (pour "Informations sur l'impact environnemental et sanitaire"), issue d'une concertation nationale, avec notamment le soutien du ministère de l'Équipement et de l'association HQE, sera mis en ligne par le CSTB et l'Ademe dès la fin de l'année 2002.

Regroupant l'ensemble des déclarations environnementales disponibles, il permettra :

- ◆ de disposer d'informations fiables, claires et transparentes sur les produits, la santé et l'environnement;
- ◆ de mieux choisir et de mieux prescrire les produits de construction (il fournira également des éléments d'aide à la comparaison des produits et permettra de rechercher des informations ciblées sur leurs impacts environnementaux);
- ◆ aux fabricants de mieux communiquer sur leur produits.

⁶ - XP-P 01-010 "Information sur les caractéristiques environnementales des produits de construction".

Partie 1 : Méthodologie et modèle de déclaration de données (avril 2000). Partie 2 : Cadre d'exploitation des caractéristiques environnementales pour application à un ouvrage donné (avril 2002).

L'aide au choix des produits s'appuiera sur la base des indicateurs environnementaux et sanitaires fournis dans les déclarations conformes à la norme XP P01-010 (figure 2).

Réaliser un chantier à faibles nuisances⁷

Le programme "Chantiers Verts" a permis de mettre en évidence des solutions techniques et des méthodes organisationnelles, pour répondre aux nouveaux enjeux environnementaux des chantiers de construction neuve ou de réhabilitation. Des réalisations expérimentales⁸ ont permis de développer la réflexion de l'ensemble des acteurs de la construction, sur le rôle qu'ils pourraient ou devraient jouer dans un processus complet de prise en compte de l'environnement sur les chantiers.

Ce programme a pour origine la consultation de recherche et expérimentation de 1993 "Produits, Techniques et Méthodes favorables à l'Environnement dans le Bâtiment" lancée par le Plan Construction et Architecture (PCA) et l'Ademe. Il se situe à la confluence de deux thématiques : le respect de l'environnement développé dans le programme PCA "Ecologie et Habitat" et la recherche d'une meilleure organisation des chantiers, thème phare du programme PCA "Chantier 2000". Son objectif est de réduire les nuisances susceptibles d'être provoquées par un chantier, dans un souci de maintien de la rentabilité technico-économique de la filière construction.

Pour un chantier de construction, réduire les nuisances environnementales répond à deux objectifs, selon deux échelles :

- ◆ celle du chantier et de sa proximité : il s'agit alors des nuisances ressenties par les usagers, extérieurs ou intérieurs au chantier (le personnel du chantier, les riverains, les occupants dans le cas de réhabilitation, les usagers de la voie publique). Ces nuisances sont par exemple le bruit, les salissures, les circulations, les stationnements ;
- ◆ celle de l'atteinte à l'environnement et à la population en général : l'objet est alors de préserver les ressources naturelles et de réduire l'impact des chantiers sur l'environnement. Cet objectif revêt une importance particulière au regard des nuisances provoquées par l'ensemble des chantiers de bâtiment, surtout en termes de déchets produits et de pollutions induites.

Les bénéfices attendus concernent :



Opération de réhabilitation
Rehabilitation operation

N°	Indicateurs environnementaux	Unité
1	Consommation des ressources énergétiques	MJ/UF
2	Consommation des ressources non énergétiques	kg/UF
3	Consommation d'eau	litre/UF
4	Déchets solides	kg/UF
5	Changement climatique	kg équivalent CO2/UF
6	Acidification atmosphérique	kg équivalent SO2/UF
7	Pollution de l'air	m ³ /UF
8	Pollution de l'eau	m ³ /UF
9	Pollution des sols	Qualitatif
10	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg équivalent CFC R11/UF
11	Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène/UF
12	Modification de la biodiversité	Qualitatif
13	Contribution à la qualité sanitaire des espaces intérieurs	Semi-qualitatif
14	Contribution à la qualité sanitaire de l'eau	Semi-qualitatif
15	Contribution au confort hygrothermique	Qualitatif
16	Contribution au confort acoustique	Qualitatif
17	Contribution au confort visuel	Qualitatif
18	Contribution au confort olfactif	Qualitatif

Figure 2
Les indicateurs environnementaux et sanitaires de la norme XP P01-010

Environmental and health indicators of Standard XP P01-010

- ◆ l'image et le savoir-faire (l'ensemble des métiers du bâtiment a tout à gagner en affichant une volonté constante dans la réduction des nuisances sur le chantier, respecter les hommes et l'environnement devient aujourd'hui une obligation, notamment sous la pression des médias et de l'opinion publique) ;

- ◆ la qualité et les conditions de travail (la prise en compte de l'environnement sur le chantier influence la qualité de la réalisation des travaux, les conditions de travail) ;

- ◆ la réglementation et les coûts (l'évolution des réglementations mais aussi des contraintes technico-économiques, telles que celles du secteur de l'élimination des déchets, tend à générer des augmentations de coûts sur les chantiers qui ne pourront plus être supportés par les seules entreprises). On distingue trois types de cibles pour la mise en œuvre d'actions de gestion et de réduction des nuisances environnementales :

- ◆ les flux entrants du chantier : engins et matériels

⁷ - Informations provenant de la brochure Chantiers Verts éditée par le ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports (1997) (disponible sur le site Internet de l'association Variance : <http://variance.free.fr/notes%20techniques/dechets%20de%20chantiers/reglementation/index.htm>).

⁸ - Charlot-Valdieu, C. Outrequin, P. Evaluation économique des chantiers verts sur les déchets - Synthèse du suivi national "chantiers verts". Cahiers du CSTB - Livraison 398, avril 1999, cahier 3116.

Des bennes pour le tri sélectif
Bins for selective sorting



PVC, polystyrène, bois, verre : après tri chaque matériau est stocké en attendant son évacuation

PVC, polystyrene, wood, glass : after sorting, each material is stored pending its removal



Pictogrammes explicites pour éviter les erreurs de tri
Explicit icons to avoid sorting errors

Un matériel adapté pour l'acheminement des produits/matériaux et l'évacuation des déchets

Appropriate equipment for transporting products/materials and removing wastes



► utilisés sur le chantier, matériaux et produits mis en œuvre...

- ◆ le chantier lui-même : techniques employées...
- ◆ les flux sortants du chantier : déchets évacués, nuisances générées vis-à-vis des riverains...

Des exemples de pratiques destinées à minimiser les nuisances dues à un chantier de réhabilitation sont listées dans le paragraphe suivant.

Flux entrants

Le bruit sur chantier est principalement généré par les circulations d'engins et l'utilisation des outils. Par conséquent, la limitation des bruits occa-

sionnés par les chantiers de réhabilitation passe souvent par une bonne organisation de la logistique du chantier pour éviter les mouvements intempestifs de véhicules. En ce qui concerne l'outillage, les techniques de déconstruction et de reconstruction nécessitant l'usage du minimum de moteurs électriques ou thermiques sont à privilégier.

Les peintures, vernis, produits de décapage et nettoyage, les colles ainsi que les revêtements de sol et murs sont les principaux responsables des odeurs sur chantier. Le choix de ces produits est donc une source de réduction possible de la nuisance (peinture à l'eau, produits de décapage moins volatils, revêtements peu émissifs...).

Chantier

Les poussières sont principalement dues aux mouvements des véhicules, aux opérations de perçage et découpe des matériaux minéraux sur chantier. L'utilisation de produits prédécoupés en usine est une solution avantageuse pour réduire à la fois les émissions de poussières, le bruit et la consommation d'électricité sur chantier.

Flux sortants

La réhabilitation génère en général moins de mouvements de véhicules que la construction neuve. Par contre, elle exige souvent la cohabitation des occupants et utilisateurs du bâtiment avec les ouvriers du chantier. Des dispositions logistiques doivent donc être prises pour réduire la nuisance de la coexistence d'un chantier avec le lieu d'habitation ou de travail. Le bruit, les odeurs et les poussières sont les principales nuisances de proximité. "Réduire toutes ces nuisances, dans les contraintes économiques difficiles de la construction, peut sembler une gageure. Cependant, tous les acteurs sont concernés, chacun peut y trouver un intérêt propre. La maîtrise d'ouvrage répond ainsi mieux aux besoins de ses clients et de la collectivité dont elle dépend ; la maîtrise d'œuvre peut proposer des améliorations globales à un moindre coût ; l'entreprise travaille différemment ce qui peut devenir un atout, pour elle, vis-à-vis de la concurrence".

Optimiser la gestion des déchets de réhabilitation

La circulaire du 15 février 2000 sur la planification et la gestion des déchets de chantier du bâtiment et des travaux publics a été préparée par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, avec un groupe de travail associant les milieux professionnels, des organismes techniques ; elle est destinée à préparer au plan local les échéances concernant la gestion des déchets du domaine du BTP.

La loi du 13 juillet 1992 a rénové la loi cadre sur les déchets de 1975, en initiant une politique plus

ambitieuse axée notamment sur le développement de la prévention, de la valorisation et du recyclage, avec pour corollaire la limitation du stockage des déchets, à partir du 1^{er} juillet 2002, aux seuls déchets ultimes. Elle définit le responsable de l'élimination des déchets : c'est leur producteur ou leur détenteur.

La directive européenne du 26 avril 1999 sur la mise en décharge des déchets, dont l'application était prévue en 2002 (circulaire relative à l'échéance du 1^{er} juillet 2002 sur les déchets, adressée aux préfets de région et de département le 27 juin 2002), imposait à l'administration comme aux entreprises de se préparer à cette échéance.

Dès maintenant, la circulaire du 15 février 2000, relative à la planification de la gestion des déchets du BTP vise six objectifs pour lesquels il sera demandé aux entreprises d'avoir un rôle d'entraînement.

1. La lutte contre les décharges sauvages et le respect de la réglementation énoncée par la loi du 15 juillet 1975 ou issue de la directive précitée.

2. La mise en place d'un réseau de traitement capable d'offrir aux professionnels du BTP un service de proximité, tant pour les installations de recyclage et de dépôt pour les matériaux valorisables que celles d'enfouissement pour les déchets ultimes.

3. Faire participer les entreprises du BTP au principe de réduction à la source des déchets posés par la loi du 13 juillet 1992.

4. Limiter le plus possible le recours à la mise en décharge et favoriser la valorisation et le recyclage des déchets.

5. Découlant du précédent, cet objectif consiste à permettre l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers du BTP, avec deux soucis : d'une part instaurer des débouchés à l'industrie du recyclage et d'autre part, économiser les ressources en matériaux non renouvelables.

6. Impliquer les maîtres d'ouvrage publics dans l'élimination des déchets qui sont générés par la réalisation de leurs commandes.

Dans le cadre des travaux de maintenance et de réhabilitation, deux types de déchets doivent être gérés :

- ◆ les déchets de déconstruction ou de préparation de la réhabilitation ;
- ◆ les déchets de la reconstruction.

La gestion des déchets de déconstruction est la plus complexe. Une bonne gestion de ces déchets requiert la mise en place d'une logistique adaptée pour trier et évacuer les déchets afin de faciliter leur recyclage ou leur orientation vers des installations de stockage adaptées. Les goulottes d'évacuation et la mise en place de bennes en nombre suffisant permettent une évacuation propre et un tri sélectif de déchets sur chantier. Le tri sélectif doit notamment éviter tout mélange de déchets dangereux à des déchets inertes.

En ce qui concerne la reconstruction, la plus grande quantité de déchets générés provient des emballages des produits et matériaux. Le recyclage des emballages est réglementairement obligatoire. Une bonne gestion de ces déchets nécessite un tri sur chantier. Les emballages peuvent alors être orientés vers du recyclage ou de la valorisation énergétique plutôt que vers du stockage en installation de classe 2.

◆ Les cibles de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur
<ul style="list-style-type: none"> • Les cibles d'écoconstruction <ul style="list-style-type: none"> 1 – Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat 2 – Choix intégré des procédés et produits de construction 3 – Chantier à faibles nuisances • Les cibles d'écogestion <ul style="list-style-type: none"> 4 – Gestion de l'énergie 5 – Gestion de l'eau 6 – Gestion des déchets d'activités 7 – Entretien et maintenance
◆ Les cibles de création d'un environnement intérieur satisfaisant
<ul style="list-style-type: none"> • Les cibles de confort <ul style="list-style-type: none"> 8 – Confort hygrothermique 9 – Confort acoustique 10 – Confort visuel 11 – Confort olfactif • Les cibles de santé <ul style="list-style-type: none"> 12 – Conditions sanitaires 13 – Qualité de l'air 14 – Qualité de l'eau

Figure 3
Les cibles HQE
HQE targets

En résumé, pour toute opération de maintenance et de réhabilitation, il conviendra de traiter l'ensemble des quatorze cibles de la démarche HQE (figure 3), en focalisant les efforts sur un nombre plus réduit de cibles sélectionnées en fonction du projet. Les cibles n° 2 - Choix intégré des procédés et produits de construction (incluant les critères techniques présentés ci-avant), n° 3 - Chantier à faibles nuisances (en particulier pour les travaux de réhabilitation qui sont réalisés en présence des occupants) et n° 6 - Gestion des déchets d'activités seront traitées en priorité.

Selon le type et l'intensité des opérations de maintenance et réhabilitation, des cibles complémentaires devront être prises en compte.

■ CONCLUSION

L'approche intégrée des opérations de réhabilitation requiert de mettre en œuvre de nouvelles pratiques dans la planification des opérations de réhabilitation et dans l'organisation des chantiers. Il paraît nécessaire de mettre à disposition des professionnels un guide pratique de la déconstruction et de la réhabilitation, un guide pour "une maintenance et une réhabilitation durables". Ce guide devra traiter tant les aspects techniques et économiques, que les aspects environnementaux de

ces opérations. Il pourra s'appuyer sur les nombreuses opérations déjà réalisées dans certaines régions françaises ainsi qu'au niveau international. De telles pratiques de maintenance et de réhabilitation, s'inscrivant dans l'objectif de développement durable du secteur de la construction ne représentent qu'une partie de l'approche développement durable.

Un réseau thématique intitulé "Lifetime Engineering" (qui peut être traduit par "Ingénierie prenant en compte le cycle de vie") travaille actuellement sur cette thématique. Outre les aspects maintenance et réhabilitation traités dans cet article, ce concept généralise l'approche développement durable à toutes les phases du processus de construction. Il inclut notamment :

- ◆ la planification des investissements et les outils d'aide à la décision ;
- ◆ la conception selon une approche intégrée de la durée de vie ;
- ◆ l'exploitation et la planification de la maintenance selon une approche intégrée sur la durée de vie ;
- ◆ les notions de modernisation, réutilisation, recyclage et démolition ;
- ◆ l'évaluation et la minimisation des impacts environnementaux sur la durée de vie.

Ce réseau vise à établir un état de l'art de toutes les pratiques (recherches, formations, projets...) des intervenants du processus de construction (du concepteur au gestionnaire), s'inscrivant dans le cadre du développement durable, et regroupe des acteurs de tous les secteurs de la construction et du génie civil.

Une réflexion globale sur tout le cycle de vie des produits, des bâtiments et des villes permettra ainsi d'apporter une contribution aux quatre principes énoncés dans l'Agenda 21¹⁰ (établi lors du sommet de la terre de Rio de Janeiro en 1992) :

- ◆ le principe d'intégration : un développement économique, social (collectif) et humain (individuel) ;
- ◆ le principe de rationalité : la prise en compte de toutes les conséquences sociales des décisions ;
- ◆ le principe de solidarité : notamment avec les générations futures dont il convient de prendre en considération la survie et donc la préservation des ressources naturelles et de l'environnement ;
- ◆ le principe de participation : l'adhésion sociale est une condition au développement durable ; elle suppose l'accès à des données claires et pertinentes, l'organisation de la participation des citoyens à la prise de décision.

Nota : Nous remercions **GIE LEC Rhône Alpes** (Lyon) pour les photographies illustrant cet article.

⁹ - Lifetime est un réseau thématique (recherche financée en partie par la Communauté européenne dans le cadre du programme "Competitive and Sustainable Growth" - Contrat n° G1RD-CT2000-00371) traitant de l'ingénierie du cycle de vie des bâtiments et ouvrages de génie civil ("Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures").

Les principaux contractants sont : VTT Building and Transport, (Finlande - Coordinateur du projet), Taylor Woodrow Construction Ltd (Grande-Bretagne), Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France), Imperial College of Science, Technology and Medicine (Grande-Bretagne) et Universität Karlsruhe (Allemagne).

¹⁰ - A Rio, lors du Sommet de la Terre, plus de 150 Etats se sont engagés à lier les enjeux du développement économique et social et de l'environnement pour créer un monde plus solidaire, préservant les ressources et les milieux naturels. Les conventions et les déclarations qui ont scellé ces engagements furent complétées d'un programme d'actions, "l'Agenda 21" que chaque Etat signataire et les collectivités locales devaient mettre en œuvre.

Informations : http://www.crmip.fr/developpementdurable/ht/agenda_definition.htm.

ABSTRACT

For an integrated approach to maintenance and rehabilitation works

J. Chevalier, J. Lair, M. Rubaud

The taking into account of the environmental aspects in each step of the construction process (from "cradle to grave") is becoming crucial for all the stakeholders in the building and civil engineering domain.

Additionally to the technical and economic constraints that are usually taken into account, we present deeply in this paper the various environmental constraints we have to study in the construction process, illustrating with examples from maintenance and rehabilitation works.

The objective of the approach is to design, build, use and manage buildings in accordance to Sustainable Development principles, i.e. using an integrated approach of technical, economic, as well as environmental and social criteria.

RESUMEN ESPAÑOL

Hacia un enfoque integrado de trabajos de mantenimiento y rehabilitación

J. Chevalier, J. Lair y M. Rubaud

De ahora en adelante será crucial, para los diferentes actores de la construcción, tomar en cuenta, en cada una de las fases de construcción ("de la cuna a la tumba"), los aspectos medio ambientales.

Como complemento a los criterios técnicos y económicos que son generalmente tomados en cuenta en el momento de construir, presentaremos, en este documento, de manera detallada los criterios medio ambientales a considerar. En particular, ilustraremos éstos conceptos mediante ejemplos de mantenimiento y de rehabilitación de la construcción.

El principal objetivo de este procedimiento es llegar a aconsejar, construir, utilizar y explotar la construcción de acuerdo a un desarrollo sostenible, es decir llevar a cabo el mismo teniendo en cuenta criterios económicos, técnicos, medio ambientales y sociales.

économie

Contrat de plan Etat-Région 2000-2006 La région Pays-de-la-Loire

Signé le 20 avril 2000, le contrat de plan Etat-Région Pays-de-la-Loire 2000-2006 engage l'Etat, la région ainsi que les autres partenaires participant au financement pour un montant de 1,7 milliard €. Dans le domaine des infrastructures de transport ce contrat a un caractère intermodal avec trois volets (routier, ferroviaire et fluvial).

Avec 39 % de l'enveloppe financière, les infrastructures de transport sont l'une des grandes priorités de ce contrat de plan. Au-delà du nécessaire renforcement des liaisons au sein de la région et avec les régions voisines, l'accent est mis sur l'ouverture de la façade Atlantique vers les marchés européens.

■ VUE D'ENSEMBLE SUR LE XII^E CONTRAT DE PLAN

L'engagement financier de l'Etat et de la Région Pays-de-la-Loire sur la période 2000-2006 devrait atteindre 1,7 milliard €, soit une progression de plus de 1,1 milliard de francs par rapport au contrat de plan 1994-1999. La durée des contrats de plan ayant été allongée, passant de 5 + 1 ans à 7 ans, cette effort correspond à une croissance de 55 % en valeur, soit 45 % en volume en moyenne annuelle.

Avec l'apport financier d'une part des fonds structurels européens, voisins de 0,4 milliard €, l'enveloppe globale du contrat de plan atteint 2,1 milliards €.

Les actions menées dans le domaine des communications et des transports (routes, rail, air) atteignent 39 % du contrat de plan (hors finan-

cement européen) devant celles en faveur de l'enseignement, de la recherche et de la culture, 23 %. Parmi les programmes d'action contenus dans ce contrat de plan, plusieurs ont comme objectif de moderniser les infrastructures de communication dans une optique multimodale.

Le contrat de plan Etat-Région Pays-de-la-Loire se situe au 7^e rang par le montant des engagements financiers, derrière Midi-Pyrénées et devant la Lorraine. Ramené par habitant, le budget moyen des contrats de plan représente 670 €; il est de 780 € pour les Pays de la Loire et se positionne au 17^e rang.

■ INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT : VUE D'ENSEMBLE

L'objectif assigné à ce contrat de plan en matière d'infrastructures de transport consiste à favoriser l'accès aux différents réseaux de communication. L'accent est plus particulièrement mis sur l'intermodalité, mais avec un degré variable d'implication suivant les différents modes.

Ainsi dans le domaine aéroportuaire, les actions engagées dans le cadre du contrat de plan portent sur des études préliminaires.

Dans la perspective du transfert de l'aéroport de Nantes-Atlantique sur le site de Notre-Dame-des-Landes, ces études portent sur la desserte du site par un transport collectif ferroviaire et par des infrastructures routières.

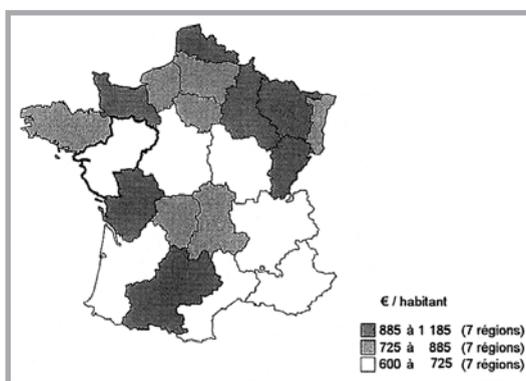
Avec des engagements atteignant 630 millions € en faveur des infrastructures sur la période 2000-2006, le contrat de plan se situe au 11^e rang en France derrière le Centre et devant l'Alsace.

Ces investissements sont financés pratiquement à parts égales entre la Région (34 %) et l'Etat (33 %). Les autres collectivités locales et les départements (29 %) viennent juste après. Le complément de ce financement est assuré par RFF (4 %). La participation de l'Etat est inférieure à la moyenne nationale (35 %) sur l'ensemble des contrats de plan.

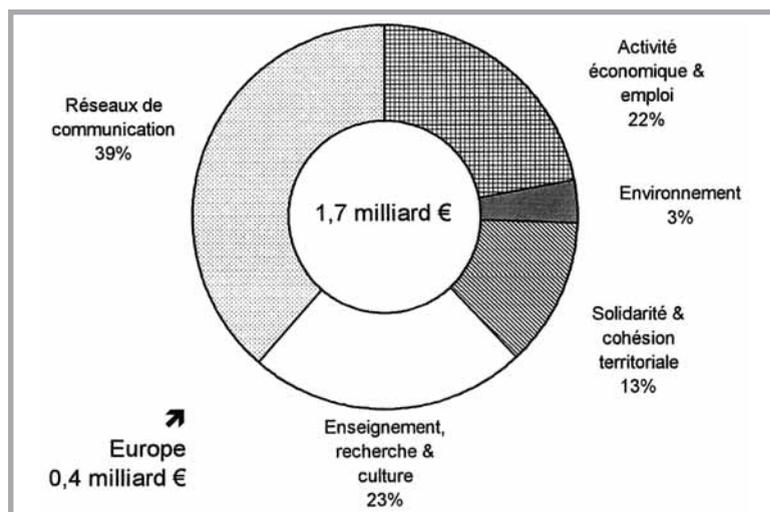
Selon les différents modes de transport, les investissements se répartissent ainsi :

- ◆ volet routier : 61 %;
- ◆ volet ferroviaire : 27 %;
- ◆ volet portuaire : 12 %.

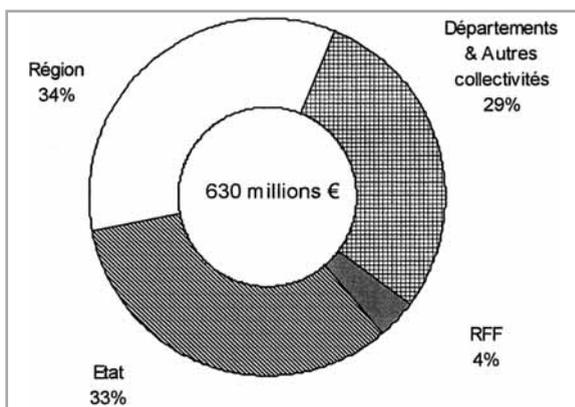
Engagements totaux en euros par habitant



Programme d'action du contrat de plan

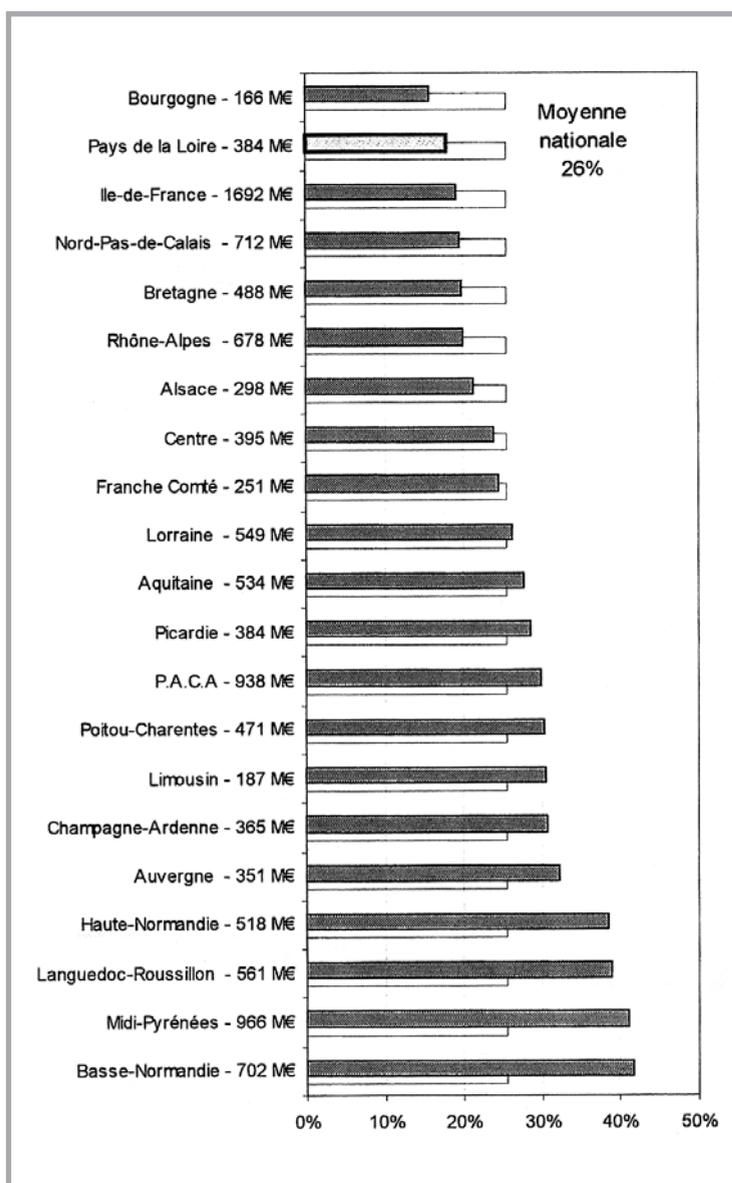


Cette répartition correspond exactement à celle constatée pour le mode routier sur l'ensemble du territoire. Par contre, elle lui est légèrement inférieure pour le volet ferroviaire (33 %), mais nettement supérieure pour le volet portuaire et fluvial (6 %).



Financement des infrastructures de transport

Part du volet routier



VOLET ROUTIER : RAPPROCHER LA FAÇADE ATLANTIQUE DES MARCHÉS EUROPÉENS

Sur la période 2000-2006, le volet routier du contrat de plan porte sur 383 millions €. Pour mémoire, cet engagement atteignait 369 millions € sur la période 1994-1999. Cette stabilité apparente en euros courants traduit de fait une baisse de 26 % en moyenne annuelle qui atteint 31 % en monnaie constante.

La région Pays-de-la-Loire a le 15^e budget routier après la Picardie et devant Champagne-Ardenne. Ce budget représente 18 % de celui du contrat de plan contre 26 % en moyenne.

Compte tenu de son implantation géographique sur la façade Atlantique, la région Pays-de-la-Loire

re doit se rapprocher des grands marchés européens grâce à de bonnes liaisons vers l'extérieur et une intégration aux réseaux de transport européens. De plus, le maillage routier est encore insuffisant pour répondre aux besoins de déplacements au sein de la région et notamment entre ses principales agglomérations.

Enfin, le bon fonctionnement de la métropole Nantes/Saint-Nazaire nécessite une bonne desserte routière et une optimisation du périphérique nantais.

Pour le volet routier, les priorités sont au nombre de quatre :

- ◆ les grandes liaisons nationales ;
- ◆ les liaisons assurant le maillage intervilles ;
- ◆ les liaisons urbaines et métropolitaines ;
- ◆ et les opérations sur le périphérique nantais.

Les grandes liaisons nationales

En dehors des liaisons assurant la continuité du réseau autoroutier (hors contrat de plan), les actions concernent principalement la desserte de la côte vendéenne et du port de Saint-Nazaire ainsi que la liaison vers la route Centre Europe Atlantique :

- ◆ RN 160 : mise à 2 x 2 voies entre La Roche-sur-Yon et Les Sables d'Olonne ;
- ◆ RN 171 : calibrage et mise hors gel + déviations de Treffieux (44 - Loire-Atlantique) et Pouancé (49 - Maine-et-Loire) ;
- ◆ RN 249 : mise à 2 x 2 voies entre Cholet et Bressuire ;
- ◆ RN 137 : échangeur d'Héric (44).

Les liaisons assurant le maillage intervilles

Ces actions ont pour objectif d'assurer un niveau de service adapté aux besoins de déplacements entre chacune des agglomérations importantes de la région :

- ◆ RN 23 : aménagements qualitatifs de sécurité entre Le Mans et la limite de l'Orne ;
- ◆ RN 137 : aménagements qualitatifs de sécurité entre Sainte-Hermine et la limite de la Charente-Maritime ;
- ◆ RN 138 : déviation de Château-du-Loir (72 - Sarthe) ;
- ◆ RN 157 : aménagements qualitatifs de sécurité entre la limite de la Mayenne, Le Mans et la limite de l'Orne ;
- ◆ RN 160 : mise à 2 x 2 voies entre Cholet et Mortagne-sur-Sèvre (85) + aménagements qualitatifs de sécurité entre Les Herbiers et Mortagne-sur-Sèvre (85) ;
- ◆ RN 162 : déviation du Lion d'Angers (49) + aménagements qualitatifs de sécurité entre Laval et la limite du Maine-et-Loire + créneau de dépassement de Villiers-Charlemagne (Mayenne) + échan-

geur et créneau de dépassement à 2 x 2 voies d'Entrammes (53) + rocade sud de Château-Gontier (53) + déviation de Moulay (53) [1^{re} tranche].

Les liaisons urbaines et métropolitaines

Ces actions ont vocation à s'inscrire dans le volet territorial à travers notamment les contrats d'agglomération. Leur objectif est d'accompagner l'organisation des déplacements dans les principales aires urbaines de la région. Elles concernent les villes de Nantes, Saint-Nazaire, Le Mans, Angers, Saumur et Laval :

- ◆ Nantes – Saint-Nazaire : mise à niveau du périphérique ; mise à 2 x 3 voies de l'axe Nantes/Savenay, échangeur de Certé, aménagement de l'axe Certé/Savenay ;
- ◆ Angers : échangeur de Beaucouzé, trémie de Saint-Barthélemy, déviation de l'ETAS à 2 x 2 voies ;
- ◆ Le Mans : mise à 2 x 2 voies de la déviation sud-est, déviation de Saint-Saturnin, protections phoniques de la rocade ;
- ◆ Saumur : doublement du franchissement de la Loire ;
- ◆ Laval : mise à 2 x 2 voies de la sortie sud-ouest.

Les opérations sur le périphérique nantais

Il s'agit de la mise à niveau du périphérique Est de Nantes dans la perspective de son classement dans la voirie nationale. Cette opération est complétée par la mise en place d'équipements d'exploitation.

VOLET FERROVIAIRE : FAVORISER L'INTERMODALITÉ

Avec un engagement en faveur des infrastructures ferroviaires atteignant 169 millions € sur la période 2000-2006, la région Pays-de-la-Loire se situe au 9^e rang au plan national. La région se positionne devant le Centre et derrière l'Auvergne.

La volonté affichée de renforcer les liens entre la façade Atlantique et les marchés européens est confrontée à l'insuffisance de l'axe ferroviaire vers Paris et l'Est de la France sur certaines sections. De plus, les infrastructures ferroviaires de l'axe nord-sud restent mal adaptées au développement des territoires de la façade Atlantique. Enfin l'offre intermodale reste encore insuffisante. Les actions menées dans le cadre de ce contrat de plan porteront donc sur les liaisons vers Paris, les régions voisines et celles internes à la région ou aux agglomérations. Ainsi, la région

participera au financement de l'interconnexion des TGV au sud de l'Île-de-France. Cette opération s'inscrit dans la perspective de la réalisation d'une ligne nouvelle.

Axe Angers/Nantes/Saint-Nazaire/Le Croisic

Sur la liaison Nantes/Saint-Nazaire, les projets consistent en l'aménagement du plan des voies de la gare de Donges et la réalisation à Chantenay de deux voies d'évitement. Il s'agit ici d'augmenter la capacité de la ligne.

Sur la liaison Nantes/Angers, il sera créé un saut de mouton à la bifurcation d'Angers Maître Ecole afin de développer les trafics sur cette ligne et de remédier aux problèmes de saturation aux heures de pointe.

Axe Nantes/La Roche-sur-Yon/Les Sables d'Olonne

La Vendée est le seul département de la façade Atlantique à ne pas être desservi par le TGV. L'électrification de la ligne permettra des relations directes Paris/Nantes/La Roche-sur-Yon/Les Sables d'Olonne.

Liaisons internes à la région

La modernisation des liaisons interrégionales se concentre sur celle entre Angers et Cholet. L'objectif est de relier ces deux villes en 32 minutes contre 48 actuellement. La section entre Cholet et Chemillé ayant déjà été modernisée, les efforts se portent maintenant sur celle entre La Possonnière et Chemillé.

Liaisons interrégionales

La principale opération concerne la liaison Caen/Le Mans/Tours avec la modernisation des installations techniques de Château-du-Loir de façon à augmenter la capacité des sillons.

Liaisons urbaines et périurbaines

Le projet de liaison ferroviaire Nantes/Vertou constitue la première étape de la mise en place d'une desserte périurbaine susceptible d'être prolongée. Il comporte la création de deux arrêts à Saint-Sébastien et la réalisation d'un terminus technique en gare de Vertou. Cette opération inscrite au titre du contrat de plan bénéficie des aides de l'Etat aux transports collectifs de province.

Enfin, concernant le transport de marchandises, les deux projets retenus se limitent au titre du

contrat de plan à des études. Ces deux projets sont le chantier du Grand-Blottereau à Nantes et la plate-forme multimodale du Mans.

VOLET PORTUAIRE : ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DU PORT DE NANTES – SAINT-NAZAIRE

Les moyens consacrés au volet portuaire atteignent 79 millions € sur la période 2002-2006. Les Pays-de-la-Loire se situent au 5^e rang en France par l'importance du volet fluvial et portuaire derrière le Centre et devant la Bourgogne.

Les moyens se concentrent autour du port de Nantes – Saint-Nazaire qui se positionne au 4^e ou au 5^e rang en France.

Ce port a connu au cours des dix dernières années une forte progression des tonnages transportés (+ 44 %). Il est en tête des ports français pour les produits agroalimentaires et des bois d'œuvre.

De plus son trafic de conteneurs se développe. Pour s'adapter à l'évolution du trafic, le port devra d'une part adapter ses sites actuels et d'autre part investir sur le nouveau site de Donges Est. Trois opérations ont été retenues dans le cadre du contrat de plan.

Allongement des quais du terminal agroalimentaire de Montoir

Ce programme est rendu nécessaire par la saturation actuelle des quais. L'allongement des quais est prévue en deux tranches : l'une en aval de 110 m et l'autre en amont de 90 m. Cela permettra simultanément d'accroître la capacité du port et d'améliorer les conditions de réception des navires.

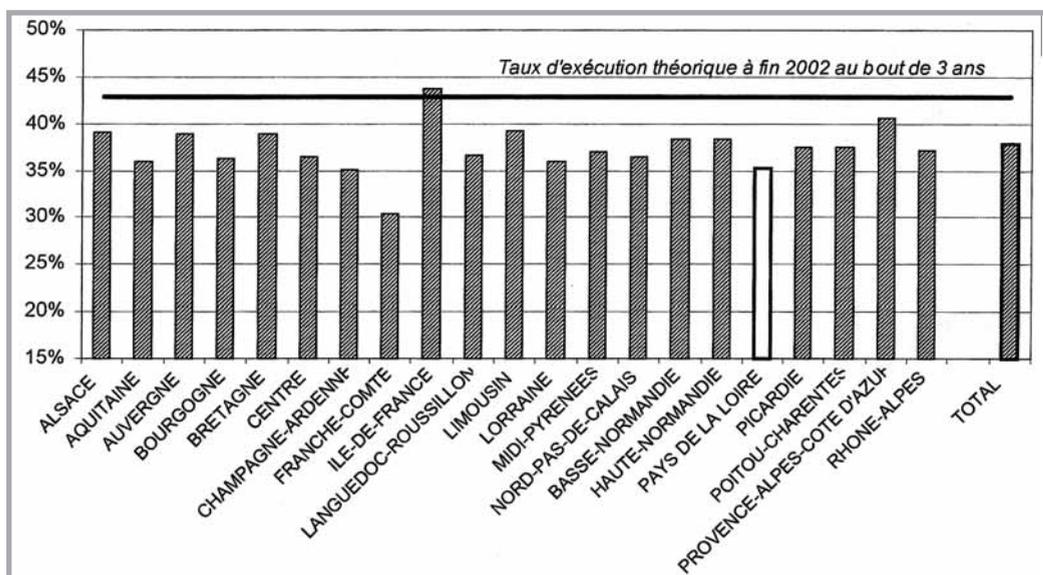
Extension de Donges Est

Cet aménagement est le plus important des trois puisqu'il utilisera près des trois-quarts de l'enveloppe du volet portuaire.

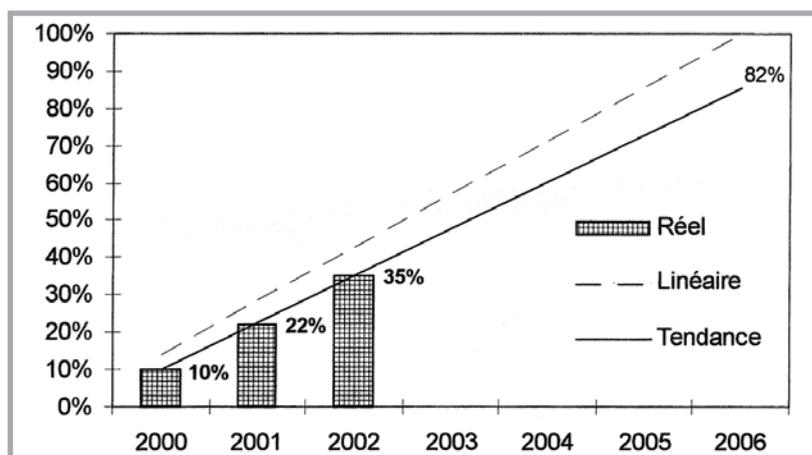
Il doit permettre le développement du port à l'horizon 2005, en relayant les sites de Montoirs alors saturés. La première tranche des travaux correspond aux digues et remblais, et la seconde aux quais et terre-pleins après consolidation des terrains.

Nouveau quai de Cheviré

Ce projet est lié notamment à l'évolution attendue de l'urbanisme sur l'île Sainte-Anne conduisant à recentrer le trafic du port de Nantes en rive droite, autour de Roche-Maurice et, en rive gauche, sur Cheviré.



Taux d'exécution du volet routier par région à partir des autorisations de programme



Taux d'exécution du volet routier des Pays de la Loire et tendance 2006 à partir des autorisations de programme

néaire théorique pour les autorisations de programme et de 30 points pour les crédits de paiement.

La région Pays-de-la-Loire figure cependant parmi les régions dont le volet ferroviaire est le plus avancé. En effet au plan national, le taux d'exécution pour les autorisations de programme est de 15 % et de seulement 3 % pour les crédits de paiement sur trois ans.

Le volet portuaire

Ce volet est celui des trois qui est le moins avancé. Que ce soit pour les autorisations de programme ou les crédits de paiement, le taux d'exécution présente un retard supérieur à 30 % sur l'avancement linéaire théorique.

Comparée aux autres régions, les Pays-de-la-Loire se situent juste en dessous de l'avancement moyen pour les autorisations de programme (16 %), mais nettement au-dessus pour les crédits de paiement (5 %).

Millions €	Autorisations de programme affectées	Crédits de paiement mandatés
Montant 2000-2006		79
2000	5	1
2001	1	4
Prévision 2002	3	3
Avancement prévisionnel à fin 2002	11%	10%
Avancement théorique à fin 2002 au bout de 3 ans	43%	43%

Volet portuaire

ÉTAT D'AVANCEMENT DU CONTRAT DE PLAN

Le suivi du contrat de plan Etat-Région Pays-de-la-Loire est mené à partir des autorisations de programme et des crédits de paiement. Les autorisations de programme correspondent au contrat 2000-2006, tandis que les crédits de paiement correspondent à l'actuel et au précédent sans qu'il soit possible de les isoler.

Le volet routier

Trois ans après sa signature, le volet routier du contrat de plan accuse un retard de 8 points par

rapport à l'exécution linéaire et théorique. Le taux d'exécution pour la région Pays-de-la-Loire est de 3 points inférieur à celui constaté sur l'ensemble du territoire.

Le prolongement de la tendance observée sur ces trois premières années conduirait à un taux d'exécution en 2006 de 82 %, soit pratiquement le même taux que pour le contrat précédent qui avait duré un an de moins.

Le volet ferroviaire

Le volet ferroviaire du contrat de plan n'a vraiment démarré qu'en 2002 ; aussi accuse-t-il un retard de 23 points par rapport à l'exécution li-

Il est à retenir pour les volets ferroviaire et portuaire que si les Pays de la Loire ont pris du retard, comme la plupart des autres régions, l'affectation des autorisations de programme a très rapidement donné lieu à des crédits de paiement, synonymes d'activité pour les entreprises de travaux publics.

Millions €	Autorisations de programme affectées	Crédits de paiement mandatés
Montant 2000-2006		383
2000	39	44
2001	46	50
Prévision 2002	50	49
Avancement prévisionnel à fin 2002	35%	37%
Avancement théorique à fin 2002 au bout de 3 ans	43%	43%

Volet routier

Millions €	Autorisations de programme affectées	Crédits de paiement mandatés
Montant 2000-2006		169
2000	9	1
2001	3	6
Prévision 2002	22	16
Avancement prévisionnel à fin 2002	20%	13%
Avancement théorique à fin 2002 au bout de 3 ans	43%	43%

Volet ferroviaire

E-commerce, logistique et transports

Malgré le nombre de plus en plus important d'entreprises et de ménages connectés à Internet et le fort dynamisme de l'e-commerce, les logisticiens sont encore réticents à venir s'associer au développement de ce nouveau mode de médiation. Il faut dire que les récents échecs subis par certains prestataires logistiques et les incertitudes qui pèsent sur la conjoncture économique ne devraient pas changer la donne dans l'immédiat. L'attentisme et la précaution sont de rigueur...

■ LE COMMERCE ÉLECTRONIQUE : QUELQUES CHIFFRES

L'importance croissante du commerce électronique dans le monde (tableau I) va de paire avec le développement d'Internet à domicile. Si l'on en croit l'Atlas mondial de l'Internet, édition 2000, 51 % des foyers américains étaient connectés à Internet en 2000; ils seront 75 % en 2003 tandis que la proportion passera de 12 % à 27 % pour les foyers français.

Ainsi, en 2003, la France sera encore loin de combler le retard qu'elle a pris en termes d'équipement par rapport aux Etats-Unis et à certains pays d'Europe.

■ LA LOGISTIQUE : UN POINT STRATÉGIQUE FORT DE L'E-COMMERCE

La **logistique** recouvre la gestion des flux de produits et d'informations, depuis l'achat des produits, matières et composants aux fournisseurs jusqu'à la livraison aux clients : elle vise à satisfaire la demande finale sous contraintes de délai, flexibilité, coût et qualité.

Les attentes des consommateurs - internautes

Les résultats d'enquêtes récentes sont formels. Les e-consommateurs, qu'ils soient européens ou bien américains, attendent des produits vendus sur Internet qu'ils soient livrés à coût réduit (tableau II).

La question de la logistique est donc bien au cœur du commerce électronique.

A noter également que si les Français sont encore un peu dubitatifs quant à la vente sur Internet de produits volumineux et/ou de faible valeur, l'ensemble des consommateurs européens et américains n'a pas cette approche et estime que tous les produits sont commercialisables sur le Net.

Cependant, cette tendance est en train de changer en France puisque, à titre d'exemple, Castorama qui vient d'ouvrir sa propre boutique virtuelle propose même de livrer des boîtes de vis...

Les attentes des entrepreneurs

La suppression d'un certain nombre de distributeurs (grossistes et détaillants) implique parfois que **le dernier et seul intermédiaire** entre, d'une part, les producteurs vendant sur le Net et leurs clients, et d'autre part, les gros distributeurs et le client est souvent le **logisticien**. Ce qui donne à ce dernier **un poids stratégique de la plus haute importance**.

Dès lors, les producteurs et les distributeurs sur le Net sont prêts à payer très cher pour que la prestation logistique soit irréprochable, et ce pour les raisons suivantes :

- ◆ le logisticien auquel ils confient leur colis devient par extension leur représentant auprès de leurs clients;
- ◆ l'élimination des intermédiaires dégage des économies pour acheter une prestation logistique performante;
- ◆ sur le Net, comme pour la vente par correspondance classique, le client paie une partie ou la totalité du transport.

Attentes du consommateur - internaute ...		
	européen	américain
1ère	prix de vente moins élevés	prix de livraison moins élevés
2ème	prix de livraison moins élevés	prix de vente moins élevés
3ème	sécurisation des transactions financières	plus de choix dans les produits

source : www.logistique.com

Tableau II

Poids du commerce électronique dans le monde				
en milliards de dollars	2000	2002	2004	% des ventes totales en 2004
Monde	657,0	2 231,2	6 789,9	8,6%
Amérique du nord	509,3	1 495,2	3 456,4	12,8%
Asie-Pacifique	53,7	286,6	1 649,8	8,0%
Europe de l'ouest	87,4	422,1	1 533,2	6,0%
Amérique du sud	3,6	13,7	81,8	2,4%
Reste du monde	3,2	13,5	68,6	2,4%

source : Le Journal du Net

Tableau I

Quelques exemples de structures logistiques

Fromage.com

- ◆ Produit : fromages.
- ◆ Structure : "cyberlogistique" centralisée => soustrait toute la partie physique depuis les affineurs jusqu'aux consommateurs clients.
- ◆ Clientèle : fortement étrangère (notamment américaine).

Aquarelle.com

- ◆ Produit : fleurs.
- ◆ Structure : logistique centralisée, approche mixte => entrepôt en propre + transport sous-traité.
- ◆ Zone de chalandise : Paris.

ChateauOnline.fr

- ◆ Produit : vins et spiritueux.
- ◆ Structure : sous-traitance totale (entreposage, préparation et distribution).
- ◆ Un plus : assistance d'un cabinet d'audit pour le respect du règlement encadrant le commerce des alcools de par le monde.

Castorama.fr

- ◆ Produit : bricolage.
- ◆ Structure : sous-traitance totale (entreposage, préparation et distribution).
- ◆ Gestion : Castorama Direct, filiale autonome de Castorama.
- ◆ Un plus : engagement à rembourser et à venir chercher l'article en cas de non-satisfaction du client.

EXTERNALISATION ET SOUS-TRAITANCE

Beaucoup de producteurs et de distributeurs optent pour une logistique gérée en externe par une entreprise sous-traitante. En effet, les avantages sont nombreux :

- ◆ maîtrise et diminution des coûts (entre 10 et 30 %) : les effets d'apprentissage et de masse permettent à un prestataire de disposer de coûts d'unité d'œuvre plus économique que l'entreprise ;
- ◆ accroissement de la flexibilité des circuits de l'entreprise face à la volatilité de la demande : dans le cadre de la définition d'obligations de ré-

sultats, le prestataire devra moduler ses moyens en fonction des ordres reçus pour exécuter des actions ;

- ◆ ré-allocation des ressources de l'entreprise : permet de retarder un investissement dans le cas où l'entreprise ne dispose pas sur le moment des ressources nécessaires ;

- ◆ transfert de savoir-faire de la part du prestataire : la maîtrise des opérations par prestataire permet à une entreprise de définir une action, organiser un flux de produit sans avoir à acquérir et à mettre en œuvre l'ensemble du savoir organisationnel ;

- ◆ débouché dans l'animation-gestion de personnels : fréquemment, une fonction non essentielle ou sans réel avenir ne peut donner lieu à une gestion de carrière dans une entreprise, alors que des évolutions sont davantage envisageables chez le prestataire dont c'est le métier.

Actuellement, l'offre globale des prestataires logistiques est très contrastée. Elle comprend, tout d'abord, les Postes, seuls intermédiaires se rendant tous les jours (ou presque!) dans l'ensemble des ménages et des entreprises et ce, pour un coût limité. En France, des produits tels que "Colissimo Suivi", proposé par la Poste, ont été largement plébiscités par les web-marchands français. Autres types de prestataires logistiques : les gros transporteurs comme Fedex, DHL ou TAT Express qui ont mis à profit leurs 20 à 30 années d'expérience dans les livraisons à travers le monde pour développer leur activité dans l'assistance aux producteurs et distributeurs du Net.

A ces acteurs dits "classiques", se joint l'offre de nouveaux venus, qui soit se spécialisent sur une question, la livraison de proximité ou la présentation des offres de transport en terme de tarification, soit s'orientent vers le suivi de l'information... (exemples : Team-on-line, Telemarket, Fretatweb...).

Le cas Geodis

Geodis est le numéro un français de l'organisation du transport et de la logistique. L'actionnaire majoritaire du groupe est la SNCF (43 %).

Implanté dans plus de 40 pays, Geodis représente un réseau de 660 centres d'exploitation dont 277 sites de production certifiés ISO 9002. Bien que son chiffre d'affaires ait crû en 2000 (+ 8,5 % par rapport à 1999), le groupe n'a pas su, aux dires du cabinet d'analystes boursiers Concerto et Associés, préserver ses marges en 2000 dans un contexte de hausse des prix du diesel et de réévaluation des salaires des chauffeurs.

Les difficultés financières actuellement rencontrées par Geodis mettent en évidence les contraintes réelles qui portent sur les prestataires logistiques. Le cas de ce groupe n'est pas unique...

La Poste vient de fermer une de ses filiales logistiques, Shipvision, qui offrait depuis tout juste un an ses services de comparateur de prix et d'intermédiaire entre marchands en ligne et transporteurs. Chrono e-liko, filiale à 45 % de Chronopost, poursuit son activité de livraison express traditionnelle vers les sites marchands, mais ce au ralenti.

LES CONTRAINTES QUI PÈSENT SUR LA E-LOGISTIQUE

La livraison de proximité

La principale contrainte pour le transporteur relève de la réalisation du "dernier kilomètre", juste avant d'arriver chez le client.

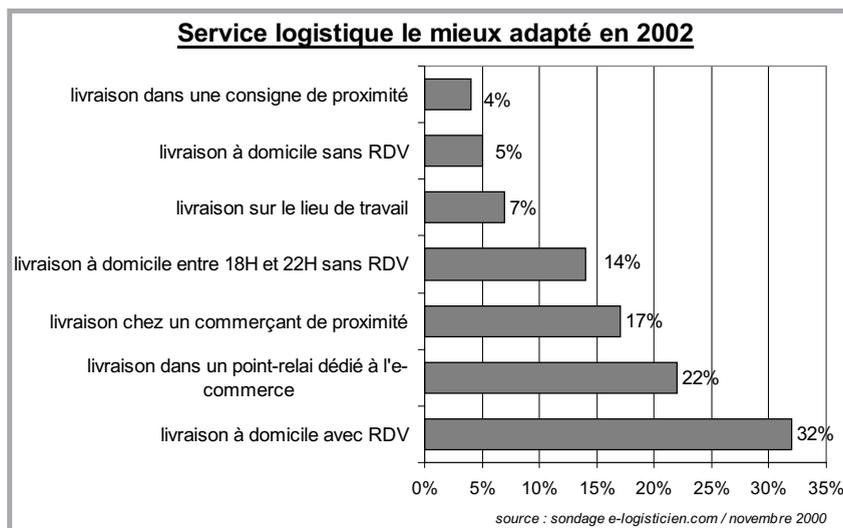
Un petit sondage mené auprès des internautes en novembre 2000 par le site e-logisticien.com établit les préférences suivantes concernant le mode de livraison. Attention, ces pourcentages sont à prendre avec précaution : l'échantillon étant très petit (101 sondés)! (tableau III).

Livraison à domicile ou livraison hors domicile ?

Les avis sont partagés et il est difficile de trancher en faveur de tel ou tel système de livraison étant donnée la diversité des coûts et avantages qui caractérise chacun d'entre eux.

- Si la livraison à domicile se révèle très coûteuse pour le transporteur au regard du coût de distribution au particulier pondéré par le taux de réussite de trouver le destinataire chez lui dès la première présentation, la prise de rendez-vous peut améliorer l'efficacité de la livraison. Cette voie est actuellement exploitée par les services logistiques des web-marchands alimentaires tels que Telemarket, Ooshop et C-mescourses.

Tableau III



- Autre possibilité : imiter les grands distributeurs de la vente par correspondance (VPD) que sont par exemple La Redoute et Les Trois Suisses. Ils disposent de 2500 à 3000 points relais qui sont soit des magasins en propre, soit, pour la majorité, des commerçants de quartier. La solution est attirante mais il faut se méfier : la clientèle de la VPD classique n'est pas la même que celle qui commande par Internet.

Les Plans de déplacements urbains

L'impact des Plans de déplacements urbains qui de plus en plus restreignent les trafics en ville n'est pas minime.

Les nouveaux PDU qui organisent la circulation en centre-ville, donnent l'avantage aux transports en commun et aux vélos. Les camions-livreurs ont de plus en plus de mal à trouver leur place dans ce système.

Le problème est encore plus important dans Paris où dorénavant certaines voies sont équipées de portions réservées au bus et vélos (proches des trottoirs) et n'autorisant pas les arrêts. La Fédération des entreprises de transport et logistique de France s'indigne de la construction de ces banquettes, "séparateurs infranchissables", qui rendent les livraisons très difficiles.

Les contraintes financières

En 2002, les entrepreneurs des transports routiers en France devront faire face en 2002 à des efforts financiers importants relatifs à diverses majorations de charges :

- ◆ revalorisation au 1^{er} janvier 2002 des rémunérations et indemnités forfaitaires pour frais de déplacement;
- ◆ hausse des péages routiers pour financer les traversées alpines;
- ◆ alourdissement des assurances du fait de l'aggravation générale des risques;
- ◆ diminution probable de la récupération partielle de la TIPP sur le gazole professionnel.

Ces frais supplémentaires pourraient donc être un obstacle au développement de l'e-logistique en France.

■ LES TENDANCES ACTUELLES

Le commerce électronique a dorénavant infiltré tous les niveaux de l'entreprise : loin de rester cantonné aux fonctions ventes et marketing, il a gagné les fonctions de support comme les achats, la logistique et les ressources humaines. Cependant, si l'activité e-logistique est relativement prospère aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne (voir le nombre de sociétés anglo-saxonnes présentes au Progilog, salon de l'e-logistique du 7 et 8 novembre 2001), tel n'est pas le cas en France.

Une attitude attentiste

Pourcentages de grandes compagnies ayant investi dans l'e-logistique	
Espagne	57%
Grande-Bretagne	50%
Pays nordiques	33%
France	29%
Benelux	29%

source : Accenture

En France, la "tendance est plutôt orientée à la morosité avec un ton prononcé pour l'immobilisme" (dixit e-logisticien.com, novembre 2001). D'après une étude menée par Accenture, seules 14 % des sociétés françaises interrogées estiment qu'Internet peut jouer un rôle majeur dans la gestion et le suivi de leurs commandes.

Ce scepticisme est surtout lié à des obstacles comme le manque de produits adaptés, le ticket d'entrée trop élevé, l'incertitude quant à l'importance du retour sur investissement...

■ QUELLES PERSPECTIVES POUR LES PROCHAINES ANNÉES ?

Pourtant, les perspectives concernant notamment le B2C (business to consumer) sont tout à fait optimistes.

Malgré les incertitudes économiques, selon l'étude réalisée par Accenture, 60 % des dirigeants européens sondés avouent avoir l'intention d'augmenter de 15 % en moyenne leurs investissements dans le commerce électronique au cours des 12 prochains mois.

L'euphorie des premières années du commerce électronique qui a vu finalement un certain nombre d'entreprises web-marchandes et e-logistiques échouer a laissé place à une phase de réflexion.

"On observe, on étudie, on élabore" : les entreprises, à l'image de Castorama, ne se précipitent plus pour vendre sur le Net. Elles tiennent à maîtriser les avantages et les inconvénients de ce mode de développement.

En outre, elles peuvent se servir des erreurs commises par leurs aînées pour parfaire leur stratégie. Faut-il sous-traiter l'activité d'entreposage ? Celle de livraison ? Faut-il faire payer au consommateur final le coût de la livraison ?... Les dirigeants qui se lancent aujourd'hui dans l'aventure de la vente en ligne sont mieux armés que leurs prédécesseurs.

En fait, cette temporisation pourrait, d'une certaine manière, illustrer la morale de cette fable célèbre : "Rien ne sert de courir, il faut partir à point."

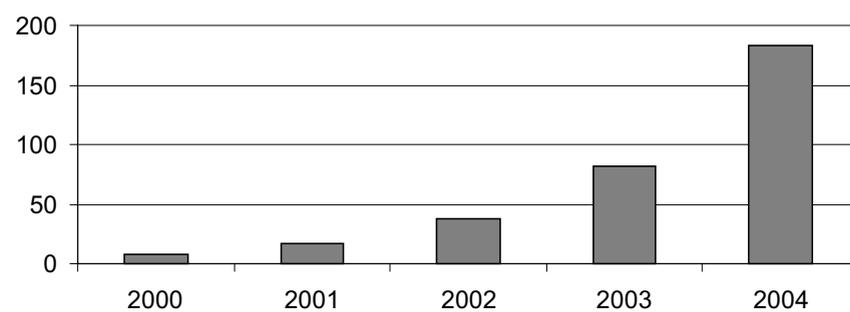
Sources :

- www.accenture.com
- www.logistique.com
- www.geodis.fr
- www.e-logisticien.com
- www.fntr.fr
- www.journaldunet.com

(Source FNTF)

B2C : le marché européen

en milliards de dollars



source : emarketer, 3ème trimestre