

## LA VILLE DURABLE

- **Programmation et conception de la couverture du périphérique Porte de Vanves**
- **Couverture du périphérique :**  
un chantier d'envergure à la Porte de Vanves
- **La tour, le socle et l'aménagement durable,**  
ou «l'épaisseur des tours»
- **La tour Oxygène**  
à Lyon
- **La passerelle Granite**
- **Le «104» :**  
une réhabilitation du bâtiment des Pompes Funèbres à Paris
- **Docks de Paris,**  
cité de la Mode et du Design
- **Collecteurs du boulevard Carnot**  
à Villemomble (93)
- **Approche de la démarche environnementale**  
en aménagement urbain
- **Des immeubles « R+7 » sur carrières et sans pieux**  
à Vitry-sur-Seine
- **Parc de stationnement Tony Garnier** à Lyon

# La ville durable

# éditorial

## Ville durable pour croissance durable

« **L**a France a tous les atouts pour bénéficier d'une croissance durable » affirme le rapport Attali remis au Président de la République fin janvier dernier. La création, d'ici à 2012, de dix villes nouvelles écologiques appelées « Ecopolis » devrait être fortement incitative pour s'engager dans cette voie des écotecnologies.

Les réglementations issues du Grenelle de l'Environnement accélèrent cette tendance. Ces « villes durables » devront intégrer l'emploi, le logement, le cadre de vie et la mixité sociale. Elles serviront de laboratoires grandeur nature pour la mise en œuvre du développement durable à l'échelle de la cité : réduction de la consommation d'eau et d'énergie, tri et recyclage des déchets, développement de la biodiversité, aménagement d'espaces verts et de plans d'eau...



Patrick Bernasconi  
Président de la FNTP

Dans le sillage du Grenelle de l'Environnement et du rapport Attali, les deux grandes fédérations professionnelles de la construction, la FFB et la FNTP, ont mis en place un groupe de travail commun pour favoriser la réalisation d'éco-quartiers : autrement dit, la mise en œuvre, dans les opérations d'aménagement de nouveaux quartiers ou de réaménagement de quartiers existants, de solutions concrètes à forte valeur ajoutée environnementale et de services.

Leurs principaux objectifs :

- Concevoir des solutions constructives innovantes, adaptées tant au parc bâti existant qu'aux bâtiments neufs, conjuguant efficacité énergétique et énergies renouvelables.
- Imaginer les infrastructures favorisant une mobilité à faible contenu carbone.
- Proposer un programme d'actions à moyen terme pour faciliter le développement des éco-quartiers.

Gageons que les efforts engagés par tous les acteurs concernés, notamment les pouvoirs publics, resteront à la hauteur des enjeux, et qu'une même dynamique continuera à animer l'ensemble des partenaires.

# Qu'est-ce qu'une ville durable ?



Alain Thirion  
Président du groupe  
de travail « Ville durable »  
de Syntec-Ingénierie

L'expression de « ville durable » que nous avons employée avec timidité en 2006 est aujourd'hui bien ancrée. Elle apparaît dans les discours des élus et des urbanistes ; elle prend forme au niveau politique en particulier sous l'impulsion du « Grenelle de l'environnement ».

Devant ce concept, nous avons tous un comportement « citoyen ». Mais ce que l'on attend des entreprises de travaux et de l'ingénierie, c'est un comportement « d'acteur » de la construction et des aménagements urbains.

Comment agir pour créer une ville capable d'offrir une qualité de vie qui se maintienne et favorise un développement équitable sur le plan écologique, économique et social ?

Comment concevoir et réaliser une ville durable ?

La ville est la résultante des actions de multiples acteurs publics et privés comme la population, les entreprises, les associations... aussi bien que des professionnels qui la font évoluer tels les services d'équipements, ingénieurs, architectes, entreprises de travaux, aménageurs, promoteurs. Leurs intérêts ne sont pas toujours convergents et ils n'ont pas tous la même responsabilité sur la durée.

Le cloisonnement de tous ces acteurs a de tout temps rendu difficile la synthèse que s'efforcent de réaliser les aménageurs et concepteurs de villes, les ingénieries en particulier. Le consensus qui semble se dégager autour du concept de développement durable devrait favoriser une approche plus transversale entre des domaines trop séparés : bâtiments, infrastructures, systèmes de transport, réseaux.

Syntec-Ingénierie, la Fédération professionnelle de l'ingénierie travaille depuis longtemps sur ce thème.

Le numéro de novembre 2007 de son magazine « *Les Cahiers de l'Ingénierie de Projet* » est consacré à l'ingénierie de la ville.

Par ailleurs des réflexions sont en cours sur la ville durable avec un quadruple objectif :

- apporter des réponses méthodologiques :
  - > quels indicateurs pour mesurer ou comparer deux projets ? On manque d'outils d'évaluation notamment de la « performance durable »,
  - > quelle démarche ?
- apporter des réponses techniques aux nouveaux défis : efficacité énergétique, traitement des déchets, nouvelles formes de transport, etc. ;
- faire émerger le management des projets urbains. Comme tout projet, la ville durable doit être maîtrisée dans sa conception et sa réalisation ;
- valoriser le patrimoine existant et le mettre à niveau.

Une nouvelle approche de l'ingénierie de la ville est à inventer. Pour innover et trouver des solutions optimales au regard du développement durable il sera nécessaire de décloisonner les domaines d'expertise, les secteurs de travaux et les ingénieries.

L'ingénierie française se devait d'être pionnière dans ce domaine. Le travail en cours intègre les avancées internationales dans ce domaine.

Chaque jour des exemples d'éco-quartiers, voire d'éco-villes apparaissent témoignant de la place centrale du phénomène urbain et donc de l'urgence de ce travail.

## Couverture du boulevard Vanves. Programmation

**Le boulevard périphérique est un anneau de 35 km qui délimite Paris de sa banlieue. Il est emprunté chaque jour par 1 100 000 véhicules. Le projet de couverture au niveau de la porte de Vanves, sur une longueur de 410 m, constitue une opportunité pour créer une continuité urbaine, au-delà des objectifs de protection phonique.**

**La création de jardin sur la dalle de couverture s'inscrit dans la logique de constitution de la « ceinture verte » de Paris.**

**La conception de la couverture a été confrontée au contexte géotechnique hétérogène, à l'exiguïté du site, à la nécessité du maintien de la circulation, à l'adaptation des structures existantes et aux impératifs de sécurité...**

### ■ Contexte de l'opération

Le boulevard périphérique (BP) a été construit entre 1957 et 1973 sur les terrains de l'enceinte de Thiers, construite elle-même entre 1841 et 1844, dont l'emprise allait approximativement des boulevards de Maréchaux au BP actuel. Cette voirie urbaine exceptionnelle, de 35 km de longueur, constitue à quelques exceptions près à la fois la limite et la césure entre Paris et sa proche banlieue. Le trafic est considérable : 1 100 000 véhicules l'empruntent chaque jour pour un parcours moyen de 7,50 km, ce qui représente une moyenne journalière de 120 000 véhicules dans chaque direction.

Cet ouvrage est au centre de multiples enjeux et débats, qu'il s'agisse de son rôle structurant pour les déplacements des Franciliens, ou des nuisances qu'il

génère en termes de pollution sonore et atmosphérique. De plus, la coupure physique qu'il représente entre Paris et les communes limitrophes suscite un ressentiment grandissant de la part des riverains.

Dès 1982, la Ville de Paris en liaison avec la DREIF a établi un programme de protections phoniques aux abords de cette infrastructure, qui s'est poursuivi par la mise en œuvre d'écrans antibruit et d'isollements de façades d'immeubles avoisinants entre 1983 et 1994.

Dans le cadre du contrat de plan État - Région Île de France 2000-2006, la Ville de Paris et ses partenaires (État et Région) ont considéré que le principe de « couverture - dalle » constituait une opportunité pour créer une continuité urbaine, au-delà des objectifs de protection phonique, dans les secteurs où le BP est en tranchée.

Dans une première phase, la Ville de Paris n'envisage la couverture du BP que sur les sections en tranchées, celles-ci devant être suffisamment profondes pour éviter un creusement et un reprofilage de la chaussée, ce qui impliquerait de grandes difficultés de réalisation et des investissements extrêmement élevés.

Parmi ces tronçons où la couverture a été considérée possible techniquement et financièrement, certains ont été jugés prioritaires compte tenu :

- de l'environnement immédiat (logements, équipements scolaires...);
  - de l'absence de protections phoniques à la source;
  - de la configuration plus ou moins favorable du site.
- Ainsi les sites retenus dans le cadre du contrat de plan ont été les suivants :
- porte de Vanves au niveau des XIV<sup>e</sup> et XV<sup>e</sup> arrondissements et des communes de Vanves et de Malakoff;
  - porte des Ternes - Porte de Champerret;
  - porte des Lilas.

### ■ Les enjeux

#### Réduction des nuisances sonores

La réalisation d'un ouvrage de couverture constitue la seule réponse véritablement efficace pour la protection des immeubles situés à proximité de l'infrastructure, lorsque celle-ci est en tranchée. Les niveaux actuels dépassent souvent largement 70 décibels, de jour comme de nuit. La mise en œuvre de la couverture du BP permettra de diminuer sensiblement le niveau acoustique : de 3 à 9 dB(A) en moyenne, avec pour certains immeubles des gains supérieurs à 10 dB(A) ramenant ainsi les niveaux en deçà du seuil réglementaire de 65 dB(A), pour la majorité des façades exposées.

Photo 1

Vue du site  
Photo of the site



# périphérique à la Porte de et conception

**Carine Bernède**  
**Éric Passieux**  
Direction de la voirie  
et des déplacements.  
Mairie de Paris

**Michel Moussard**  
**Malik Abada**  
**Karim Zidouh**  
**Dimitri Frank**  
Arcadis ESG

**Frédéric Burton**  
Segic Ingénierie

**Édith Del Din**  
Cabinet Alain Spielmann

## Rétablissement de la continuité urbaine entre Paris et les communes limitrophes

La couverture du BP vise à suturer les quartiers de Paris et des communes limitrophes, en créant un espace de partage se substituant aux espaces de séparation. La dalle de couverture pourra être le lieu privilégié d'implantation de nouveaux espaces publics, accessibles aussi bien aux Parisiens qu'aux riverains des communes limitrophes. Les espaces créés permettront également de réorganiser le partage de l'espace public et de créer des continuités transversales de qualité pour les modes doux de déplacement. Le programme s'inscrit dans la logique de renforcement ou de constitution de la « ceinture verte » de Paris, qui dans certains secteurs est absente.

## Requalification urbaine et dynamisation des quartiers concernés

La réalisation de ces ouvrages incite naturellement à une réflexion d'ensemble sur les quartiers avoisinants pour y améliorer le cadre de vie : restructuration des seuils de communes, intégration des circulations douces, réaménagement qualitatif des voies en renforçant la composante végétale. Les opérations de couverture du périphérique constituent un outil, au plan local, de

développement et de renouvellement urbain cohérents, solidaires et durables.

## Le site de la porte de Vanves avant les travaux

Le projet s'étend d'ouest en est de la porte Brancion à une cinquantaine de mètres au-delà de la porte de Vanves (photo 1). Ce tronçon du BP comprenait trois ouvrages existant : l'ouvrage Brancion, d'une largeur de 100 m, le pont de la rue Julia Bartet, de 20 m de large, et le pont de l'avenue de la Porte de Vanves, de 40 m de large. Le linéaire total étant de 410 m, il restait à couvrir ainsi 260 m, en trois tronçons de :

- 100 m de l'ouvrage Brancion au pont de la rue Julia Bartet;
- 120 m du pont de la rue Julia Bartet au pont de l'avenue de la porte de Vanves;
- 40 m au-delà du pont de l'avenue de la porte de Vanves.

Sur ce tronçon le BP est exploité en 2 x 3 voies de 3,5 m de large, séparées par un TPC de 2 m de large environ. On y rencontre deux bretelles d'entrée côté extérieur, au niveau de la porte Brancion puis au niveau de la porte de Vanves, et deux bretelles de sortie côté intérieur, débouchant respectivement sur l'avenue de la porte de Vanves et la rue Julia Bartet (figure 1).

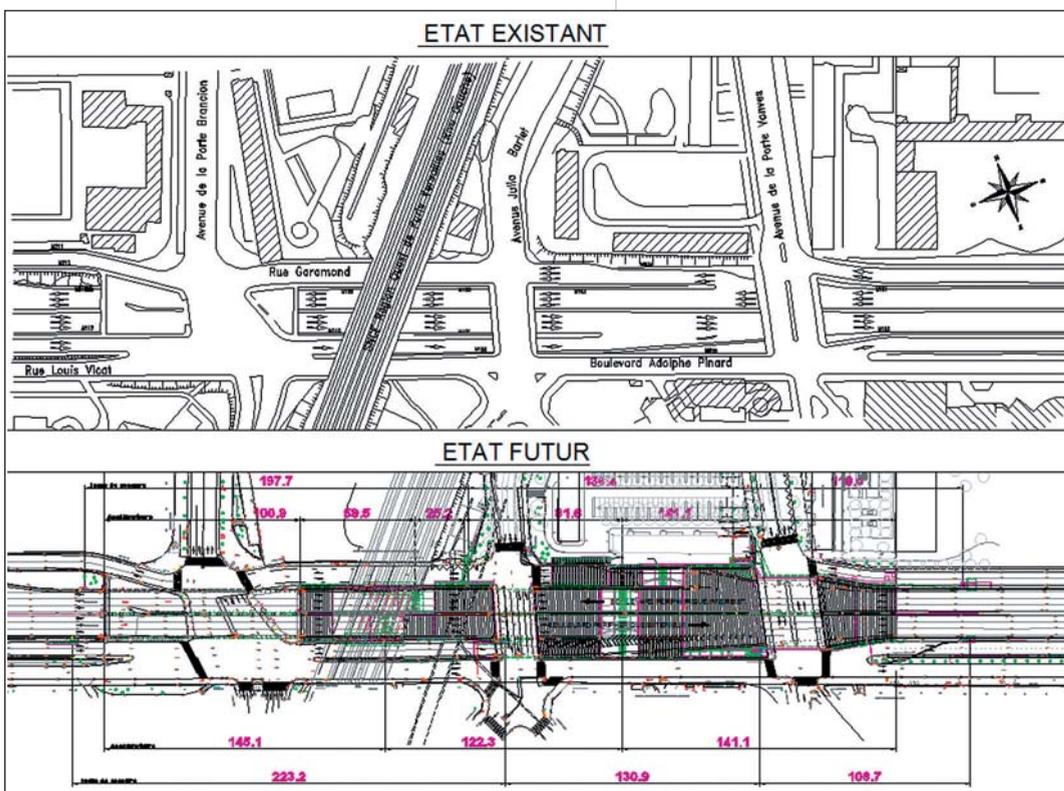


Figure 1  
Vue en plan du site avant et après travaux  
Plan view of the site before and after the works

## Couverture du boulevard périphérique à la Porte de Vanves. Programmation et conception

L'infrastructure, en tranchée, est bordée par des murs-poids de soutènement en béton fondés superficiellement ou sur puits (figure 2).

Du fait de sa longueur supérieure à 300 m l'ouvrage est considéré comme un tunnel au sens de la circulaire interministérielle du 25 août 2000, ce qui a d'importantes conséquences sur la conception de l'ouvrage et de ses équipements.

Des voiries et réseaux importants croisent le BP dans ce secteur :

- au-dessus de l'ouvrage Brançon un viaduc ferroviaire porte les voies TGV et TER issues de la gare Montparnasse et allant vers Versailles (figure 3);
- la ligne 13 du métro passe à environ 3 m de profondeur sous la chaussée entre l'ouvrage Brançon et le pont de la rue Julia Bartet;
- un ovoïde est implanté dans l'axe de la chaussée du boulevard intérieur. Il collecte, grâce à une multitude de ramifications, l'ensemble des eaux de ruissellement de la chaussée du BP entre l'ouvrage de la porte de Vanves et la station de relevage Brancion, ainsi que les bretelles d'accès et de sortie de la porte de Vanves.

Aux abords se situent :

- côté Paris, des immeubles de 6 à 10 étages gérés par des bailleurs sociaux, la RIVP et l'OPAC (675 logements sont directement exposés aux nuisances sonores), et deux squares; en limite de la zone couverte, le lycée François Villon;
- côté Malakoff, un hôtel, l'immeuble de l'INSEE et un gymnase au droit de la limite de la couverture;
- côté Vanves, un hôtel.

L'ensemble des contraintes de topographie, d'environnement et d'exploitation du BP ont fait de ce projet un véritable défi pour tous les acteurs, maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprises.

### ■ Conception de la couverture

À l'issue d'un appel d'offres ouvert, la conception de la couverture a été confiée à un groupement de maîtrise d'œuvre constitué entre :

- Arcadis, mandataire, chargé du génie civil;
- Segic Ingénierie, chargé des équipements;
- Alain Spielmann, architecte.

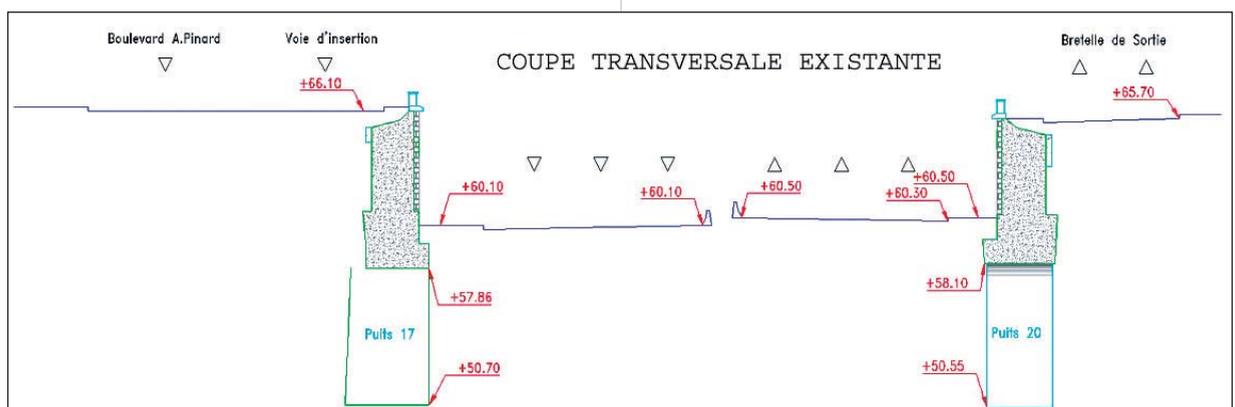
Le programme et les objectifs étaient clairs : créer une couverture complète du boulevard périphérique sur 410 m de longueur, en lui donnant la capacité de recevoir des équipements publics (espaces verts, aire de jeux, petits bâtiments à usages collectifs) sans modifier la géométrie des chaussées du BP ni des ouvrages adjacents, et en maintenant le trafic pendant la durée des travaux, tout en respectant des contraintes sévères d'exploitation.

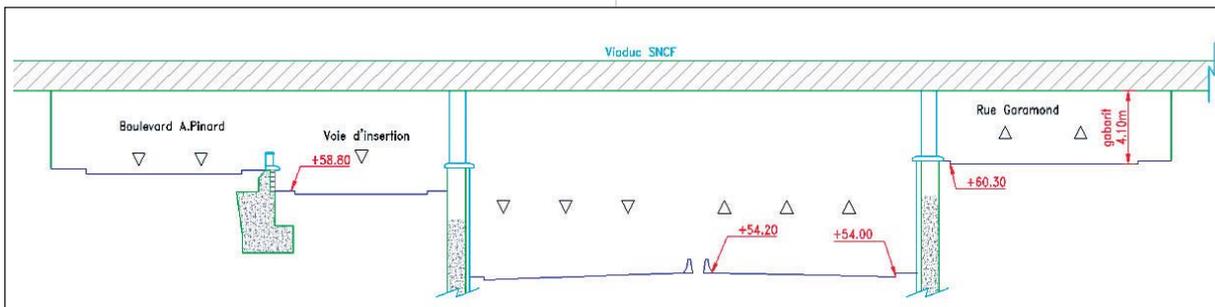
Les éléments déterminants au regard de la conception sont les suivants :

- la longueur de la couverture : excédant 300 m, l'ouvrage est considéré comme un tunnel routier, et doit être conforme aux règles définies par la circulaire ministérielle du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national, qui impose la mise en place d'une ventilation mécanique dont les objectifs sont le désenfumage en cas d'incendie et la dilution des polluants (gaz et poussières) en service normal, ainsi que des issues de secours est des garages pour les véhicules de secours;
- la présence de la ligne 13 du métro qui traverse le BP en biais, avec une couverture de l'ordre de 9 m, à l'ouest de l'avenue Julia Bartet, parallèlement à la voie RFF Paris-Versailles;
- le raccordement à niveau aux voies existantes, pour assurer la continuité des aménagements urbains;
- la réutilisation des murs latéraux existants;

Figure 2

Coupe transversale sur BP  
Cross section on ring road





**Figure 3**  
Coupe transversale au droit  
des piles RFF  
Cross section at the level  
of the railway piers

- la prise en compte des charges et des sujétions liées aux aménagements de surface;
- la prise en compte d'une possibilité d'extension de la couverture vers l'est;
- l'intégration au projet de l'ensemble des équipements liés à l'exploitation : signalisation, éclairage, sécurité (en particulier vis-à-vis des risques d'incendie);
- l'implantation d'un local technique à proximité de la couverture;
- le contexte géologique et géotechnique. La stratigraphie au droit du projet de couverture se décompose comme suit, à partir d'un site à l'altimétrie très variable (chaussée du périphérique entre les cotes 54 et 62 NGF orthométriques et voies supérieures latérales entre les cotes 61 et 66 NGF) :
  - > des remblais superficiels d'épaisseur extrêmement variable (de 0 à plus de 10 m), eu égard à la présence locale d'anciennes exploitations à ciel ouvert de la formation du calcaire grossier, aujourd'hui remblayées,
  - > le marno-calcaire du Lutétien qui a fait l'objet d'exploitations par carrières souterraines à l'ouest du pont de la porte de Vanves, lesquelles ont semble-t-il été correctement injectées au moyen de coulis d'injection,
  - > les argiles du Sparnacien à partir des cotes 40 à 42 NGF.

Les quatre grandes composantes suivantes ont été menées en parallèle pour tenir compte des fortes interactions entre l'architecture, le génie civil et les équipements :

- l'étude et le choix de la ventilation;
- la conception structurelle de la couverture et de ses appuis;
- l'étude des équipements de signalisation et sécurité;
- la conception architecturale.

### Étude et choix du système de désenfumage et ventilation sanitaire

Les chaussées extérieure et intérieure du boulevard périphérique ainsi couvertes deviennent des tunnels au sens de la législation en vigueur (circulaire intermi-

nistérielle du 25 août 2000 applicable au réseau routier national de l'État mais que le maître d'ouvrage a décidé d'appliquer). Ceci impose en particulier la création de deux tubes séparés pour permettre l'extraction de l'air vicié.

L'étude d'avant-projet de la ventilation a conduit à comparer une ventilation longitudinale et une ventilation transversale :

- la ventilation de type transversal ne peut être réalisée en raison des murs de soutènement qui bordent la chaussée du boulevard périphérique et des gabarits sous ouvrages existants qui ne libèrent pas l'espace nécessaire à l'implantation des gaines de ventilation latérales et transversales;
- la ventilation longitudinale est la plus apte à répondre aux besoins, s'agissant d'une couverture de longueur modérée.

La ventilation longitudinale nécessite la mise en place d'accélérateurs de façon à créer une ventilation sanitaire pour les usagers pendant les heures de la journée où le trafic est congestionné. Comme le boulevard périphérique est bordé de murs, les accélérateurs nécessaires au mouvement de l'air ne peuvent être installés qu'en plafond dans des bossages (deux par sens de circulation) qui créent une cassure sur la ligne de couverture et à l'intérieur desquels sont disposés cinq accélérateurs.

Les bretelles d'entrée sur le BPE et de sortie sur le BPI comportent également un bossage muni de quatre, voire cinq accélérateurs chacun. Tous les accélérateurs sont réversibles.

Les principales conséquences de ce choix de mode de ventilation sont donc :

- la création de bossages pour les ventilateurs;
- la réalisation d'un voile anti-recyclage, évitant le passage des fumées d'un tube à l'autre, implanté dans le terre-plein central à chaque tête de la couverture;
- une dégradation ponctuelle de la qualité de l'air en sortie de tunnel.

### Traitement de l'air vicié

Une étude spécifique a été réalisée pour analyser les possibilités de traitement de l'air vicié en sortie de tunnel.

### LES PRINCIPALES ÉTAPES DU PROJET

- Études de conception :
  - > AVP : octobre 2002 à mai 2003
  - > PRO : novembre 2003 à mai 2004
- Présentation dossier de sécurité (au niveau AVP) au Comité d'évaluation de la sécurité des tunnels routiers (CESTR) : février 2004
- Enquête publique : mai - juin 2004
- Réalisation des travaux préliminaires de dévoiement des réseaux : septembre 2005 à mars 2006
- Réalisation des travaux principaux : juin 2006 à janvier 2008
- Présentation du dossier de sécurité définitif à la Commission nationale d'évaluation de la sécurité des ouvrages routiers (CNESOR) : novembre 2007
- Autorisation de mise en service de l'ouvrage : février 2008

Couverture du boulevard périphérique à la Porte de Vanves.  
Programmation et conception

Figure 4  
Poutre en T renversé et dalle de compression  
*Inverted T-beam and compression slab*

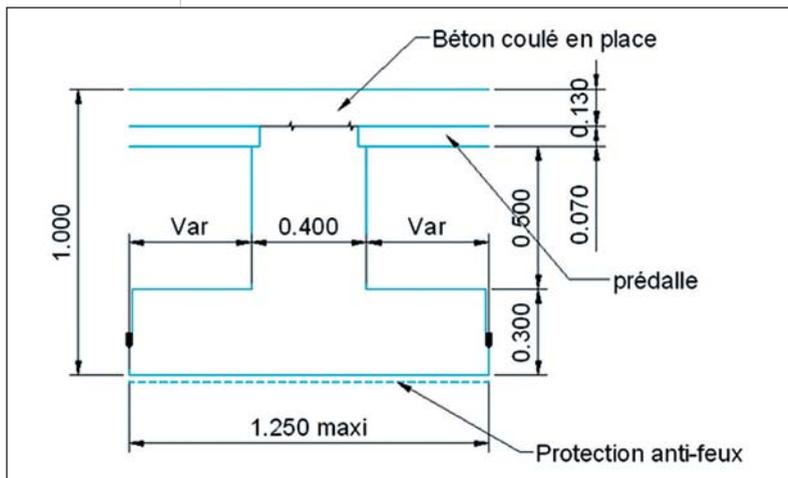


Figure 5  
Poutre en béton précontraint  
*Prestressed concrete beam*



Figure 6  
Poutre en béton armé  
*Reinforced concrete beam*

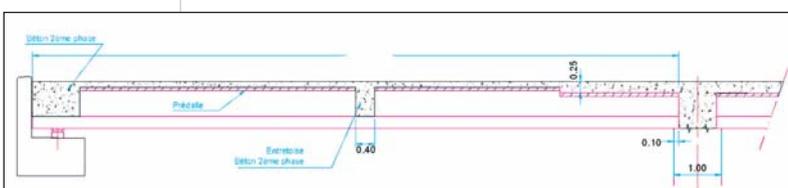
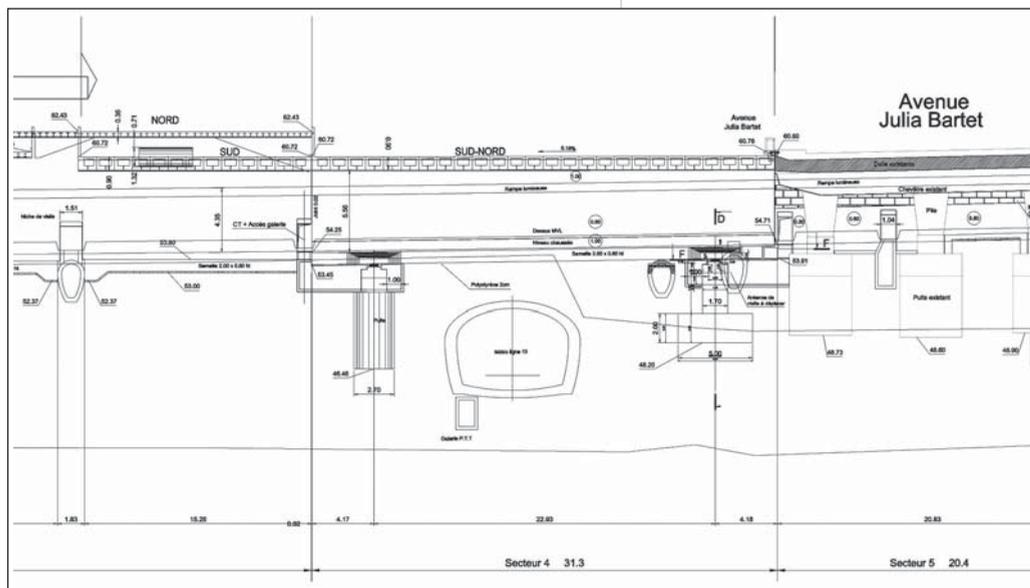


Figure 7  
Pontage du métro au droit du voile central  
*Underground railway bridging at the central shear wall level*



Il est apparu qu'il n'existait pas de possibilité de traiter les polluants gazeux (notamment les NO<sub>x</sub>). Inversement concernant le traitement des poussières, des installations industrielles similaires ont été réalisées à l'étranger (au Japon notamment) mais pour des tunnels routiers de longueurs bien supérieures à celle de celui de la porte de Vanves. Le coût et l'encombrement (silos de 20 m de diamètre et de 20 m de hauteur!) de telles installations sont très élevés, pour un rendement très modeste, et qui ira en diminuant au fur et à mesure des mises en application successives des normes européennes relatives à la motorisation des véhicules. Enfin, les résidus eux-mêmes qui sont alors récupérés dans des boues nécessitent un traitement spécifique qui s'avère là encore complexe et consommateur d'énergie. Il n'est donc pas apparu opportun de retenir un tel système pour un tunnel de cette longueur.

Une étude de dispersion des polluants dans l'atmosphère a été réalisée pour estimer l'impact sur l'environnement. Cette étude a fait apparaître que les concentrations de pollution diminuaient partout sauf aux extrémités de la couverture, mais que la dilution des gaz viciés s'opérait relativement rapidement et que les concentrations n'augmentaient sensiblement qu'au droit des chaussées du périphérique (dans la tranchée découverte), et peu au niveau des abords.

**Conception structurelle de la dalle de couverture et de ses appuis**

La dalle de couverture doit être conçue pour supporter des charges élevées (jusqu'à 1,50 m de terre en plus des charges d'exploitation), avec une épaisseur de structure réduite au maximum afin de faciliter son raccordement

aux ouvrages et voies latéraux; sa sous-face et sa surface doivent être aussi planes et régulières que possible, pour faciliter l'écoulement de l'air et pour permettre une bonne mise en œuvre de l'étanchéité ainsi qu'un drainage simple et efficace.

La réponse simple et immédiate à ces exigences est une dalle pleine en béton, armé ou précontraint suivant les portées; toutefois cette solution, du fait de son poids élevé, est incompatible avec la capacité des appuis latéraux existants, à l'exception des zones situées au-dessus des niches recevant les ventilateurs, pour lesquelles elle s'impose en raison de la complexité des formes.

Par ailleurs, le maintien de la circulation pendant la réalisation de l'ouvrage conduit à utiliser une méthode de construction basée sur l'emploi de poutres préfabriquées.

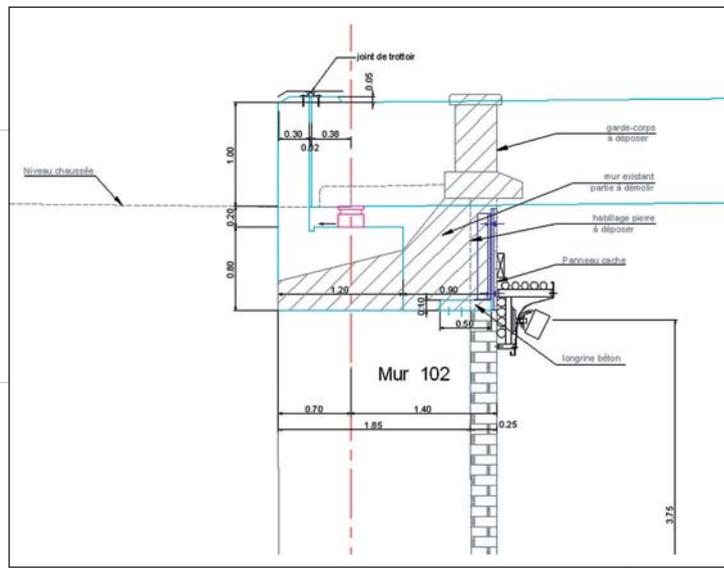
Après avoir passé en revue les différents types de poutres actuellement disponibles, nous avons retenu une solution basée sur l'utilisation de poutres en T renversé jointives, complétées par une dalle de compression coulée en place, qui répond à tous les critères énoncés ci-dessus dans les meilleures conditions économiques : continuité et planéité de l'intrados et de l'extrados. On obtient ainsi une dalle « caissonnée » qui prend appui au centre, sur le piédroit de séparation des deux tubes et latéralement sur les murs existants (figures 4, 5 et 6). Le piédroit central est un voile en béton armé, coulé en place puis recouvert par des panneaux préfabriqués dont la face extérieure est polie, pour en garantir l'aspect et en faciliter la maintenance.

Suivant la nature du sous-sol, ce piédroit est fondé soit sur des semelles superficielles soit sur des pieux. Au droit de la ligne 13 du métro, il se transforme en poutre voile pour franchir cet obstacle, en prenant appui de part et d'autre sur des puits (figure 7).

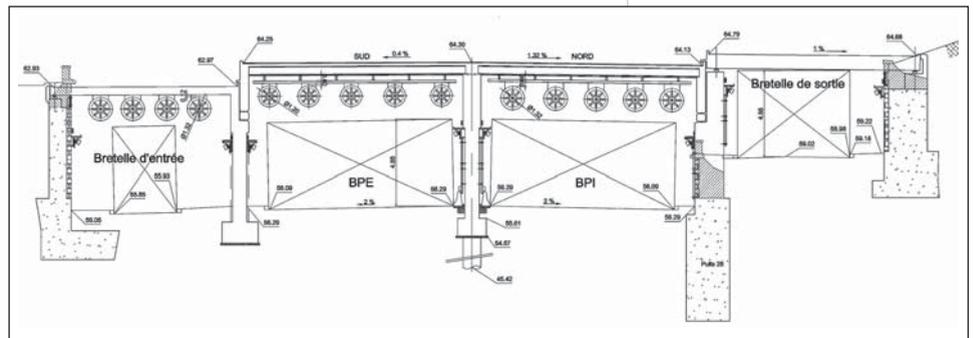
Les murs latéraux sont des murs poids, en béton armé ou non-armé, fondés sur des semelles superficielles ou sur des puits, ou une combinaison des deux. Pour permettre l'appui de la couverture, ils sont systématiquement arasés et un couronnement en béton armé est reconstitué (figures 8 et 9). Pour ne pas remettre en cause leur intégrité ni leur stabilité, la charge apportée par la couverture est systématiquement excentrée vers l'arrière. Compte tenu de cette disposition, les murs restent stables et les contraintes sur le sol admissibles.

Le franchissement de la ligne métro au droit du mur existant Bartet nord a nécessité la réalisation d'un portique en lieu et place de ce dernier. Le portique est constitué d'une poutre de pontage prenant appui sur des poteaux fondés sur puits dont l'implantation est contrainte par la proximité des fondations de la culée Bartet et le biais du tube RATP (figures 10 et 11).

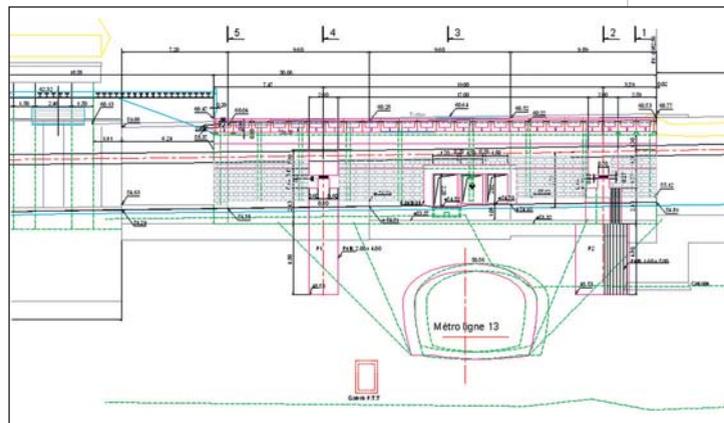
Le franchissement de la ligne métro au droit du mur



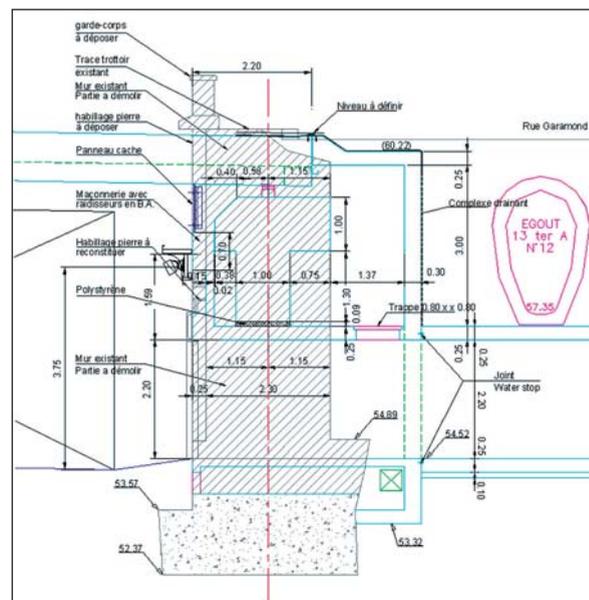
**Figure 8**  
Coupe type sur mur poids  
Typical section on gravity wall



**Figure 9**  
Coupe transversale de la couverture du BP et des bretelles  
Cross section of ring-road covering and slip roads



**Figure 10**  
Portique de pontage du métro au droit du mur existant  
Underground railway bridging portal at the level of the existing wall



**Figure 11**  
Coupe transversale du pontage  
Bridging cross section

Couverture du boulevard périphérique à la Porte de Vanves.  
 Programmation et conception

Figure 12  
 Poutre voile de pontage  
 Bridging wall beam

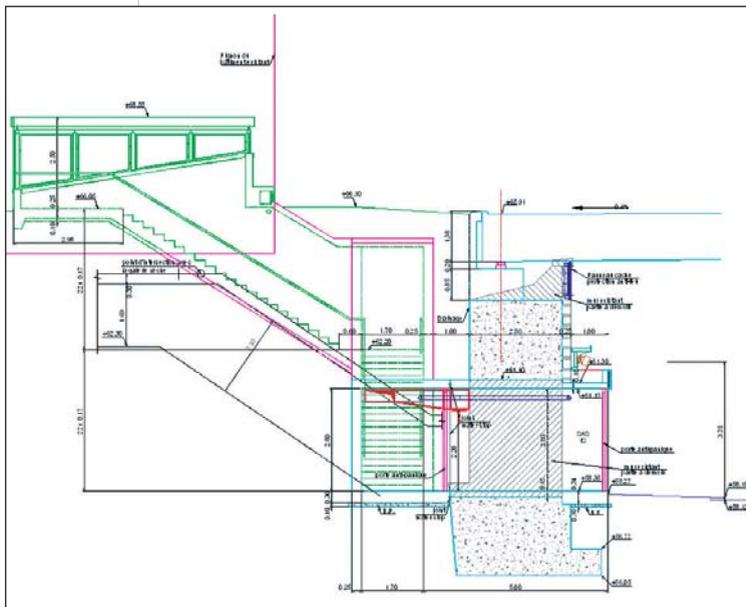
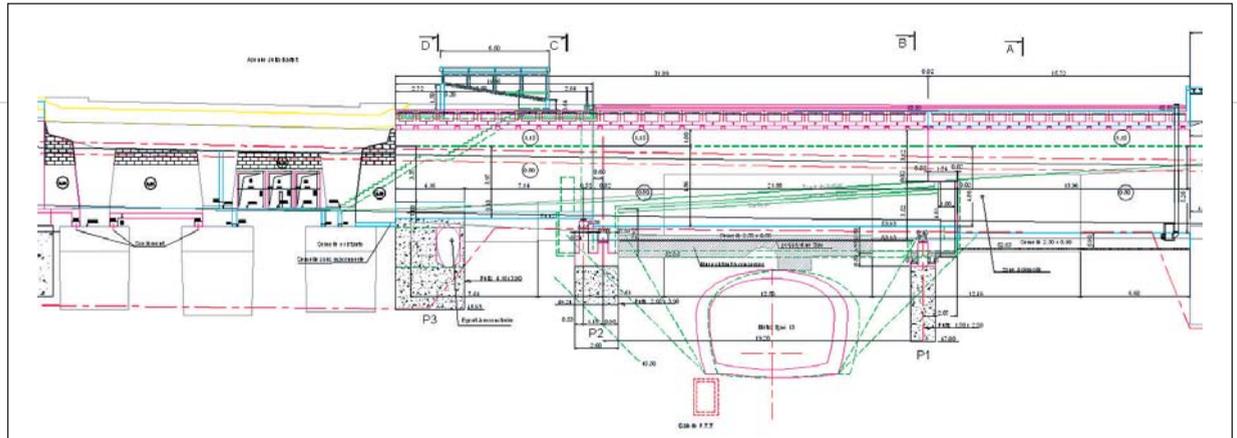
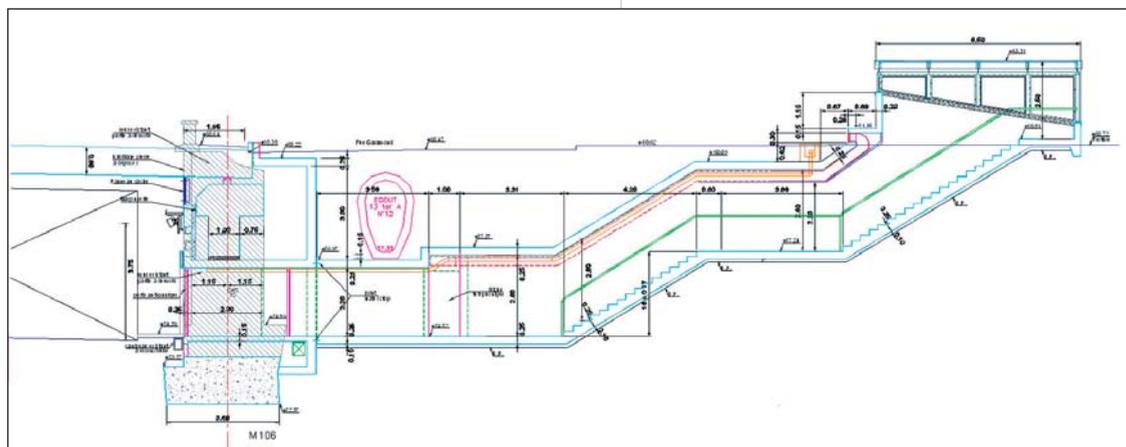


Figure 13  
 Issue de secours Vanves Nord  
 Vanves Nord emergency exit

Figure 14  
 Issue de secours Bartet Nord  
 Bartet Nord emergency exit



existant Bartet sud a nécessité la dépose totale de ce dernier le long de la bretelle d'accès. Un voile neuf assure le pontage. Son doublement en extrémité permet de loger l'escalier de l'issue de secours (figure 12).

Les issues de secours nord ont la particularité d'être implantées dans les remblais techniques des murs correspondants. Les accès BP se font depuis des ouvertures exécutées dans le béton des murs.

Elles sont constituées d'un cadre en béton armé dont l'épaisseur est comprise entre 0,25 et 0,30 m.

Le sas de sécurité est ventilé. La prise d'air se fait au niveau de l'édicule par un aménagement du soubassement (figure 13).

L'issue de secours Bartet nord est réalisée en deux parties (figure 14) :

- à ciel ouvert, à l'abri d'un blindage, au nord de l'ovoïde;
- en travaux souterrains pour la partie sud pour s'affranchir du passage sous l'ovoïde.

Les niches sont aménagées dans l'épaisseur du mur.

La fermeture définitive de la bretelle sortie Vanves sur le BPI a permis l'enfouissement du local technique (figures 15 et 16) dans les remblais contigus au mur 101 de la bretelle dont les dimensions sont les suivantes :

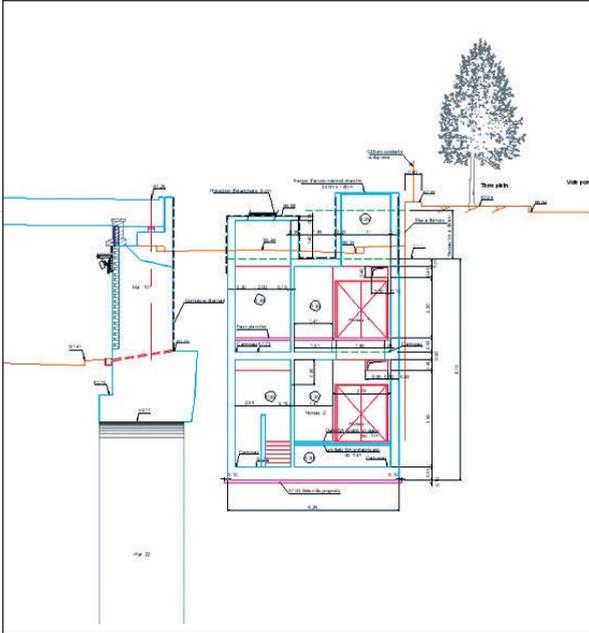


Figure 15

Coupe transversale du local technique

Cross section of equipment room

- longueur : 31,34 m;
- hauteur : 8,10 m;
- largeur : entre 6,26 m et 6,70 m.

L'implantation du local en plan a été contrainte par la présence :

- à l'ouest, du front de calcaire à proximité de l'ouvrage Vanves;
- au sud, de la semelle du mur 101;
- au nord, du mur de soutènement du lycée.

### Études des équipements

Les « options guides » permettant de définir les mesures de prévention et de sauvegarde et de dimensionner les équipements prévus pour assurer la sécurité des usagers durant l'exploitation de l'ouvrage ont été définies à l'examen des contraintes de génie civil, des études de trafic et de la définition des risques majeurs et de leurs conséquences.

Les contraintes principales du génie civil ont été exposées plus haut. Il s'y ajoute la géométrie des chaussées du boulevard périphérique : absence de bande d'arrêt d'urgence sur la totalité de l'itinéraire et trottoirs de largeur limitée.

Les données de trafic affichent :

- des moyennes horaires de l'ordre de 9 000 véhicules pour les deux sens de circulation, pouvant atteindre 12 000 véhicules aux heures de pointe;
- des moyennes journalières d'environ 200 000 véhicules pour les deux sens de circulation;
- un pourcentage de poids lourds de 10 %;
- l'interdiction à la circulation des transports de matières dangereuses;
- un état fréquemment congestionné.

Il s'agit donc d'un trafic très important, en regard duquel les contraintes d'exploitation sont fortes et influent sur la quantité et le dimensionnement des différents équipements d'exploitation et de sécurité.

Les risques majeurs, dont la gravité peut être augmentée avec la couverture des chaussées, sont :

- un feu important, aggravé par une circulation congestionnée;
- un accident provoquant des dégâts matériels importants avec des blessés, potentiellement aggravé par un suraccident dû à un brutal ralentissement de la vitesse du trafic.

Ainsi, pour diminuer les risques et les conséquences dues à la nature spécifique de l'ouvrage couvert, de nombreuses réflexions ont été menées concernant :

- les délais d'accès de secours et d'évacuation des usagers;
- les performances, la fiabilité, et l'aspect modulaire du système de désenfumage;
- la limitation des dégâts dans l'ouvrage, pouvant entraîner une perte d'exploitation (incendie);
- la visibilité des usagers et leur guidage dans des conditions optimales à l'intérieur de la section couverte;
- la surveillance permanente de l'ouvrage par les services d'exploitation.

### Dispositions vis-à-vis de la sécurité des usagers et de l'accès des secours

Les dispositions de génie civil prises pour remédier partiellement à l'absence de bande d'arrêt d'urgence et à la largeur limitée des trottoirs consistent à réduire les interdistances entre les communications directes avec l'extérieur (issues de secours) à moins de 200 m, de même que pour les passages piétons intertubes à l'usage des services de secours.

Les aménagements pour l'évacuation et la protection des usagers et l'accès des secours est assurée par les issues de secours : deux issues par sens de circulation accessibles aux usagers, aux handicapés et aux services de secours.

Les aménagements destinés aux véhicules de secours sont les suivants :

- une aire de stationnement en aval de chaque tube;
- interruptions du terre-plein central à l'est et à l'ouest, au-delà des murs anti-recyclage des fumées;

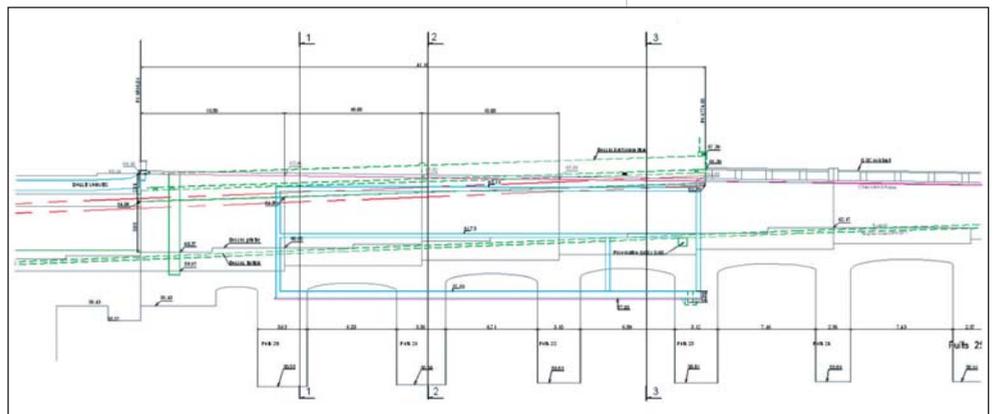


Figure 16

Coupe longitudinale du local technique

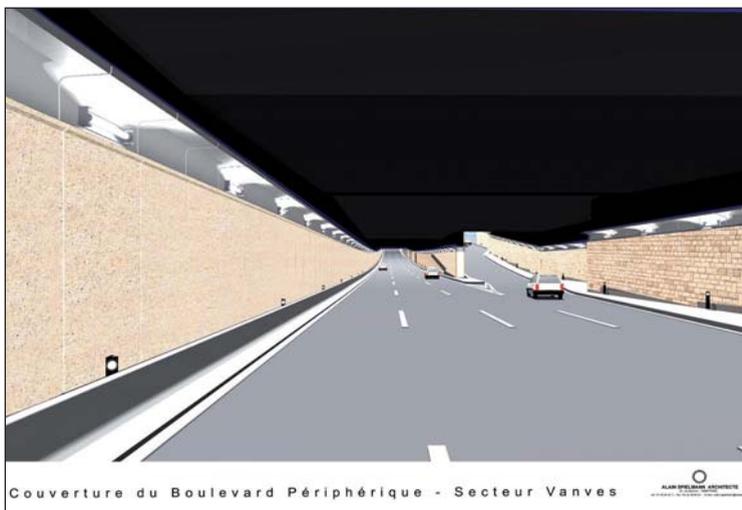
Longitudinal section of equipment room

## Couverture du boulevard périphérique à la Porte de Vanves. Programmation et conception

Figure 17

Image du traitement architectural du BPI et de la bretelle de sortie Brançon

Picture of architectural treatment of ring road on Paris side and Brançon exit slip road



Couverture du Boulevard Périphérique - Secteur Vanves

- anneaux d'ancrage sur les parois de la couverture, en quinconce, tous les 25 m pour assurer le tirage des véhicules accidentés.

En outre, des niches de sécurité et des niches incendie sont prévues, au nombre de quatre chacune par sens de circulation. Les niches de sécurité sont équipées d'un poste d'appel d'urgence, d'un jeu d'extincteurs, d'un coffret de prises électriques et sont munies de portes vitrées; elles bénéficient d'un abaissement de la bordure du trottoir pour faciliter l'accès aux personnes à mobilité réduite.

Les niches incendie sont équipées d'une colonne sèche provenant des voiries de surface, l'accès principal de secours se faisant depuis les issues de secours qui servent aussi de puits d'accès au secours.

Des bouches d'incendie ont par contre été prévues au niveau des chaussées du périphérique aux deux têtes de tunnel. Les niches de sécurité, d'incendie et les issues de secours sont signalées par un pictogramme lumineux spécifique; les issues de secours sont équipées de feux à éclats fonctionnant en cas d'incident.

### Limitation des dégâts dans l'ouvrage en cas d'incendie

Compte tenu de l'importance stratégique du boulevard périphérique pour la circulation en région parisienne et des difficultés qu'entraînerait sa fermeture provisoire pour des travaux de réhabilitation suite à un incendie, il a été décidé de fixer le niveau de stabilité vis-à-vis du feu de l'ensemble de la dalle à N2 au minimum, en maintenant du N3 pour les zones supportant des bâtiments.

La protection de l'intrados de la couverture a été réalisée au moyen de plaques de béton léger armé de fibres de verre.

Les matériels et équipements sont également résistants au feu, pour une durée de deux heures : ventilateurs, éclairage, câblages d'alimentation et de contrôle-commande associés, plots de jalonnement, portes des accès intertubes et des issues de secours...

### Éclairage et signalisation

Le niveau de qualité de l'éclairage projeté répond aux prescriptions du dossier pilote des tunnels. Pour des raisons de gabarit liées aux ouvrages existants, le mode d'éclairage à contre-flux n'a pas été retenu. C'est le mode symétrique qui a été installé ici.

Les sources lumineuses (appareils simples ou bi-sources) retenues pour équiper les appareils sont le sodium haute pression clair SHP pour les performances de luminance et de rendu des couleurs, implantés tous les 7 m environ.

Le guidage des usagers est assuré par des équipements de signalisation statique conformes à la réglementation (marquage et signalisation directionnelle) et dynamique (PMV et PMF, feux R24...) traditionnels ou adaptés aux contraintes de génie civil.

Enfin, compte tenu du retour d'expérience, il sera étudié l'opportunité de renforcer les dispositifs de fermeture du tunnel en complément de la signalisation dynamique, par des barrières équipées de dispositifs lumineux (feux R2) aux entrées de la couverture.

### Surveillance de l'ouvrage

L'ouvrage, surveillé en permanence – niveau D4 de surveillance – depuis le poste d'exploitation générale du boulevard périphérique (PC Berliet), est muni :

- d'un réseau d'appel d'urgence, sur une boucle locale sécurisée propre à l'ouvrage de couverture;
- d'un recueil automatique de données de trafic;
- d'une couverture complète du tunnel par caméras de vidéosurveillance;
- d'une détection automatique d'incident par un système vidéo spécifique.

### ■ La conception architecturale (figure 17)

Nous intervenons sur une infrastructure de boulevard à ciel ouvert, avec une histoire, des matériaux, une identité propre. Le rappel à l'Histoire, qui nous ramène à l'édification du mur d'enceinte à la limite des faubourgs en 1845 incite à conserver les parements de pierres.

Passer de cette situation à celle plus confinée de tunnel invite à créer une ambiance particulière.

Les chaussées actuelles sont en déblais et dégagent la hauteur de gabarit nécessaire de 4,85 m par rapport au terrain naturel, pratiquement sur toute la longueur des 410 m qui nous intéressent ici.

Les murs de trémie et de soutènement des bretelles, d'une architecture simple et robuste, ont un parement de pierres calcaire en pleine masse (20 x 30 x 50 cm), en appareillage de lits horizontaux et verticaux. Les pierres sont de bonne qualité, un nettoyage leur a

rendu leur clarté pour être partie intégrante du projet nouveau.

Les culées du pont de l'avenue de la porte de Brançon, recouvertes initialement de petits carreaux de faïence ont été dissimulées sous des matériaux neufs, des plaques de béton poli monolithique de 1,40 m de large par 3,00 m de hauteur et 140 mm d'épaisseur.

C'est avant tout l'aménagement de deux tunnels et de leurs émergences qui doit être traité. C'est donc sur une architecture de parement que la réflexion est menée.

Les murs latéraux, en pierres, trouvent leur place dans ce nouvel aménagement tant que des impératifs structurels pour la construction de la couverture ne nous obligent pas à réduire leurs surfaces.

Les murs neufs, comme le voile central, sont définis par un matériau nouveau que l'on a voulu accrocheur de lumière et facilement lavable, le béton poli. Sa couleur et sa texture sont inspirées par sa cohabitation avec la pierre. Une teinte « ton pierre » à base de ciment blanc avec des agrégats dans des couleurs beiges rehaussées d'une pointe de petits granulés plus foncés, donne le ton pour créer une ambiance douce, claire et lumineuse dans les tunnels.

À partir de ces choix de matériaux et de couleurs se dessine la physionomie des tubes.

La chaussée a un galbe de cuvette avec un point bas au niveau de la porte Brançon. Ce galbe est reconduit à une hauteur constante de 4,50 m sur le haut des murs, neufs ou existants, par une corniche de lumière qui arrête net le regard de l'automobiliste. Cet effet est renforcé par une couleur noire en plafond ainsi que sur les retombées des murs latéraux, gommant les accidents de la couverture dus aux niches des ventilateurs.

#### **La corniche de lumière**

La corniche de lumière suit le galbe de la chaussée. Ce galbe est reconduit sur les murs, neufs ou existants. Son allure de ruban que l'on déroule a 4,00 m ou 3,75 m de hauteur, suivant qu'il équipe les murs latéraux ou le TPC. C'est cette corniche de lumière en forme d'équerre adoucie qui arrête net le regard de l'automobiliste sur ce qui est volontairement mis en lumière.

#### **Issues de secours, niche de sécurité, niche incendie**

Les issues de secours, niche de sécurité et niche incendie, creusées dans les murs de pierres ou de béton poli, font l'objet d'un traitement particulier pour permettre de les identifier clairement en toutes circonstances, et notamment en exploitation normale (hors accident ou incendie). Elles sont attachées au projet par la recon-



Photo 2

Photo de la tête de sortie de la bretelle Brançon BPI

Photo of the exit portal on the Brançon slip road, ring road on Paris side

duction de matériaux déjà choisis par ailleurs; des capots de béton de fibre de verre moulés marqués par un encadrement lumineux de fibre optique bleue et verte.

#### **Le voile central**

Séparant les deux tubes, il se prolonge d'une cinquantaine de mètres vers l'extérieur, de part et d'autre de la couverture. Le rôle de cette extension est d'éviter le « recyclage » de l'air d'un tube vers l'autre, et de réduire les nuisances sonores.

De ce fait ces excroissances sont traitées en surfaces absorbantes du bruit. En écho au langage architectural intérieur, ce sont des caissons conçus avec un complexe absorbant dont la façade perforée est en BFHUP (béton fibre à ultra-haute performance), qui sont appliqués contre le voile anti-recyclage. Leur aspect lisse, teinté dans un ton de pierre, répond parfaitement au béton poli. Un large couronnement de dalle de béton gris coiffe ce mur et ses caissons latéraux et redescend en pointe jusqu'à la glissière de sécurité.

#### **Les émergences (photo 2)**

Les têtes de la couverture sont le lien direct entre l'intérieur et l'extérieur de la couverture, prémices de l'ambiance intérieure, et limitent les emprises d'ouvrages.

Les bretelles d'accès et de sorties sont traitées dans le même esprit relationnel de l'intérieur vers l'extérieur. Une bande de béton poli de hauteur variable, car adaptée à la hauteur de la structure à couvrir, plaquée sur le fronton des têtes, surmontée d'un garde-corps au thème végétal délimite les accès.

Sur les frontons de Vanves, et des deux bretelles d'accès et de sortie, les garde-corps sont calés par des colonnes de béton poli de la hauteur du garde-corps.

La couleur du béton poli est toujours celle de la pierre, définie en même temps que celle des panneaux d'habillage intérieurs.

Les garde-corps, composés de plats soudés, sont en métal galvanisé peint en vert. Des plaquettes de terre cuite vernissée finissent l'habillage de la longrine de scellement.

#### **LES PRINCIPALES QUANTITÉS**

- 29 mois de travaux dont 20 mois pour la couverture
- Près de 10000 m<sup>2</sup> de surface couverte
- 58,4 millions d'euros TTC (coût d'investissement)
- 82 pieux de diamètre 800 à 1200 mm - Longueur 865 ml - Profondeur moyenne : 12 à 15 ml
- 35000 m<sup>3</sup> de déblais
- 7200 m<sup>3</sup> de remblais
- 10400 m<sup>2</sup> de couverture de 80 cm d'épaisseur
- 385 poutres en béton armé
- Nombre de ventilateurs : 29 unités
- 220000 heures de travail
- En moyenne, 50 à 70 personnes sur le chantier

## Couverture du boulevard périphérique à la Porte de Vanves. Programmation et conception

► Les sorties de secours émergent en surface en quatre points : deux au niveau de la porte de Vanves, une à l'angle de la rue Julia Bartet et de l'avenue Garamond et la dernière sur la couverture à l'angle de la rue Julia Bartet et du boulevard Adolphe Pinard. Elles sont toutes directement rattachées aux tubes du boulevard périphérique.

D'une géométrie cubique de 2,10 m de large par 6,50 m sur 2,50 m de haut, moitié voile béton, moitié structure métallique et tissage de métal coiffée d'un verre acrylique translucide blanc, ces édicules sont ventilés et laissent la lumière zénithale atteindre les escaliers inférieurs.

Un jeu de lumière or ou bleu peut s'alterner pour animer un jour de fête, au bon gré du gestionnaire.

La structure métallique avec un jeu de tissage métallique inoxydable se superpose latéralement sur un socle de béton suivant une oblique. Des plaquettes d'angle de terre cuite de couleur « champagne » couronnent le voile béton.

Aujourd'hui le périphérique offre dans sa globalité un spectacle hétérogène tant dans le traitement de ses différentes sections, inspiré directement par leur propre contexte, que par l'emploi d'un panel varié de différentes technologies pour l'équipement de protections acoustiques ou autres. Cette variété en fait la richesse et l'identité. C'est dans ce contexte que nous nous sommes inscrits pour créer l'ambiance propre à ce tronçon du périphérique.

### ■ Aménagements de surface

Les aménagements sur l'ouvrage de couverture seront constitués principalement d'un jardin entre la rue Julia Bartet et l'avenue de la porte de Vanves, et éventuellement d'équipements publics.

Par ailleurs, un réaménagement des voiries avoisinantes sera mené, notamment pour favoriser les circulations douces, pour tranquilliser l'avenue de la porte de Vanves et pour intégrer la mise à double sens de la rue Julia Bartet, effective depuis la fermeture définitive de la bretelle de sortie du périphérique intérieur « Vanves ».

Ces aménagements sont en phase de concertation et d'études. ■

### ABSTRACT

#### *Covering the ring road at Porte de Vanves. Planning and design*

*Various authors*

*The 35-km ring road marks the boundary between Paris and its suburbs. It is travelled by 1,100,000 vehicles each day. The covering project at Porte de Vanves, over a length of 410 m, is an opportunity to create urban continuity, apart from the noise protection objectives.*

*The creation of a garden on the cover slab forms part of the policy of establishment of the Paris "green belt".*

*The constraints involved in design of the roof covering were the heterogeneous geotechnical context, the cramped site space, the need to maintain the traffic, adaptation of the existing structures and safety requirements...*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *Cobertura de la autovía de circunvalación en la puerta de Vanves. Programación y establecimiento del concepto*

*Autores diversos*

*La autovía de circunvalación forma un anillo de 35 km que delimita París de sus suburbios. Cada día, 1100000 vehículos utilizan esta autovía. El proyecto de cobertura a nivel de la puerta de Vanves, sobre una longitud de 410 metros, constituye una oportunidad para crear una continuidad urbana, más allá de los objetivos de protección acústica.*

*La creación de jardines sobre la loza de cobertura figura en la lógica de constitución del "cinturón verde" de París.*

*El concepto de la cobertura ha tropezado con el contexto geotécnico heterogéneo, la exigüidad del emplazamiento, la necesidad de mantener el tráfico rodado, la adaptación de las estructuras existentes y los imperativos de seguridad.*

# Couverture du périphérique : un chantier d'envergure à la Porte de Vanves

Résorber les nuisances sonores, améliorer la qualité de l'air et optimiser la sécurité dans les tunnels. Tels sont les objectifs qui ont conduit la Mairie de Paris à couvrir le boulevard périphérique dans le secteur de la porte de Vanves.

Ce chantier d'envergure, qui se situe dans le site prioritaire Plaisance - Porte de Vanves du grand projet de renouvellement urbain de la couronne de Paris, a été réalisé dans un environnement urbain extrêmement dense avec le souci permanent de concilier la sécurité des travailleurs, la nécessité de perturber le moins possible la circulation du boulevard périphérique et ses 100 000 usagers quotidiens dans chaque sens, l'interface avec la circulation sur les voiries de surface et la nécessité de limiter les nuisances sonores en phase travaux en raison de la proximité des riverains (logements, école).

## ■ Présentation du projet

Le projet de couverture du boulevard périphérique dans le secteur de la porte de Vanves s'étend sur 410 m de long entre le pont de la porte Brancion et 40 m après le pont de la porte de Vanves. Il consiste à couvrir les deux sens du boulevard périphérique ainsi que les deux bretelles d'entrée et de sortie adjacentes. La longueur du tunnel étant supérieure à 300 m, celui-ci entre dans le champ d'application de l'instruction technique de la circulaire interministérielle d'août 2000 visant à éviter des catastrophes comme celle survenue dans le tunnel du Mont-Blanc en 1999. Ainsi, deux tunnels indépendants sont créés possédant chacun deux issues de secours, une niche de sécurité et un garage pompiers.

L'ensemble du souterrain est doté d'équipements de sécurité afin de pouvoir réagir dès le moindre incident (gestion technique centralisée, détection automatique d'incident, vidéosurveillance, réseau d'appel d'urgence, accélérateurs pour la ventilation sanitaire et le désenfumage en cas d'incendie, éclairage courant et de secours...) (photo 1).

## ■ Des contraintes d'exploitation très fortes

En raison du trafic très dense et pour pénaliser le moins possible les usagers du boulevard périphérique (BP), les services de la Préfecture de Police ont imposé un pro-



gramme très strict de restriction de circulation favorisant le plus possible le maintien des 2 x 3 voies de circulation dans ce secteur. Ce programme fixait des « fenêtres » pendant lesquelles des neutralisations de voies étaient possibles en fonction des évolutions du volume du trafic :

- possibilité de réduction du BP à 2 x 2 voies de nuit de 21 heures à 6 heures, quatre nuits par semaine ;
- possibilité de réduction du BP à 2 x 2 voies jour et nuit pendant les mois de juillet-août ainsi que pendant les vacances scolaires d'hiver et de printemps 2007 ;
- possibilité de fermeture du BP, quatre nuits par sens et par mois.

La possibilité de pouvoir neutraliser une voie dans chaque sens, chaque nuit, mais de devoir la remettre en circulation le matin, a imposé le choix de mise en place de GBA béton « transposables » qui assurent la protection du chantier. Celles-ci sont soulevées par un camion surélevé enjambant les blocs béton, translattées sur la largeur de la voie à neutraliser, puis reposées. Cette opération mécanisée a permis de transposer 2 x 1 km de GBA en une heure chaque soir vers 21 h30 et chaque matin vers 4h30 (photo 2).



**Stéphane Marinutti**  
Directeur de chantier  
Eiffage TP



**Thomas Hahn**  
Ingénieur études  
travaux  
Razel

Photo 1

Vue générale du chantier -  
Le boulevard périphérique  
se couvre nuit après nuit

General view of the building site -  
The ring road covers up each  
night

Couverture du périphérique : un chantier d'envergure à la Porte de Vanves



Photo 2

Les blocs béton sont en cours de transposition afin de neutraliser les voies rapides du BP côté intérieur et extérieur

*The concrete blocs are displaced in order to shut the fast lanes of the ring road on the interior and the exterior side*



En dehors de cette possibilité de neutraliser une voie dans chaque sens de nuit, l'unique moyen d'intervenir sur le BP était lors des fermetures autorisées. Le calendrier des fermetures du BP est établi 2 mois à l'avance par les services de la Mairie de Paris en étroite relation avec l'ensemble des intervenants du réseau routier régional (autoroutes, A86, A104 voies sur berges...). Cette programmation figée a imposé une planification très stricte des interventions nocturnes.

■ Des emprises de chantier très réduites

Le voile du terre-plein central a été réalisé dans des conditions très difficiles pour le chantier : emprise en journée de 3,90 m de large avec possibilité d'accès uniquement à pied par l'intermédiaire de tours escaliers depuis les ouvrages existants de franchissement du BP, emprise de nuit de 9,90 m de large avec accès possible pour les véhicules après neutralisation des voies rapides des deux sens du BP.

Ces emprises très réduites ont amené le groupement à concevoir des outils spécifiques pour réaliser le voile béton du terre-plein central. Ceux-ci ont servi à assurer la sécurité du chantier tout en préservant également celle des usagers du BP, de jour comme de nuit.

Photo 3

Portiques de coffrage et de ferrailage en activité dans l'emprise réduite du terre-plein central

*The formwork and the reinforcement frames in activity on the reduced area of the median strip*

La conception du portique de coffrage a permis de réaliser, en journée, un cycle quotidien de décoffrage - avancement - coffrage - bétonnage, sans utilisation de moyen de levage complémentaire. Les armatures passives ont été livrées la nuit par camion autodéchargeable, assemblées de jour à l'aide du portique de ferrailage de 12 m de long. La mise en œuvre du béton s'est faite à l'aide de camions-pompes installés sur l'un des trois ouvrages de franchissement du BP. Le gabarit routier sous ces ouvrages étant insuffisant pour autoriser le transport des portiques, ceux-ci ont été transférés de nuit, lors de fermetures autorisées, à l'aide de grues mobiles 90 t ou 160 t installées sur les ouvrages existants (photo 3).

L'accès des véhicules dans les emprises chantier de nuit était possible environ tous les 100 m par l'intermédiaire de GBA « transposables » plastique amovibles mises en place entre les blocs béton. En revanche, pour des raisons de sécurité, la sortie des véhicules ne pouvait se faire qu'en extrémité de chantier. Ce qui a exigé une logistique particulièrement rigoureuse. En effet, la présence d'une pelle de terrassement, d'un camion de livraison, d'une nacelle, d'une toupe à béton... pouvait perturber le bon déroulement de la nuit de travail. Chaque conducteur, chauffeur de camion, livreur... d'un des 21 ateliers présents la nuit devait donc savoir à quelle entrée précise il devait se rendre et dans quel ordre.

■ La sécurité, vigilance de tous les instants

Dans cet environnement très contraignant, la sécurité de tous a été une préoccupation permanente. Tous les phasages de chantier, méthodes de réalisation et planings ont été étudiés afin de limiter au maximum les risques pour tous : compagnons de chantier, usagers du boulevard périphérique et des voiries de surface. Élément important, la vitesse limite sur le BP a été abaissée, en accord avec la Préfecture de Police, à 50 km/h pendant toute la durée des travaux avec une information préalable sur les panneaux à message variable et la pose de mannequins automatiques en tête de chantier.

Pour réaliser les travaux sur les murs latéraux, des protections lourdes ont été mises en place afin d'assurer la sécurité des usagers du boulevard périphérique. Ces protections, constituées de profilés métalliques scellés dans les murs de soutènement supportant des écrans en bois, ont été installées de nuit lors des fermetures. Elles ont permis de réaliser en sécurité les travaux de démolition partielle des murs existants, création de



chevêtres en béton armé et des bossages devant recevoir les poutres, pose des poutres et calage des appareils d'appui (photo 4).

Avec ces protections lourdes le groupement a pu s'affranchir des contraintes du BP et ainsi travailler en journée. Néanmoins, la présence des deux sens de circulation, des bretelles d'entrée et de sortie ainsi que des trois ponts enjambant le BP dans le secteur de la couverture a conduit à créer des micro-chantiers en surface.

Chaque zone de travaux a donc dû être gérée comme un chantier à part entière : organiser les accès en fonction des différents phasages et des emprises évolutives, gérer la circulation des piétons, des vélos, des autobus, gêner le moins possible la circulation automobile avec le souci permanent de la sécurité de tous. Une logistique spécifique d'approvisionnement a été mise en place depuis la dalle du pont Brancion, unique zone de stockage d'environ 1 000 m<sup>2</sup>, afin de desservir l'ensemble des ateliers.

## ■ Des délais jalons très serrés

Le phasage général a été établi en fonction de nos méthodes d'exécution et des contraintes imposées par la Préfecture de Police, en particulier l'interdiction de travailler sur deux bretelles consécutives simultanément.

Chaque micro-chantier était donc sur le chemin critique, en particulier le local technique dont la construction ne pouvait débuter qu'après la fermeture définitive de la bretelle de sortie Vanves (maintenant commune avec la sortie Brancion).

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### **Maître d'ouvrage**

Mairie de Paris

#### **Maîtrise d'œuvre**

Groupement Arcadis ESG (mandataire), Segic Ingénierie, Alain Spielmann

#### **Entreprises**

Groupement Razel (mandataire) - Eiffage TP - Satelec

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

- Études d'exécution : groupement BIEP Bureau d'études Eiffage (mandataire) – Prodetis
- Sciage - Démolition : DSD – ATD
- Armatures passives : Sendin
- Préfabrication des poutres : Ronveaux
- Pose des poutres : Ponticelli
- Béton poli : S2G
- Réseaux : Eiffage Travaux Publics Réseaux
- Voirie et protection étanchéité : Eiffage Travaux Public Île-de-France Centre

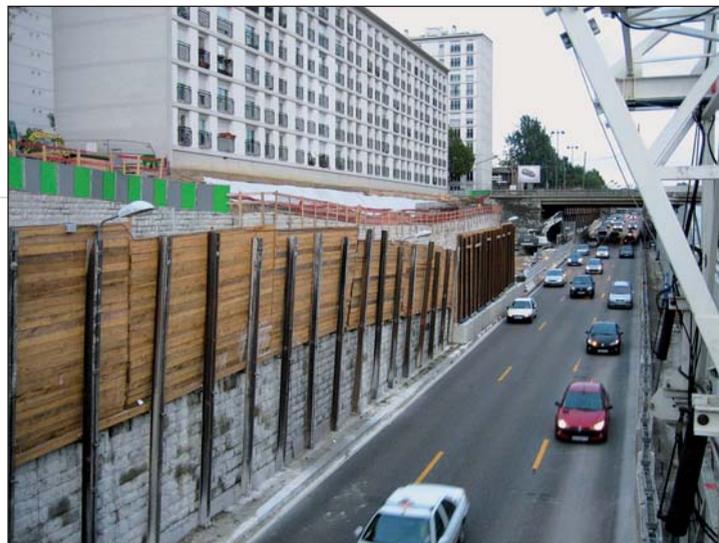


Photo 4

Protections lourdes mises en place afin d'isoler le chantier des usagers du BP

*Positioned heavy protections to separate the building site from the users of the ring road*



Photo 5

Grue à tour pour local technique

*Pillar crane for the technical building*

C'est ainsi que le génie civil du local technique – imposant bâtiment totalement enterré de deux niveaux abritant l'ensemble des armoires électriques et électroniques – a dû être réalisé en 3,5 mois.

Situé entre le mur de soutènement du BP et une voie pompiers desservant l'immeuble voisin, celui-ci a été réalisé à l'abri d'une paroi berlinoise de 30 m de long, 8 m de large et 10 m de profondeur. Afin de respecter ce délai très serré, le groupement a choisi l'option d'installer une grue à tour sur la dalle nouvellement créée au-dessus du BP, équipée d'un limiteur de zone interdisant aux charges de survoler les voies circulées du BP et les voiries de surface (photo 5).

## ■ Une couverture composée de poutres préfabriquées en béton précontraint par fil adhérent

Compte tenu du nombre limité de fermetures nocturnes, il a fallu adapter le projet en proposant de réaliser des poutres précontraintes par fil adhérent en double T inversé. L'intérêt était d'uniformiser le type de poutres et d'en diminuer le nombre afin de fiabiliser le planning de pose.

Celles-ci sont encastrées sur le voile du terre-plein

Couverture du périphérique : un chantier d'envergure à la Porte de Vanves

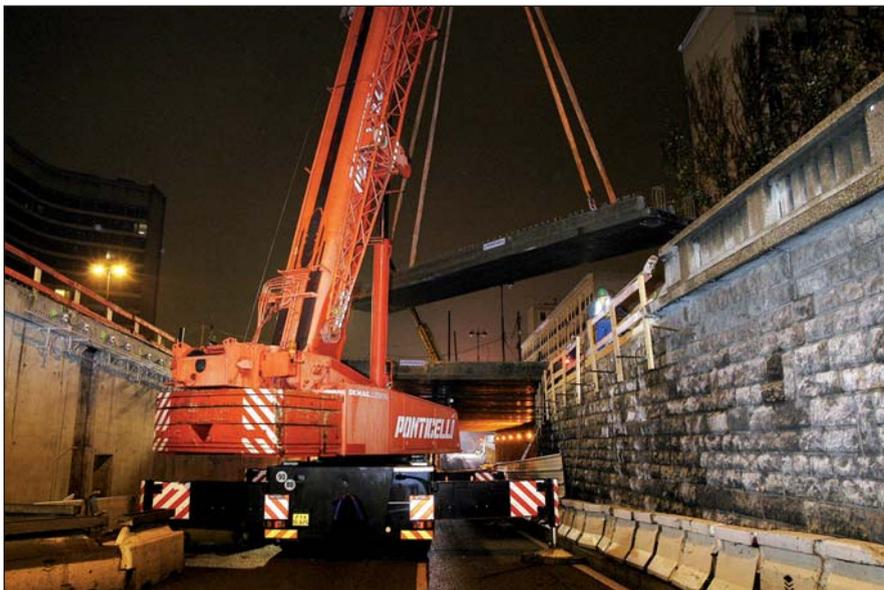


Photo 6

Pose d'une poutre de nuit  
*Lay-out of the beams by night*



central et simplement appuyées sur des appareils d'appui en néoprène fretté sur les murs latéraux. Un hourdis de compression de 20 cm d'épaisseur assure la répartition transversale des efforts. La couverture pouvant recevoir jusqu'à 1,50 m de terre sur une portée allant jusqu'à 25 m, les moments d'encastrement ont entraîné un ferrailage très important en tête du voile central.

Pour poser les poutres dans de bonnes conditions, des manchons doubles ont été mis en place dans le voile central afin d'éviter toute interférence entre les différents aciers en attente. Côté appuis latéraux, les poutres sont posées en provisoire sur des décintreurs permettant de réaliser les entretoises de rive puis le calage des appareils d'appui avant la mise sur appui définitif.

Les poutres, préfabriquées en Belgique, ont été acheminées par camion en flux tendu, les convois exceptionnels arrivant jusqu'au Bourget de jour puis empruntant les boulevards des Maréchaux depuis la porte de la Chapelle jusqu'à la porte de Vanves à partir de 21 heures.

La pose des 420 poutres, les plus lourdes pesant 35 t, a nécessité l'utilisation de grues mobiles de capacité 200 t. Au temps de pose d'une poutre (environ 20 minutes) s'ajoutant le temps de mise en place et de repli de la grue mobile sur le BP, de 10 à 14 poutres ont été posées par intervention (photo 6).

Le gabarit réduit sous le pont SNCF a nécessité une méthodologie particulière de pose. En effet, la hauteur entre la sous-face du tablier SNCF et la couverture au droit des niches pour les accélérateurs est inférieure à 2 m. L'utilisation d'une grue mobile adaptée à cette hauteur et la conception d'un palonnier particulier permettant de réduire la longueur des élingues et d'attacher les poutres sans perte inutile de hauteur, ont



Photo 7

Démolition par la méthode du fraisage  
*Milling by the hydraulic transverse cutting units*

permis de poser huit poutres en moyenne par nuit et ont ainsi évité le recours à des Kamags.

La couverture devant répondre à la norme « tunnel », l'ensemble des éléments structurels doivent être au niveau N2 de protection au feu (1300 °C pendant 2 heures). Les 14000 m<sup>2</sup> de couverture ont donc été protégés par des plaques coupe-feu mises en place à l'aide de chevilles mécaniques en inox.

Pour tenir compte des différences altimétriques éventuelles entre les différentes poutres et de l'existant, et répondre à l'exigence architecturale de livrer une sous-face homogène plane, les plaques sont posées sur une bande dite couvre-joint permettant de varier l'épaisseur de la couche finale et donc d'égaliser d'éventuelles dénivellations. La protection des appareils d'appui s'est faite en complétant le système coupe-feu par une triple épaisseur de laine de roche de densité > 500 kg/m<sup>3</sup> et en fixant les plaques avec des vis démontables afin d'assurer une température limite inférieure à 100 °C et l'intervention ultérieure sur les appuis.

■ Une couverture intégrée dans des ouvrages existants

La couverture s'inscrit dans un ensemble d'ouvrages existants qu'il a fallu intégrer dans les études et les méthodes d'exécution. Ces ouvrages ont dû être adaptés afin de répondre aux impératifs géométriques et statiques de la couverture.

Le BP se situe dans une zone encaissée bordée par des murs soutenant les voiries de surface. Ces murs sont des murs poids construits lors de la réalisation du BP dans les années 1970. Afin de pouvoir supporter les charges nouvelles apportées par la couverture, le projet prévoit de réaliser des chevêtres en béton armé sur les

murs existants, préalablement démolis en partie haute. Il fallait donc garantir l'intégrité des murs existants conservés. Le marché prévoyait une méthode traditionnelle consistant à réaliser un découpage préalable au câble diamanté puis une démolition au BRH.

Afin de réduire les nuisances sonores et de vibration, d'améliorer les conditions d'exécution en termes de sécurité pour les usagers du boulevard périphérique et de son personnel, et de réduire les durées d'exécution, le groupement s'est orienté vers une solution plus innovante. Les murs ont préalablement été sciés de nuit sur 20 cm de profondeur au niveau futur des chevêtres à l'aide d'une scie à disque diamanté, puis fraisés. Cette technique consiste à monter sur une pelle hydraulique une tête de fraise adaptable hydraulique. Cette tête est constituée d'un tambour rotatif tournant à environ 70 tours par minute qui porte des outils disposés en spirale permettant de réduire l'usure, de limiter la profondeur de coupe et d'abaisser les vibrations et les nuisances sonores. Cet outil, très performant dans des ouvrages en béton faiblement armé, a permis de démolir jusqu'à 10 m<sup>3</sup> de béton par heure (photo 7).

Le projet s'étend entre trois ouvrages existants. Afin d'intégrer ces ouvrages dans la couverture, les corniches ont été démontées au fur et à mesure, par sciage au disque diamanté lors de fermetures nocturnes d'un des deux sens du boulevard périphérique. Pour le pont de la porte de Vanves, ouvrage précontraint dans le sens transversal, le sciage a nécessité une attention particulière afin de ne pas endommager les têtes d'ancrage; un remplissage entre ouvrage existant et première poutre a été réalisé avec scellements dans le tablier.

### ■ Un véritable projet architectural pour un tunnel audacieux

La conception de la couverture montre la volonté de l'architecte d'intégrer un maximum d'éléments existants dans le projet global de la couverture.

On y trouve par exemple, les trois ponts existants de franchissement du BP ainsi que les ponts SNCF qui sont véritablement épousés par la couverture, les pierres de parement des murs latéraux que l'on retrouve dans toutes les niches de sécurité et aires de stationnement ou encore les transitions douces entre la couverture nouvelle et les ouvrages existants (chanfreins, panneaux caches...).

Ce traitement architectural constitue une véritable plus-value de ce tunnel en milieu urbain. Le respect de ces consignes a guidé le groupement dans le choix des matériaux et les méthodes d'exécution.



Photo 8  
Habillages architecturaux  
du tunnel  
*Architectural facings  
of the tunnel*

Les nouveaux murs en béton armé sont habillés par des éléments en béton poli préfabriqués. Le groupement a proposé, en étroite collaboration avec l'architecte, de réaliser des panneaux toute hauteur posés sur des consoles en acier galvanisé et retenus en tête par des cornières. La livraison et la pose de ces panneaux se sont effectuées exclusivement de nuit, sous balisage ou fermeture du BP.

Pour les murs latéraux, le bord inférieur des panneaux n'étant pas caché par les glissières en béton, un cache en tôle laquée homogénéise la ligne visuelle inférieure et constitue ainsi le pendant à la ligne visuelle supérieure qu'est la console d'éclairage.

En enfermant les bruits générés par le trafic, le tunnel constitue une véritable caisse à résonances. Une amplification du niveau sonore en est la conséquence. La volonté de réduire le niveau sonore pour les riverains et d'améliorer ainsi leur cadre de vie s'est en particulier traduite par un traitement particulier des sorties du tunnel. Les murs anti-recyclage du tunnel ont été traités sur le plan acoustique par la mise en place de panneaux absorbants en CCV – matériau composite ciment verre – qui enferment des panneaux de laine de roche. La surface de ces panneaux présente des ouvertures carrées permettant de piéger les ondes sonores.

Les murs existants sont couronnés d'un chevêtre qui est en retrait par rapport à la face vue des murs de soutènement. Pour cacher les appuis, équipements techniques et descentes d'eau, des panneaux caches métalliques, de même teinte que les surfaces peintes, ont été mis en place. Ceux-ci ont été complétés par un complexe coupe-feu permettant d'isoler les piles des ponts SNCF du tunnel.

De par la dominance de couleurs claires des habillages, l'usager a une impression de grandeur, d'espace. Cet effet est encore renforcé par le traitement des surfaces au-dessus du bandeau lumineux. L'architecte a ainsi prévu une peinture sur l'ensemble de la sous-face de la couverture ainsi que sur les parements verticaux en béton et les câbles, faisant disparaître le plafond et les équipements dans le contre-jour de l'éclairage. La multitude de supports, ainsi que l'exigence de ne pas diminuer les caractéristiques de protection incendie des plaques coupe-feu, nous ont amenés à opter pour une solution de peinture à base minérale (photo 8).

Couverture du périphérique : un chantier d'envergure à la Porte de Vanves

► ■ Conclusion

Ce chantier d'une extrême complexité en matière de conditions d'exploitation, de défis techniques et esthétiques, de respect des ouvrages existants, a été réalisé en 20 mois de travaux. Il contribuera à améliorer le cadre de vie de ce quartier en pleine transformation. Il a déjà créé un pont qui va permettre de dépasser la frontière physique que représentait le boulevard périphérique et ainsi contribuer à rétablir la continuité entre la capitale et ses communes limitrophes (photo 9). ■

Photo 9

Vue générale du quartier après couverture  
Quarter after covering



ABSTRACT

*Covering the ring road :  
a major project at Porte  
de Vanves*

S. Marinutti, Th. Hahn

*In order to diminish noise pollution, to improve air quality and to maximise safety in tunnels, the city of Paris decided to cover the ring road in the range of "Porte de Vanves". This large scaled construction site, which is located in the prior site "Plaisance - Porte de Vanves" being included in the major urban renewal project of Paris's border area, has been accomplished in an extremely densely populated area with constant concerns of workers' safety, the necessity to ensure, as well as possible, the ring road traffic with its 100000 daily users in both direction, the need to manage the interfaces with the traffic on the above street network and the demand to limit noise pollution during the construction work due to the proximity of residents (dwellings, schools).*

RESUMEN ESPAÑOL

*Cobertura de la vía  
de circunvalación : una  
importante obra en la  
Puerta de Vanves*

S. Marinutti y Th. Hahn

*Eliminar las contaminaciones acústicas, mejorar la calidad del aire y optimizar la seguridad en los túneles. Estos objetivos llevaron al Ayuntamiento de París a cubrir la autovía de circunvalación en el sector de la Puerta de Vanves. Esta obra importante, que se sitúa en el sitio prioritario Plaisance - Puerta de Vanves del gran proyecto de renovación urbana del cinturón de París, se ha ejecutado en un entorno urbano sumamente denso con el afán permanente de conciliar la seguridad de los trabajadores, la necesidad de perturbar lo menos posible el tráfico de la autovía de circunvalación y sus 100000 usuarios diarios en cada sentido, el interfaz con la circulación en las vías de superficie y la necesidad de limitar las contaminaciones acústicas durante la etapa de los trabajos con motivo de la proximidad del vecindario (viviendas, escuelas).*

# La tour, le socle et l'aménagement durable, ou « l'épaisseur des tours »

Marie Evo  
Ingénieur et architecte  
Setec TPI

Lors d'une récente interview, Yves Lion, Grand Prix de l'Urbanisme 2007, explique que « la question de la tour, c'est celle du pied, pas du sommet » et tire le signal d'alarme face à une « architecture qui a du mal à exprimer autre chose qu'elle-même » et une société qui « ne s'intéresse qu'aux objets architecturaux, et non à l'espace qui les relie ».

Il semblerait en effet que la question du rapport au sol soit le véritable enjeu des années à venir dans le domaine de la « grande hauteur », que ce soit en réhabilitation de grands ensembles, en rénovation de quartiers d'affaires prestigieux, ou en construction de villes nouvelles à l'étranger.

## ■ La nécessité d'un socle

Qu'il soit enterré ou aérien, une tour a besoin d'un socle pour contenir et gérer ses innervations. La forte densité que constitue un quartier de tours, implique des flux non négligeables de piétons, cyclistes, et automobilistes. Qui dit voiture dit parking, et qui dit « pas de voiture » dit forcément gare de voyageurs, voire pôle multimodal. Dans un cas comme dans l'autre, – et lorsque le coût du foncier ne permet pas de réitérer Brasilia ou les premières villes nouvelles des Émirats –, parkings, voies rapides et gares sont compressés dans un « millefeuille » aérien ou enterré. À la problématique transport, il faut ajouter les locaux et galeries techniques qui relient les fonctions vitales de la tour au reste de la ville et l'alimentent en eau, calories, frigories, ou évacuent ses déchets.

Le plan des infrastructures de la Défense montre à quel point le socle peut être complexe : galeries techniques, gares voyageur, parois moulées, tirants, parkings, voiries souterraines... se superposent, s'enchevêtrent, et tricotent une ville souterraine digne des Carceri de Piranese. Une vue aérienne du boulevard Bani Yas Najda à Abu Dhabi est un contre-exemple de tissu urbain vertical qui n'a pas prévu de socle (figure 1). Le plan Abu Dhabi 2030 prévoit d'ailleurs une densification de tout l'ancien quartier d'affaires avec enfouissement des parkings sous ou à l'intérieur des tours, développement d'un réseau d'espaces publics et densification du bâti pour passer de 20 à 50 % d'occupation des sols.

À la Défense, une des principales problématiques de la densification est de trouver de la place dans le sous-sol, entre RER et galeries, pour fonder de nouvelles structures porteuses.

L'autre difficulté consiste à augmenter la desserte en



Photo 1

Esplanade de la Défense.  
Vue générale depuis la Grande Arche

Esplanade of the Défense  
business area. General view  
from the Grande Arche



Photo 2

Connexion en cratère au métro,  
au RER et au tramway

Crater connection to the metro  
system, "RER" rapid transit  
system and tramway

transports en commun. Il est actuellement envisagé d'implanter à Nanterre-La-Folie une gare multimodale TGV-RER-Arc Express, qui desservirait le quartier d'affaires. Des mesures conservatoires avaient été adoptées au niveau des fondations des tours de la Défense et du centre commercial des Quatre Temps pour dégager sous l'esplanade des emprises suffisantes au prolongement de la ligne 1 du métro.

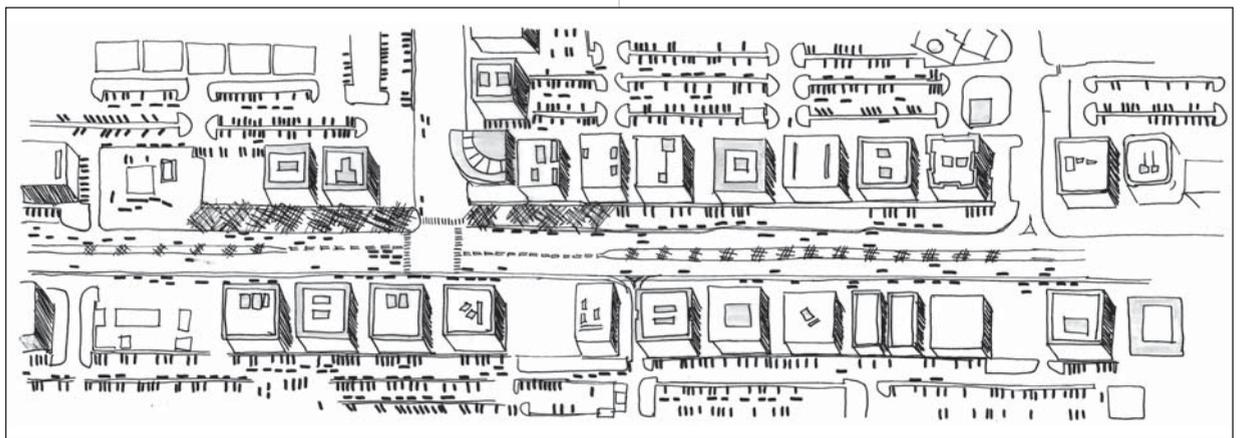
Mais entre-temps le projet a été modifié. Entre barrettes, berlinoises et reprises en sous-œuvre, le tunnelier devra se contorsionner pour trouver son chemin.

La partie supérieure du millefeuille est appelée communément « dalle ». Elle fait aujourd'hui l'objet d'une campagne sans précédent de percements (quartier

La tour, le socle et l'aménagement durable, ou « l'épaisseur des tours »

Figure 1

Vue aérienne du boulevard Bani Yas Najda à Abu Dhabi  
Aerial view of Bani Yas Najda boulevard in Abu Dhabi



Bellevue, à Brest), morcellements (dalle Beaugrenelle, à Paris 15<sup>e</sup>) ou de destruction (centre-ville, à Montreuil). Dans le cadre de la rénovation du centre commercial du Front de Seine, la Ville de Paris a rétrocédé une partie de l'espace public de la dalle au promoteur immobilier. La conséquence a été l'événement de la dalle, qui se trouve coupée en deux au-dessus de la rue Linois, isolant une partie des tours du Front de Seine des équipements de proximité (école maternelle et primaire, crèche, bibliothèque, square, terrain de sports et piscine) (photo 3).

L'accès à ces équipements se faisait sur la dalle, par un vaste espace public et terrain de jeu, au-dessus des circulations voitures. Une liaison ponctuelle devrait être rétablie au niveau de la dalle, mais intégrée au futur centre commercial.

Force est de constater que tout projet vertical cache son pendant à l'horizontale, qui le connecte à la ville. Lorsque l'approche reste purement fonctionnelle, dans le pire des cas, on obtient des objets, posés dans de « grands espaces indéfinis », sur un socle difficilement accessible, et en rupture avec les quartiers avoisinants, qu'il faut entièrement restructurer.

■ Le pied des tours, sous l'angle de l'individu

Et pourtant... vu sous l'angle de l'individu, le pied d'une tour c'est aussi le rapport au sol, la rencontre, et donc la possibilité de nouveaux rapports sociaux et d'une autre perception de l'espace.

La démesure d'un paysage vertical fait perdre les repères spatiaux classiques de la rue linéaire, hiérarchique et arborescente. Le tissu urbain devient alors paysage « naturel » avec ses premiers plans, ses « bosquets », ses percées visuelles et ses lignes d'horizon. On ne se repère plus à l'aide d'une représentation schématique de l'espace en deux dimensions, mais à partir « d'objets signaux ». D'où l'importance de la lisibilité de ces signaux. À partir du moment où cette dimension autre de l'architecture est assumée, à condition que le concepteur se place du point de vue du piéton et que la distance soit reliée à un temps de parcours plutôt qu'à un linéaire d'adduction d'eau, le paysage créé en pied de tour peut devenir l'occasion d'une autre dimension perceptive, avec de nouvelles structurations, moins arborescentes.

Photo 3

Morcellement de la dalle du Front de Seine dans le quartier Beaugrenelle à Paris

Fragmentation of the Front de Seine slab in the Beaugrenelle district in Paris



À condition qu'il soit peuplé. Car c'est la présence des autres et leur commerce qui nous permet d'habiter un lieu, de le rendre praticable. La principale source du sentiment d'insécurité est l'absence de l'Autre. Mais il faut le mettre en scène. Les quartiers d'affaires l'ont bien compris, à l'instar de la Défense, qui prône, dans sa « Déclaration de la Défense », la « mixité spatiale et la mixité d'usage », à l'occasion du premier sommet mondial du développement durable des quartiers d'affaires les 14-15 février 2008. Les opérations de restructuration ou de création de « villes verticales » s'appuient de plus en plus sur la mixité des usages : bureaux, logements, commerces. L'étude de définition « Positionnement urbain du quartier d'affaires de la Défense » lancée en septembre 2007 par l'EPAD, à laquelle participe Setec Partenaires Développement aux côtés de Rem Koolhaas, réfléchit justement sur la question de la mixité fonctionnelle de ce quartier d'affaires : où la fait-on ? Et à quelle échelle ?

En plaçant la réflexion au niveau de la mobilité, on peut adresser à la fois la question du paysage et celle de l'usager avec des solutions nouvelles. Deux exemples : les restructurations de Lyon Part Dieu et des Ulis.

À Lyon Part Dieu, le pôle d'affaires sur dalle fait l'objet d'une restructuration qui vise à combler ses lacunes, tout en renforçant son particularisme : construit à la même période que la Défense, le nouveau quartier, hissé à 6 m au-dessus du sol, est comme sa consœur parisienne, bordé d'axes rapides à fort gabarit, et coupé du reste de la ville. L'opération, menée avec l'architecte Jean-Pierre Buffi, consiste à construire de nouvelles tours dans des vides identifiés, retrouver des continuités urbaines, valoriser et hiérarchiser l'espace public au sol et sur la dalle pour rendre lisibles les circulations internes, ouvrir les façades du centre commercial sur la ville, relier la dalle au quartier par de vastes emmarchements au lieu des passerelles existantes, connecter le quartier d'affaires à l'aéroport Saint-Exupéry par le tramway, modifier le statut des voiries périphériques... [1]. Un programme vaste qui affirme l'identité du lieu.

Du côté résidentiel, aux Ulis, dans le quartier des Bergères, avec la paysagiste Florence Sylvos, la restructuration de la dalle est également passée par un travail sur la mobilité : hiérarchisation des voiries pour rééquilibrer le partage de l'espace entre les différents modes de transport, circulation interne repensée, raccordement des pieds des tours au maillage général, réhabilitation des parkings sous dalles. Mais aussi : création de jardins familiaux, renforcement du lien social par une concertation avec les habitants à toutes les étapes de décision, gestion des espaces publics par



des régies de quartier... Et enfin : création d'une structure spatiale intermédiaire avec la pergola de 210 m de long et 4 m de haut, qui reconstitue la protection d'une frondaison d'arbres [2].

Une autre approche pour repenser la dalle est celle de la dimension à donner à l'espace public. Un défi des tours est leur capacité à rendre perméable leur pied. La tour Hong Kong Shanghai Bank de Norman Foster à Hong Kong est un bon exemple d'interpénétration de l'espace public et de l'espace privé. La piazza rentre dans le hall central, permettant une meilleure lisibilité et sans doute un meilleur usage, de l'un et de l'autre (photo 4). C'est également l'ambition de la future tour Shard London Bridge de Renzo Piano, à Londres.

Les questions de la mobilité et de l'appropriation de l'espace public, en remettant l'individu au cœur de l'aménagement urbain, permettent d'envisager autrement la conception du socle, et d'inscrire les tours dans un réel aménagement durable.

## ■ Les tours, et l'aménagement durable

Comme le souligne le Conseil économique et social d'Île-de-France, dans son rapport sur la densification - pour un urbanisme à échelle humaine en Île-de-France, l'étalement urbain a des « conséquences néfastes en terme de gaspillage d'espaces, de multiplication des déplacements, de surcoûts d'énergie », alors que la densification permettrait « le gain d'espace et l'amélioration de la qualité de vie » [3]. Dans ce contexte, les tours et leur socle offrent une densité alléchante. Surtout si l'on considère le besoin crucial de logements (chiffré à 1,5 million d'ici 2030 par le SDRIF), et les nouvelles demandes des foyers (bonne desserte en

Photo 4

Hong Kong et Shanghai Bank – MOA Hong Kong et Shanghai Banking Corporation – MOE Foster and Partners et Ove Arup. (Source Foster and Partners)

Hong Kong and Shanghai Bank – Client : Hong Kong and Shanghai Banking Corporation – Project Manager : Foster and Partners and Ove Arup (Source : Foster and Partners)

La tour, le socle et l'aménagement durable, ou « l'épaisseur des tours »



Photo 5

Aménagement du jardin public du Carrousel, au Louvre. MOA Établissement public du Grand Louvre (EPGL) puis Établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels (EPMOTC) – MOE Wirtz et Setec TPI

*Development of the Carrousel public garden, in Le Louvre. Client : Établissement public du Grand Louvre (EPGL), then Établissement public de maîtrise d'ouvrage des travaux culturels (EPMOTC) – Project Manager : Wirtz and Setec TPI*

transports collectifs, accessibilité piétonnière à tous les services de proximité, ambiance urbaine...).

Cependant, les hommes politiques ont peur des quartiers de tours, car ils sont connotés « grands ensemble », avec le malaise social et l'insécurité qui accompagnent cette image. La tendance aujourd'hui en Île-de-France est plutôt de densifier les anciens faubourgs de la petite couronne et renforcer les noyaux urbains des grandes couronnes. On préfère parler de « conceptions humaines » et « bannir un aménagement fondé sur la spécialisation du territoire » [3].

Il s'agit maintenant, pour les aménageurs des quartiers de tours, d'élargir le champ architectural, de ne plus raisonner uniquement en termes de signaux verticaux, hauts et très HQE, mais d'introduire une mixité des formes urbaines et un travail en trois dimensions sur la dalle. Et cela nous ramène une fois de plus au niveau du sol. La réponse passera nécessairement par une vraie réflexion sur le socle, que l'on ne cherchera plus à mutiler, voire effacer, mais que l'on assumera dans toute son épaisseur, en le découpant, en l'extrudant, mais aussi en l'étirant vers le haut.

■ **Les tours, un outil pour reposer la question de l'espace public**

La construction de quartiers « de grande hauteur », par la nécessité de la construction d'un socle, permet de reposer la question de l'espace public.

Cet espace public peut être envisagé sous l'angle de la rencontre, de la mixité fonctionnelle, des connexions, de l'intermodalité, de la mobilité, de la proximité, des échanges... autant de questions « très » aménagement durable. Il est intéressant de constater que des opérations de restructuration de quartiers de tours sur dalle se multiplient autour de ces questions, loin de l'opposition « béton-verture ». Les usagers de ces quartiers sont invités à se réappropriier leur environnement, sur le biais actif et associatif mais aussi tout simplement en habitant autrement ces espaces publics hors normes. La ville s'auto-génère : elle n'existe plus par le fait d'une volonté extérieure, mais par l'action même de l'investir. Elle n'a plus besoin de bouche-à-bouche. C'est probablement par là que passe la ville durable. Les compétences existent, dans des domaines aussi variés que la recherche architecturale, la mixité programmatique, l'espace souterrain, les transports en commun ou encore l'aménagement d'espaces publics sur dalle.

Depuis plusieurs années, architectes et RATP ont développé des stratégies pour donner de la qualité aux espaces publics souterrains : mise en relation avec la surface, entrée en cratère, allusion à l'histoire du sol, illusion d'être à l'extérieur, création d'un paysage souterrain, en travaillant la signalétique, le marquage au sol, la lumière, les bandes sonores, des perspectives intérieures ou des faux-jours [4].

Tramways, bus, mobiliens... l'offre de transports en commun s'est diversifiée en fonction de la fréquence et de l'échelle de la desserte et aussi de l'inscription temporelle de l'aménagement. De nombreuses opérations de transport en commun en site propre ont déjà permis de reconquérir des sites à l'espace public distendu.

L'aménagement d'espaces publics sur ouvrage est un domaine peu connu, peut être parce qu'il est d'autant plus réussi que la dalle a su se faire oublier : l'avenue de France est construite au-dessus des voies ferrées du RER C, ce qui a entraîné une multitude de contraintes techniques spécifiques, notamment pour les réseaux en galerie. Le point clé de la réussite de l'opération a été la coordination de tous les concessionnaires en respectant les impératifs de chacun. Le jardin du Carrousel, aux abords du Louvre, est un autre exemple d'aménagement sur dalle réussi : elle est invisible et insoupçonnable et le jardin constitue une véritable respiration dans la ville (photo 5).

Dans le contexte du réveil identitaire des quartiers d'affaires et dans un monde où l'expérimentation a succédé aux théories, profitons de l'engouement actuel pour le développement durable et innovons dans la

conception de nouveaux espaces publics qui ne soient pas un pastiche de la ville d'antan. Si tout le monde s'accorde à dire que « le développement durable impose des changements en profondeur des mentalités et des modes d'action » [5], l'aménagement durable passe certainement par une prise de risque en matière d'innovation urbanistique et architecturale, et par un dépassement du traumatisme du Modernisme. ■

### ■ Bibliographie

1. Lyon Part Dieu – Le pôle d'affaires sur dalle s'intègre à la ville. *Le Moniteur* n° 5261 24-09-2004.
2. Les Ulis, une ville sur dalle requalifiée. *Le Moniteur* 15 novembre 2002.
3. CESR – La densification : pour un urbanisme à échelle humaine en Île-de-France. 22 mars 2007.
4. Épaisseur et profondeur de la Ville. *Diagonal* 112. Avril 1995.
5. CFDU, Synthèse des travaux du groupe – Chantier « quartiers durables ». Avril 2007.
6. Interview d'Yves Lion dans A+. Décembre 2007 - Janvier 2008.

### ABSTRACT

#### *The tower, the base and sustainable development, or "the thickness of towers"*

M. Evo

*Whether it be underground or above-ground, a tower needs a base to contain and control its innervations. When the approach remains purely functional, in the worst of cases, one obtains objects placed in "large indefinite spaces", on a base that is not easily accessible, representing a break with the neighbouring districts, which must be completely restructured. Approaches based on mobility and appropriation of public space, by restoring the central position of the individual in urban development, allow design of the base to be considered from another viewpoint, with the towers forming part of a real sustainable development policy. By no longer reasoning exclusively in terms of vertical signals, high and very "HQE" (high quality of environment), but by extending the discussion to the mix of urban forms and the potential for three-dimensional development offered by the thickness of the slab, towers become a means for reappraising public space. Because sustainable development undoubtedly means taking risks with regard to urban planning and architectural innovation, to go beyond the traumatism of Modernism.*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *La torre, la base y la ordenación sostenible, o el "espesor de las torres"*

M. Evo

*Ya sea enterrada o aérea, una torre necesita una base para contener y gestionar sus innervaciones. Cuando el planteamiento sigue meramente funcional, en el peor de los casos, se obtiene diversos objetos, instalados en "grandes espacios indefinidos", sobre una base difícilmente accesible, y en ruptura con los barrios circundantes, que cabe reestructurar en su totalidad. Las cuestiones de la movilidad y de la apropiación del espacio público, al resituar la persona en pleno centro de la ordenación urbana, permiten vislumbrar distintamente el establecimiento del concepto de la base, y de inscribir las Torres en una verdadera ordenación sostenible. Si se abandona el razonamiento fundado únicamente en término de señales verticales, elevados y sumamente HQE, pero abriendo el debate sobre el carácter mixto de las formas urbanas y las posibilidades de ordenación en tres dimensiones que permite el espesor de la loza, las torres se transforman en una herramienta para volver a plantear la cuestión del espacio público. Ya que la ordenación sostenible pasa con todas certezas por una aceptación de los riesgos en materia de innovación urbanística y arquitectónica, así como mediante una superación del traumatismo del Modernismo.*

# La Tour Oxygène à en zone urbaine

La ville de Lyon sera bientôt dotée d'une nouvelle tour, la Tour Oxygène, au cœur du quartier d'affaires de la Part-Dieu. Cette tour de 115 m s'adossera au centre commercial existant et le Cours Oxygène fera la liaison entre la tour et le centre commercial, en procurant une extension de ce dernier. La situation de cet ouvrage a nécessité des fondations spéciales caractéristiques des zones urbaines actuelles.



Photo 1

Perspective du Cours et de la Tour Oxygène  
*Perspective view of "Cours Oxygène" and "Tour Oxygène"*

La Tour Oxygène, conçue par le cabinet d'architectes Arte Charpentier comportera 28 étages et apporte une nouvelle dimension au quartier de la Part-Dieu. La forme de la tour et son habillage de verre et d'acier permettront à ses 28800 m<sup>2</sup> de bureaux d'être éclairés à 80 % par la lumière du jour.

Le Cours Oxygène est conçu comme un prisme de verre et d'acier sur six niveaux dans le prolongement du centre commercial de la Part-Dieu, avec une toiture paysagère. Les 17300 m<sup>2</sup> et les 420 places de parking en sous-sol (quatre niveaux) seront accessibles par tous les moyens de transport : train, métro, tramway, trolleybus, bus, voitures et vélos.

Solétanche Bachy est intervenu en sous-traitance de GFC Construction (mandataire) pour le lot fondations (photo 1).

## ■ Contraintes du site et du projet

Le secteur de la Part-Dieu est un quartier d'affaires majeur et un important pôle d'échanges pour les réseaux de transport urbains et interurbains. L'environnement est donc très dense et les accès du site sont difficiles : proximité des réseaux de bus, tram-

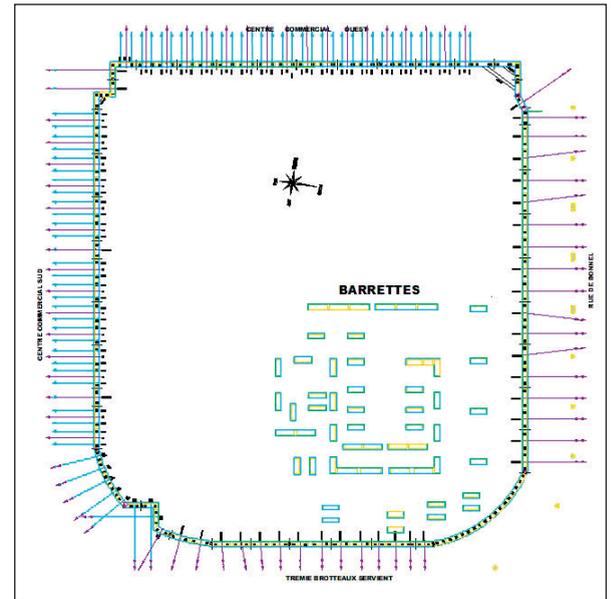


Figure 1

Vue en plan du chantier avec paroi moulée, barrettes et tirants

*Plan view of the site with diaphragm wall, supporting wall units and tie anchors*

way et trolleybus, accès par la trémie Bonnel en hauteur limitée (4,10 m), entrée et sortie du chantier unique. De plus, les emprises sont limitées puisqu'il n'y a que peu d'installations possibles en dehors des 5000 m<sup>2</sup> du chantier.

Le site est à proximité immédiate de mitoyens sensibles : le centre commercial de la Part-Dieu sur les côtés sud et ouest (à 30 cm), la trémie Brotteaux Servient à l'est (à 20 cm) et la trémie Bonnel au nord (dont une partie est à scier). La ligne B du métro est distante d'une dizaine de mètres, en souterrain.

L'un des critères de dimensionnement du projet est de limiter les tassements absolus des mitoyens à 15 mm et les tassements relatifs à 1/500<sup>e</sup> de la portée entre deux appuis successifs des ouvrages limitrophes. Le suivi a été assuré grâce à des capteurs de vibrations et des cibles topographiques.

Les couches de terrain rencontrées sont tout d'abord les alluvions du Rhône puis la molasse (relativement sableuse) à partir de 146 NGF environ. Les terrains superficiels ont été préalablement retirés pour amener la plate-forme de travail à la cote 164 NGF. La proximité de la nappe phréatique (vers 162,80 NGF) a demandé une extrême vigilance quant à la stabilité des excavations de paroi moulée et barrettes. Le niveau de recépage de la paroi moulée périphérique est variable entre la zone tour et la zone hors tour mais reste, dans les deux cas, en dessous du niveau de la nappe phréa-

# Lyon : des fondations



**Emmanuel Robert**  
Directeur régional  
Solétanche Bachy



**Guillaume Cornali**  
Directeur travaux  
Solétanche Bachy

tique (un cas d'espèce peu fréquent). Les barrettes sont laissées en arase basse.

Enfin, les délais serrés et la localisation des barrettes sur un quart de la fouille ont imposé de travailler à deux ateliers en deux postes selon un phasage rigoureux. En effet, la paroi moulée périmétrale (43 panneaux) a une épaisseur de 82 cm alors que les barrettes font 82 cm ou 102 cm, pour des largeurs de 2,80 m à 10 m (42 barrettes). La profondeur des excavations est de 27 ou 30 m. Dans la zone tour, la paroi moulée et les barrettes sont soumises à une descente de charge allant jusqu'à 5000 t (ELS) (figure 1).

## ■ Travaux préliminaires et installations

Avant de commencer la paroi moulée, une phase de travaux préliminaires a été nécessaire entre mi-mai et mi-juillet 2007 : purges, préparation de la plate-forme, installations de chantier pour les fondations et murettes-guides.

Le tracé de la paroi moulée croise une partie de galerie technique; la première étape consistait donc à démolir cet ouvrage et une partie du radier de la trémie Bonnel. La galerie technique et les trémies environnantes se trouvent sous le niveau de la nappe et sont lestées avec du gros béton pour résister aux sous-pressions.

Les équipes ont réalisé un rideau étanche et un fond injecté autour de la galerie technique afin de mettre en place un rabattement et pouvoir ainsi scier le radier et la galerie technique à l'abri de l'eau, jusqu'à la cote 159 NGF environ.

Une campagne de sondages destructifs et de reconnaissance géophysique par panneaux électriques a été réalisée dans le tracé de la paroi moulée et au droit des barrettes pour reconnaître d'éventuels obstacles à purger. Cela a permis de découvrir un débord de fondation imprévu de la trémie Brotteaux Servient dans le tracé de la paroi. Les diverses investigations ont permis de conclure que ce béton n'était pas structurant et consistait en un débord du gros béton de lestage du radier. Encore une fois, cette purge a dû être réalisée sous le niveau de la nappe phréatique puisque l'arase supérieure de ce gros béton se trouvait à 2,5 m sous la plate-forme (soit près d'1,50 m sous le niveau piézométrique des travaux). La mise en service d'un puits de pompage sur la plate-forme et à proximité de la zone à purger a permis de générer un rabattement général de la nappe phréatique d'environ 400 m<sup>3</sup>/h compatible avec la démolition au BRH de ce débord de fondation.

Les ateliers de paroi moulée ont été installés et montés pendant ces divers travaux préparatoires. Les outillages suivants ont été choisis : deux bennes hydrauliques

KS2 de largeur d'ouverture 2,80 m portées par deux Liebherr 853, deux grues de manutention Liebherr 841, une centrale de fabrication de boue, deux Sotres 150 m<sup>3</sup> pour le recyclage de bentonite. Ce matériel a été disposé au centre du chantier, hors zone des barrettes, en ménageant la circulation nécessaire aux manœuvres des grues et aux approvisionnements. Il a été décidé d'approvisionner les cages d'armatures préfabriquées car il n'y avait pas la place nécessaire pour mettre en place un atelier de montage (photo 2).



Photo 2  
Centrales à boue  
Slurry mixing plants



Photo 3  
Benne hydraulique KS  
en cours d'excavation  
KS hydraulic grab during  
excavation

## ■ Travaux de paroi moulée

La configuration du site et la concentration des barrettes ont imposé de traiter le chantier avec deux ateliers distincts et autonomes.

Une première benne hydraulique a été dédiée à la réalisation de la paroi moulée périphérique (épaisseur 82 cm) pendant 10 semaines, le second KS est resté sur la zone des barrettes, en s'adaptant aux deux épaisseurs (82 ou 102 cm) (photo 3).

Pour la paroi périmétrale, le phasage a été organisé en prenant en compte les panneaux d'angles rentrants et

La Tour Oxygène à Lyon : des fondations en zone urbaine

Photo 4

Équipement des armatures  
Reinforcement equipment



sortants, les panneaux unitaires (imposés par la position des joints de dilatation du futur bâtiment devant correspondre aux joints de la paroi), la conservation du seul accès au site, les circulations autour des installations et l'atelier de barrettes. La faible stabilité des excavations (peu de cohésion des terrains, pertes de boues et nappe phréatique très haute) a imposé de ne pas laisser de panneaux entièrement ouverts plus de 24 heures à cause de la proximité des avoisinants. Grâce à cette gestion, des bétonnages quotidiens de 150 m<sup>3</sup> moyens ont pu être assurés pour la paroi moulée. Le poste du matin terminait la perforation et le dessablage puis lançait l'équipement des cages d'armatures; le poste de l'après-midi s'attachait à finir l'équipement et à bétonner le panneau. Un panneau sur six est équipé de tubes soniques.

En zone hors tour, la perforation se faisait à 27 m de profondeur. Un panneau était généralement constitué de deux cages d'armatures en deux éléments pour respecter le gabarit routier et atteindre les 21 m de la fiche mécanique. Les six mètres restants constituent la fiche hydraulique préconisée par le géotechnicien du maître d'ouvrage. Le béton utilisé est un C30/37 avec rhéologie de 3 heures.

Dans la zone tour, les armatures descendaient jusqu'à la base de la perforation (soit 27 ou 30 m); elles étaient donc constituées de trois éléments. Une portion de

10 m dans cette zone a nécessité des dispositions particulières. En effet, une descente de charge plus importante (porte-à-faux de la tour) a donné une densité d'aciers telle qu'il fallut réaliser un panneau de 3 m et un panneau de 7 m avec une seule cage d'armatures pour ce dernier, fabriquée sur le chantier. En conséquence, ces panneaux ont dû être gardés pour la fin du chantier après démobilitation de l'atelier des barrettes pour pouvoir construire ces armatures sur site (photo 4).

La paroi moulée a été laissée en arase basse : -2,10 m pour la zone hors tour et -3,25 m pour la zone tour. Ces deux niveaux se situant sous la nappe phréatique, des dispositions particulières ont dû être prises pour les travaux de recépage et de terrassement futurs. Sur trois côtés, la proximité des ouvrages a été utilisée en réalisant un collage sous la murette guide extérieure pour faire un bouchon provisoire entre la paroi moulée et l'avoisinant, en attendant que la poutre de couronnement et son voile soient construits. Le quatrième côté, le long de la rue de Bonnel, a été traité par injection dans un marché séparé avec la S.E.R.L. (Société d'Équipement du Rhône et de Lyon), propriétaire de l'espace public. Ces travaux d'injection ont aussi été réalisés par Solétanche Bachy, en co-activité avec ceux du chantier Tour Oxygène.

■ Barrettes

Pour les barrettes les contraintes suivantes ont impliqué un phasage particulier : maillage très serré, barrettes laissées en arase basse à -15 m environ, épaisseurs variables de 82 ou 102 cm, largeur de 2,80 à 10 m et interface avec le reste du chantier.

Les cages d'armatures partaient de la base du panneau à -27 ou -30 m jusqu'au niveau de recépage futur à -14

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage**

Sogelym Steiner/Europequipement

**Architecte**

Arte Charpentier

**Bureau de contrôle**

Socotec

**BET structure**

Khephren Ingénierie

**Entreprise générale**

GFC Construction (mandataire) - Bouygues Bâtiment IDF

**Fondations spéciales**

Solétanche Bachy

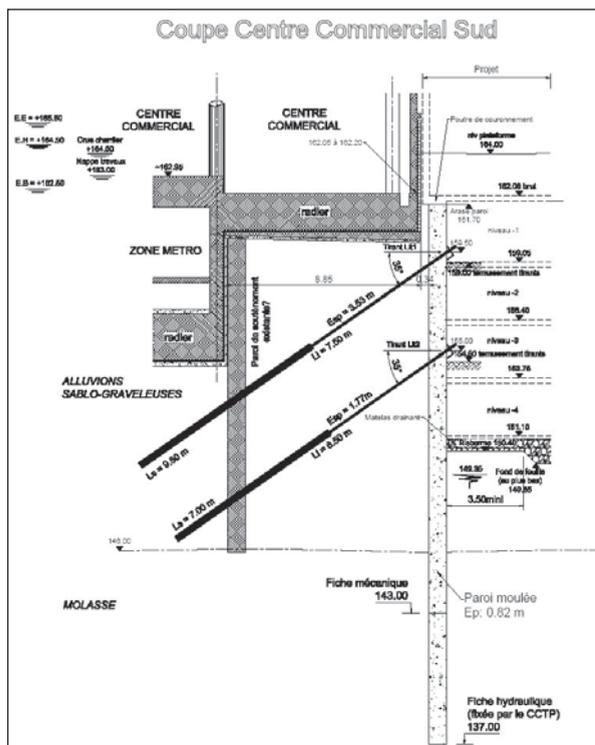


Figure 2

Coupe sur la façade sud  
Section on southern facade

ou -18 m. Les cages étaient rehaussées de caquettes pour assurer leur maintien pendant le bétonnage et supporter les tubes soniques pour un tiers d'entre elles. La partie supérieure des barrettes a été remblayée par du matériau de type alluvionnaire après la prise du béton et ainsi conserver les circulations.

Un béton identique à celui de la paroi moulée a été utilisé sauf pour deux barrettes où le dimensionnement imposait un C35/45. Le respect du programme a permis de bétonner soit deux petites barrettes par jour, soit une grande. Cette organisation a impliqué de faire plusieurs approvisionnements de plus de 300 m<sup>3</sup> de béton par jour dans le quartier de la Part-Dieu.

## ■ Tirants

Une fois la paroi moulée et les barrettes terminées, les travaux de rabattement, pré Terrassement, recépage et poutre de couronnement ont pu commencer, puis les terrassements, rabotages et tirants. Pour exécuter toutes ces phases, le débit de fuite en pied de paroi doit être limité et l'étanchéité en tête efficace. Les eaux de pompage ont été évacuées dans des puits de rejet à l'extérieur de la fouille. Les barrettes étaient ensuite recépées en fond de fouille.



Photo 5

Les tirants terminés  
Completed tie anchors

La stabilité de la paroi moulée périphérique a été complétée par un ensemble de tirants provisoires répartis sur deux lits. L'angle arrondi a été traité en voûte, la stabilité des angles sortants est assurée par des butons, et il y a des tirants pour les angles rentrants. La perforation des ancrages a été exécutée sous nappe avec une charge d'eau de 3 à 8 m en tête et jusqu'à 18 m de charge en pied. Les forages ont été équipés de tirants 4T15,7 à 7T15,7, d'une longueur de 19 m. La tension maximale de service était de 130 t pour 10 m de longueur scellée. Les déformations de l'écran ont dû être limitées pour respecter les contraintes de tassement sur les avoisinants. Des cibles et des inclinomètres ainsi que des tirants instrumentés permettent de suivre la déformation du soutènement.

Les tirants de la face sud du projet devaient traverser l'ancienne paroi moulée du métro dont les caractéristiques ne sont pas toutes connues. Dans ce cas, des outils spécifiques ont été utilisés afin de traverser la paroi et les armatures (figure 2 et photo 5).

## ■ Conclusion

Les contraintes fortes du site et du projet ont nécessité la mise en œuvre de moyens adaptés pour mener à bien

## La Tour Oxygène à Lyon : des fondations en zone urbaine

▶ cette première phase de construction du Cours et de la Tour Oxygène. Il est à noter que ce projet n'aurait pas pu être mené à bien sans la complète collaboration du bureau d'études de Solétanche Bachy avec celui de GFC et celui de Bouygues Bâtiment Ile-de-France afin d'apporter la meilleure réponse possible aux interactions particulières de cet ensemble IGH.

L'ouverture au public du Cours Oxygène est prévue début 2010 (photo 6). ■

Photo 6

La fouille terrassée  
*Terraced excavation*



### ABSTRACT

#### *Tour Oxygène in Lyon : foundations in an urban area*

*E. Robert, G. Cornali*

*The City of Lyon will soon have a new high-rise building, the "Tour Oxygène", in the heart of the La Part-Dieu business district. This 115-metre tower will be next to the existing shopping centre and the "Cours Oxygène" retail area will link the tower and the shopping centre, forming an extension of the latter. Given the project location, special foundations characteristic of modern-day urban areas were required.*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *La Torre Oxígeno en Lyon : cimentaciones en zona urbana*

*E. Robert y G. Cornali*

*Dentro breve plazo, la ciudad de Lyon estará dotada de una nueva torre, la Torre Oxígeno, en pleno centro del barrio de negocio de la Part-Dieu. Esta torre de 115 metros estará adosada al centro comercial existente y el Cours Oxygène permitirá el enlace entre la torre y el centro comercial, procurando una extensión de esta obra. La situación de esta estructura ha precisado cimentaciones especiales características de las zonas urbanas actuales.*

# Passerelle Granite : quand les prouesses architecturales favorisent la mobilité piétonne

La partie ouest du quartier d'affaires de La Défense (92) et le territoire de la Seine-Arche Nanterre sont essentiellement reliés par l'espace public. L'objectif de l'Établissement public d'aménagement (EPA) Seine-Arche est de donner à ce secteur un caractère urbain et de restaurer des cheminements confortables entre les quartiers.

Reliant un immeuble d'affaires à l'autre, la passerelle Granite soutient avec fluidité un lien favorisant les déambulations douces, passant d'un « urbanisme de dalle » qui caractérise le quartier de La Défense à celui plus « apaisé » que revendique Nanterre.

La passerelle démarre de la dalle Valmy située derrière la Grande Arche de La Défense, s'enroule autour de la tour Société Générale, pour atteindre quelques mètres plus haut, le socle de la tour Granite. La conception fait l'économie d'appuis intermédiaires : l'ensemble de la structure repose seulement sur trois discrets poteaux d'acier. De plus, l'utilisation d'aciers à très haute résistance (S355 et S460) dans les zones très sollicitées a permis de réduire l'épaisseur des éléments métalliques, et d'affiner de ce fait la silhouette de l'ouvrage. D'où une impression de légèreté, comme si la passerelle s'affranchissait des lois de la pesanteur. En fait l'équilibre de l'ouvrage est assuré par la mise en tension de câbles, qui se trouve ainsi ceinturé par trois câbles d'acier périphé-

riques, tendus à intervalles réguliers, selon une direction radiale au tablier. Les vertèbres d'acier constituant la structure sont maintenues en équilibre, à quelque 3,80 m des parois de la tour Société Générale.

Ingéniosité, finesse architecturale, grandes portées, esthétique, emprise au sol très limitée, l'ouvrage cumule les prouesses techniques et esthétiques et démontre avec force le potentiel de l'utilisation de l'acier afin que s'exprime pleinement la créativité des concepteurs.

## ■ La structure : un effort remarquable de conception

La passerelle Granite, 100 % acier hormis l'écran brise-vent en verre qui borde le tablier, est une structure très sophistiquée, fruit de milliers d'heures d'études et de gestion de projet.

L'ouvrage est comparable à une colonne vertébrale et ses tendons : chaque élément participe activement à la solidité de l'ensemble dans un jeu complexe de tension et de légèreté.

Le tablier se compose d'une poutre en acier, un profil constitué par un caisson de section trapézoïdale ayant une largeur de 4,5 m, 600 mm de hauteur côté extradados et 300 mm de hauteur côté intrados. Il se compose



**Andreas Keil**  
Directeur  
Responsable des projets  
français  
Schlaich Bergermann  
und Partner



**Michael Zimmermann**  
Chef de projet  
Schlaich Bergermann  
und Partner

Crédit photographique :  
SBP/Michael Zimmermann

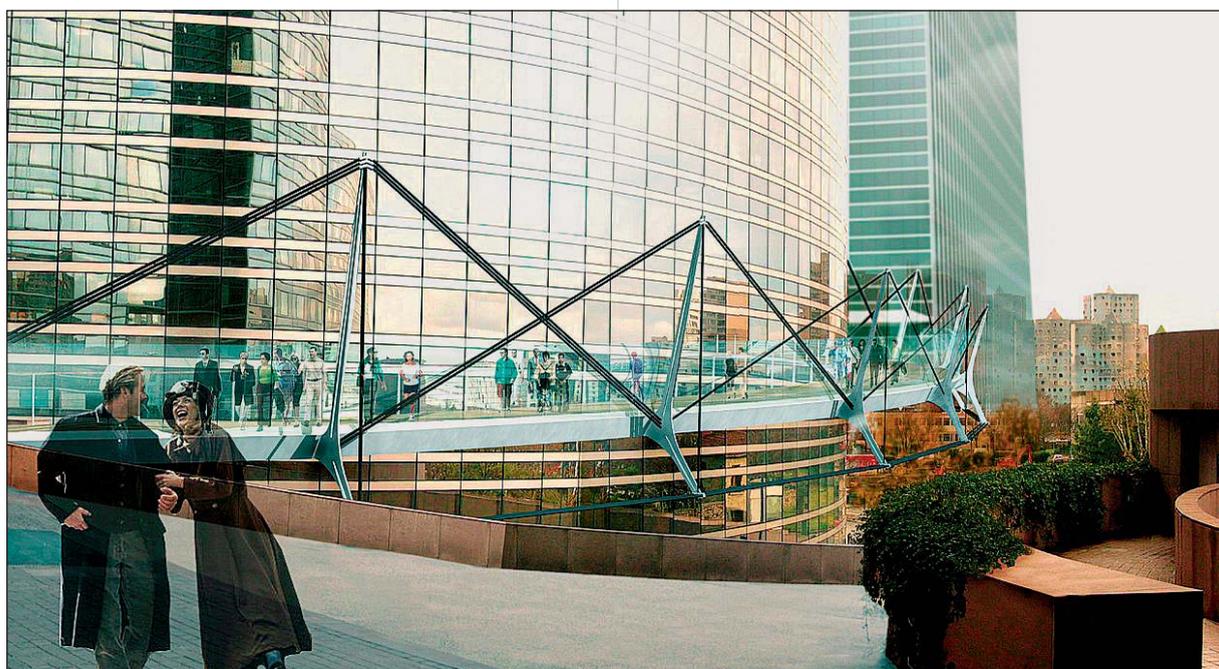


Photo 1

# Passerelle Granite : quand les proesses architecturales favorisent la mobilité piétonne

Photos 2, 3, 4 et figure 1

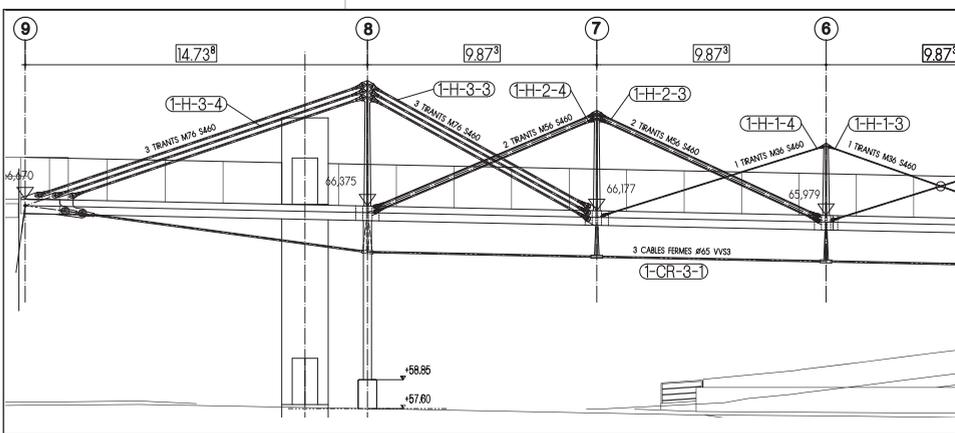
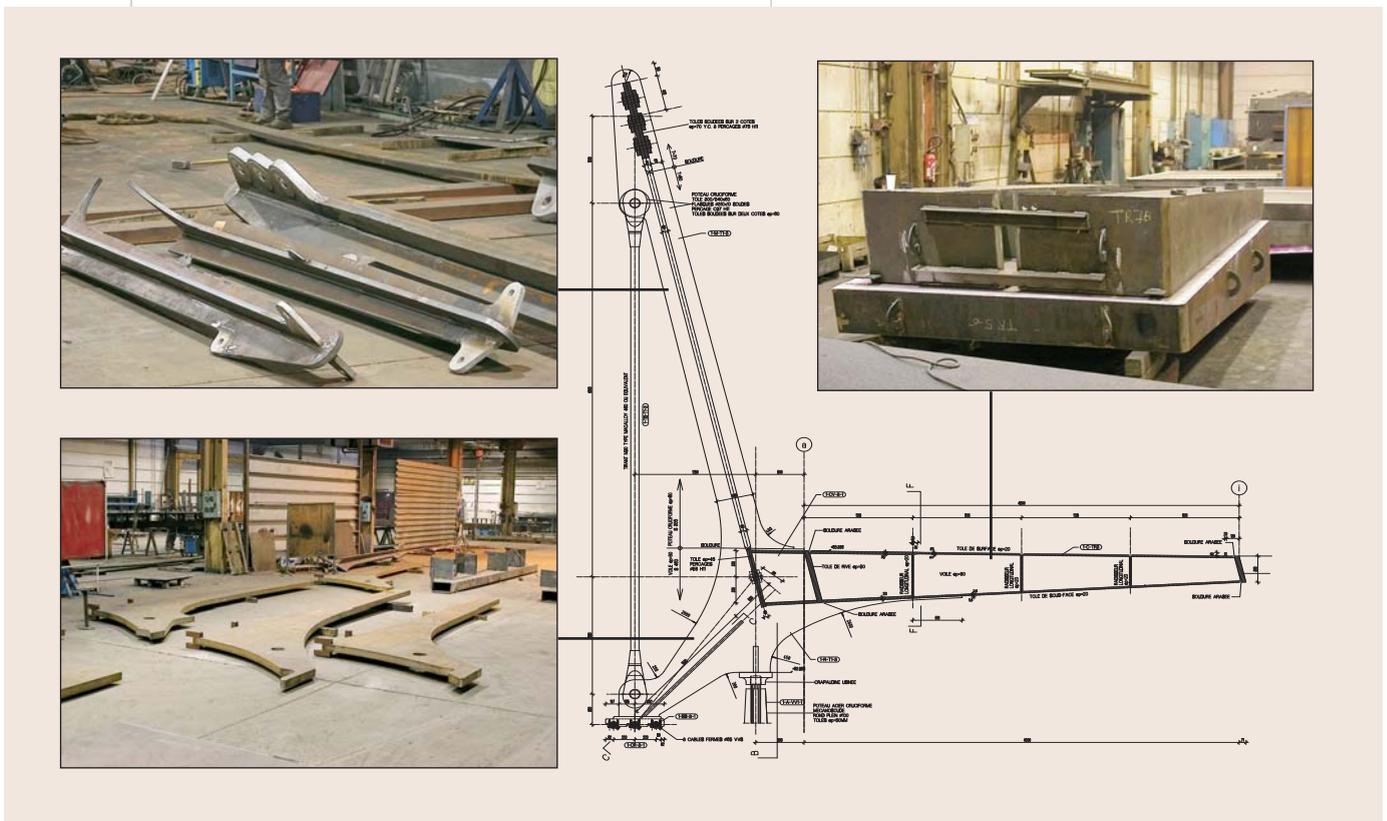


Figure 2

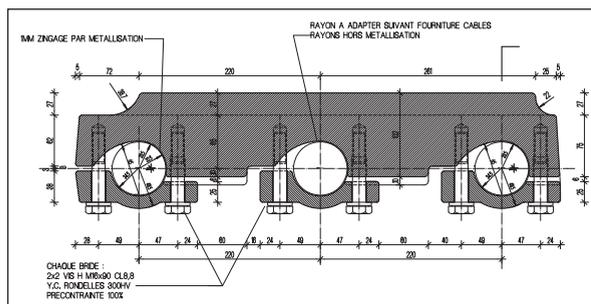


Figure 3



de tôles soudées, S355, renforcées par les raidisseurs. Les vertèbres sont des tôles plates en S460, disposées radialement le long de la poutre-caisson. Elles sont raidies par des tôles supplémentaires qui sont soudées orthogonalement et forment donc une section en croix, stables vis-à-vis des forces de compression qui les sollicitent (photos 1, 2 et 3 et figure 1).

**Les haubans** sont les éléments diagonaux en tension qui relient les vertèbres à la poutre caisson. Tablier, vertèbres et haubans forment la « colonne vertébrale » de la superstructure (figure 2).

**Les câbles de retenue** sont au nombre de trois, de type monotoron, clos, de diamètre 65 mm. Ils sont maintenus par serrage à la hauteur de chacune des vertèbres, se terminant respectivement aux extrémités est et ouest sur les files 2 et 9. Leur ajustage est réalisé au moment du montage (figure 3).

## Les appuis

La passerelle repose sur deux couples d'appuis constituant chacun un encastrement longitudinal à chaque extrémité :

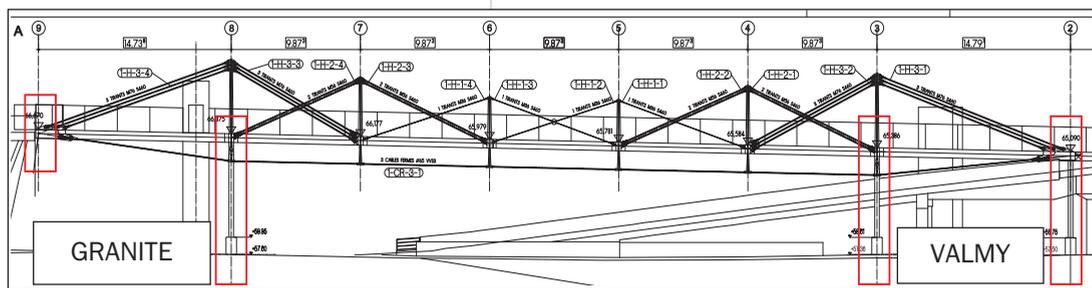


Figure 4

- côté tour Granite : appuis sur la dalle et sur un poteau acier;
  - côté dalle Valmy : appuis sur une paire de poteaux.
- Le dispositif tient par la rigidité du tablier et par les trois câbles qui ceinturent l'ouvrage. En supplément de ses deux extrémités, la passerelle est accessible à mi-parcours par l'intermédiaire d'un ascenseur auquel elle est reliée par un palier d'environ 5 m de longueur (figure 4).

## ■ Principes structurels

Comme déjà mentionné plus haut, la structure de la passerelle Granite est comparable à celle d'une colonne vertébrale et les tendons la supportant.

Les forces verticales sont principalement reprises par un fonctionnement en treillis, asymétrique par rapport à la poutre-caisson. Les haubans transmettent les charges du centre vers les extrémités. Plus l'on se rapproche des extrémités de la passerelle, plus les forces transmises par les haubans sont importantes : c'est la raison pour laquelle les vertèbres y sont plus hautes et plus épaisses (figure 5).

La torsion est générée par la courbe en plan du tablier et amplifiée par l'asymétrie de positionnement du « treillis ». Afin de réduire les sollicitations de torsion dans le caisson et par voie de conséquence ses dimensions, un système de retenue par câbles est mis en place : il exerce une force horizontale qui s'oppose à la torsion. La géométrie de ces câbles se dessine en suivant les efforts des vertèbres et génère un tracé excéntrique par rapport à la poutre-caisson (figure 6).

La courbe en plan et son inclinaison imposent la nécessité de stabiliser la jambe supérieure de la vertèbre dans le plan transversal de la passerelle. Le tirant de stabilisation joue ce rôle, reliant la tête de la jambe supérieure de la vertèbre au point d'ancrage inférieur,

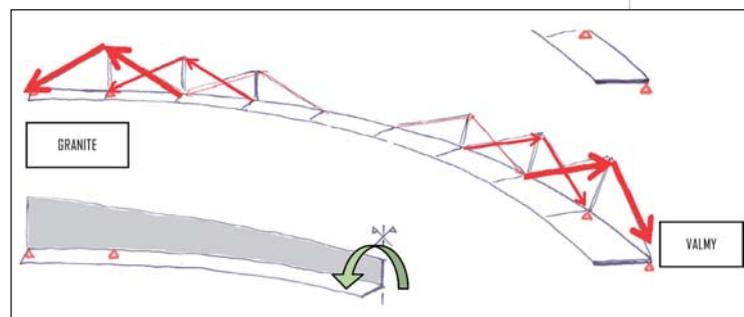


Figure 5

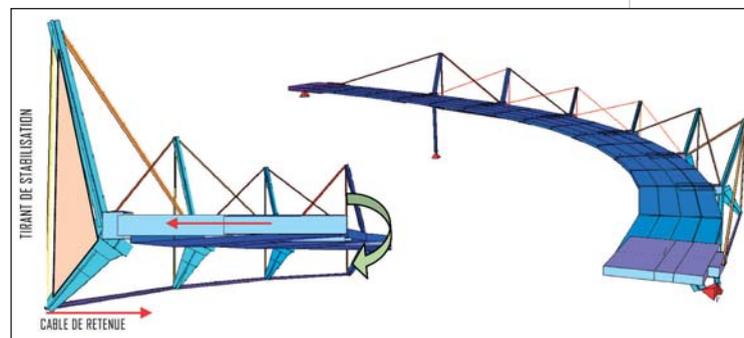


Figure 6

### FICHE TECHNIQUE - PASSERELLE GRANITE

- Longueur : 90 m
- Largeur : 4,50 m
- Acier : 300 t

#### Les principaux intervenants

- Maître d'ouvrage : EPA Seine-Arche Nanterre.
- Architecte : le cabinet Feichtinger (auteur, entre autres, de la passerelle Simone de Beauvoir)
- Bureau d'études : Schlaich Bergemann und Partners
- Entreprises : GTM Construction France (fondations), Viry (passerelle métallique), Meurant
- Sous-traitant : Sorival (montage)

## Passerelle Granite : quand les prouesses architecturales favorisent la mobilité piétonne

Photos 5 et 6



Photos 7 et 8



qui représente en même temps le point de déviation du câble de retenue.

Le caisson est léger mais suffisamment stable pour résister aux sollicitations de flexion-torsion.

### ■ Fabrication et montage de la structure

Les 26 caissons métalliques qui composent le tablier ont été fabriqués sur mesure dans l'atelier, puis acheminés par convoi exceptionnel jusqu'à Nanterre (photos 5 et 6).

Le constructeur métallique vosgien, la société Viry, a dû livrer l'ouvrage en plusieurs tronçons en raison de l'accès difficile à ce quartier de La Défense, encombré de voies routières et de chantiers en construction. L'assemblage de ces nombreux éléments a nécessité toutefois peu d'espace et engendré peu de nuisance, compte tenu de la nature des travaux et des moyens techniques mis en œuvre (soudage à l'arc électrique et dispositifs mécaniques de mise en tension des câbles).

Les tronçons de la passerelle ont été montés de nuit sur un échafaudage posé sur les trottoirs.

Photos 9 et 10



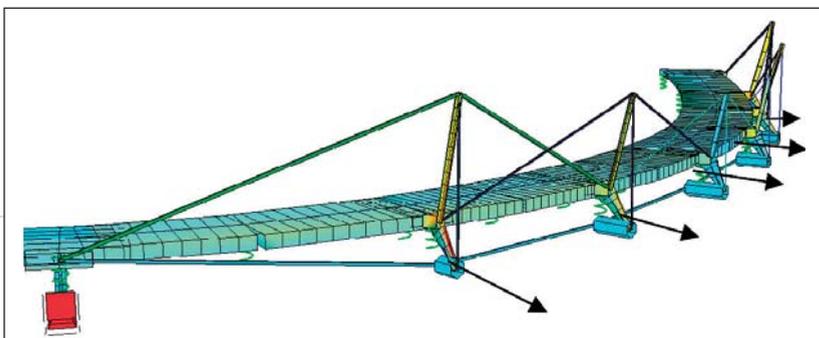


Figure 7

Les caissons sont raboutés, réglés dans une géométrie contrefléchée et finalement soudés pour former un tablier uniforme d'une longueur de 90 m.

Le tablier est posé sur des appuis réglables qui permettent de compenser les déformations dues aux soudures (photos 7 et 8).

Les éléments qui travaillent en tension, haubans et tirants, se composent de barres en acier fixées aux vertèbres par des chapes. Pour la simplification de l'installation et de la précontrainte, les barres possèdent des adaptateurs qui permettent la mise en tension et les réglages (photos 9 et 10).

### ■ Principe de mise en tension des câbles de retenue

La mise en tension des câbles de retenue est faite par un déplacement des selles radiales. Dans une géométrie initiale (au début de l'étape) les trois câbles de 65 mm de diamètre sont sans contraintes.

La précontrainte des câbles est obtenue en tirant la selle par étapes vers l'extérieur jusqu'à ce qu'ils aient atteint leur position finale (figure 7, photos 11, 12 et 13).



Photo 11



Photo 12



Photo 13



## Passerelle Granite : quand les prouesses architecturales favorisent la mobilité piétonne

Le processus de contrainte a été effectué à l'aide de vérins et de châssis de montage spécialement conçus pour cette opération.

Après l'ancrage des selles dans leurs positions finales et le dévérinage des derniers appuis auxiliaires, la passerelle est dès lors tendue librement le long de la façade vitrifiée de la Société Générale. ■

### ABSTRACT

**Granite foot bridge : architectural exploits to encourage pedestrian mobility**

A. Keil, M. Zimmermann

*The Granite foot bridge, linking one business building to another in the western Parisian business district of La Défense, reflects the policy of the developer (EPA Seine-Arche) of restoring pleasant paths between neighbourhoods.*

*The foot bridge starts from the Valmy slab located behind the Grande Arche, winds around the Société Générale tower and goes up to the base of the Granite tower.*

*The bridge involves numerous technical exploits : very limited land area used, large spans, architectural refinement possible in particular through the use of UHTS steel in heavily loaded areas, which made it possible to reduce the thickness of the metallic elements.*

*The bridge's balance is ensured by tensioning of taut cables at regular intervals, along a radial direction relative to the deck. The steel vertebrae forming the structure are maintained in equilibrium about 3,80 m from the walls of the Société Générale tower.*

### RESUMEN ESPAÑOL

**Pasarela Granite : cuando las hazañas arquitectónicas propician la movilidad peatonal**

A. Keil y M. Zimmermann

*Poniendo en comunicación dos inmuebles de negocios, en el barrio de negocio de La Défense (92) la pasarela Granite se inscribe en una voluntad de la entidad promotora (EPA) Seine-Arche que consiste en restaurar diversos paseos entre los barrios.*

*La pasarela se inicia desde la losa Valmy ubicada detrás de la Grande Arche, se enrolla en torno de la torre Société Générale, para alcanzar la base de la torre Granite.*

*La estructura acumula las hazañas técnicas : espacio construido sumamente limitado, importantes luces, afinamiento arquitectónico, fundamentalmente posible con la utilización de aceros de muy elevada resistencia en las zonas muy solicitadas que ha permitido disminuir el espesor de los elementos metálicos.*

*El equilibrio de la obra está garantizado por la puesta en tensión de cables tendidos según intervalos regulares, acorde a una dirección radial al tablero. Las vértebras de acero que constituyen la estructura van mantenidas en equilibrio, a unos 3,80 m de las paredes de la torre Société Générale.*

# Le « 104 » : une réhabilitation du bâtiment des Pompes Funèbres à Paris

**Le chantier de restructuration des Pompes Funèbres en un outil de production et de diffusion artistiques s'achève. Ce nouvel équipement culturel de la Ville de Paris, le « 104 », sera ouvert au public à l'automne prochain.**

**Le parti architectural vise à recréer l'épine dorsale de ce bâtiment classé à l'inventaire des Monuments historiques, dans le but de connecter cet établissement aux rues Curial et Aubervilliers qui le bordent, et d'organiser de façon extrêmement lisible les différentes activités prévues : salles de spectacle, plateaux de création artistique, commerces et équipements de proximité...**

**L'ampleur des travaux dans un site et des délais contraints a requis une mobilisation exceptionnelle des différents acteurs.**

**Du point de vue structurel notamment, la période d'études a permis de recueillir les informations les plus précises et exhaustives possibles sur l'existant, dans le but de définir tous les principes d'intervention.**

## ■ Le programme

Le projet vise à conjuguer production artistique et transmission au public. Sa vocation est de favoriser les échanges culturels : cohabitation de projets artistiques, présentation au public des processus de production et création, offre de services et commerces de proximité.

Pour ce faire le « 104 » accueille :

- deux salles de spectacle de respectivement 200 et 400 places;
- une vingtaine de plateaux de fabrication artistique;
- des salons d'exposition;
- des services et commerces de proximité : café presse, restaurant, maison des petits...;
- une pépinière d'entreprises;
- six logements;
- des bureaux et des espaces de logistique;
- un parking privé de 140 places.

Les directeurs de l'établissement sont Robert Cantarella et Frédéric Fisbach.

La vocation du projet est également sociale : la mutation des Pompes Funèbres, établissement abandonné depuis 1997, est le fer de lance d'une rénovation en profondeur de cette partie du XIX<sup>e</sup> arrondissement en difficulté : ouverture au printemps dernier des jardins

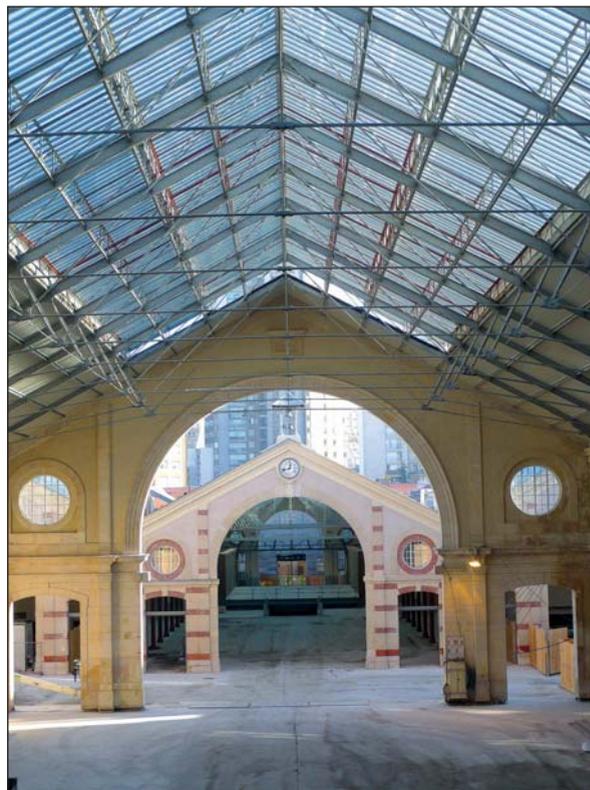


Photo 1

La halle Curial depuis la halle Aubervilliers

The Curial hall from the Aubervilliers hall

d'Éole, réhabilitation de nombreux logements rue d'Aubervilliers. Des interventions publiques d'artistes ont eu lieu dans le « 104 » et les espaces environnants durant la période de chantier, en vue de présenter le lieu aux riverains. Une clause sociale d'insertion des personnes en difficulté figurait également dans les marchés de travaux des entreprises de travaux.

## ■ Le projet

Le bâtiment des Pompes Funèbres a été érigé de 1872 à 1874 par Delebarre de Bay, sur le site de l'ancien abattoir Villette-Popincourt.

Il s'inscrit dans l'architecture de son époque : organisation rationnelle de l'espace, création de grands volumes lumineux et ventilés, structures métalliques en fonte.

Il accueillait magasins et ateliers pour la confection des cercueils, des réserves en cas d'épidémie pour ceux-ci, des écuries et stationnements pour les corbillards. Un millier d'employés travaillaient dans cet établissement, d'où partaient chaque jour plus de 150 convois.

En 1997, le bâtiment est classé à l'inventaire supplémentaire des Monuments historiques. Sont protégées à ce titre « les façades et toitures des bâtiments donnant sur les rues Aubervilliers et Curial, ainsi que les halles

**Guilhem Menanteau**  
Chef de projet travaux  
Setec Bâtiment

**Yacine Bennouna**  
Chef de projet travaux  
Setec Bâtiment

**Alain Boursin**  
Ingénieur structure  
Setec Bâtiment

Le « 104 » : une réhabilitation du bâtiment des Pompes Funèbres à Paris

Photo 2

Intervention sur les toitures Curial  
Work performed on the Curial roofing



verrières ont été reprises, résolument contemporaines sans être pour autant dissonantes avec le site. Une signalétique, basique et ludique, souligne enfin la grande lisibilité du projet.

■ L'organisation des études

L'équipe de maîtrise d'œuvre, constituée de :

- l'Atelier Novembre, architecte mandataire;
- Setec Bâtiment, bureau d'études structure et corps d'état techniques;
- Changement à Vue, scénographe;
- Jean-Paul Lamoureux, acousticien;
- Jean-Claude Drauart, économiste;
- Hervé Audibert, éclairagiste;
- L'épicerie, signalétique.

a été retenue en 2003 à l'issue d'une consultation de trois équipes pour un marché de définition.

Le permis de construire a été déposé en juillet 2005.

L'indispensable connaissance précise du site a nécessité les investigations suivantes sur l'existant :

- un rapport de février 2001, établi par le bureau d'études DBE, sur les capacités portantes des éléments structurels sur des hypothèses théoriques des caractéristiques des matériaux;
- quatre rapports d'étude de sol – décembre 2002, février et juillet 2004, janvier 2005 –, établis par Geotec;
- un diagnostic de mars 2004, établi par Coteba Management sur les caractéristiques mécaniques de l'acier et de la fonte;
- un diagnostic de février 2005, établi par le BET Aria sur les capacités portantes des structures en béton de 1937, la géométrie précise des éléments constituant les fermes métalliques supportant les couvertures ainsi que leurs capacités portantes, des sondages sur les planchers sur solives et sur des maçonneries en pierre, quelques puits de reconnaissance des assises de fondation et des essais à la plaque pour apprécier la qualité du sol recevant des dallages.

En octobre 2004, deux marchés de travaux ont été passés :

- un lot de démolition non structurelle, curage, traitement du plomb et de l'amiante;
- un lot d'injections de comblement de cavités, de dissolution du gypse;

Les travaux d'injection ont consisté à injecter gravitairement à 60 m de profondeur, environ 13 000 m<sup>2</sup> de coulis de clavage avec bentonite, selon une maille 7 x 7 m, et de 3,5 x 3,5 m dans les zones de fontis, soit environ trois cents forages.

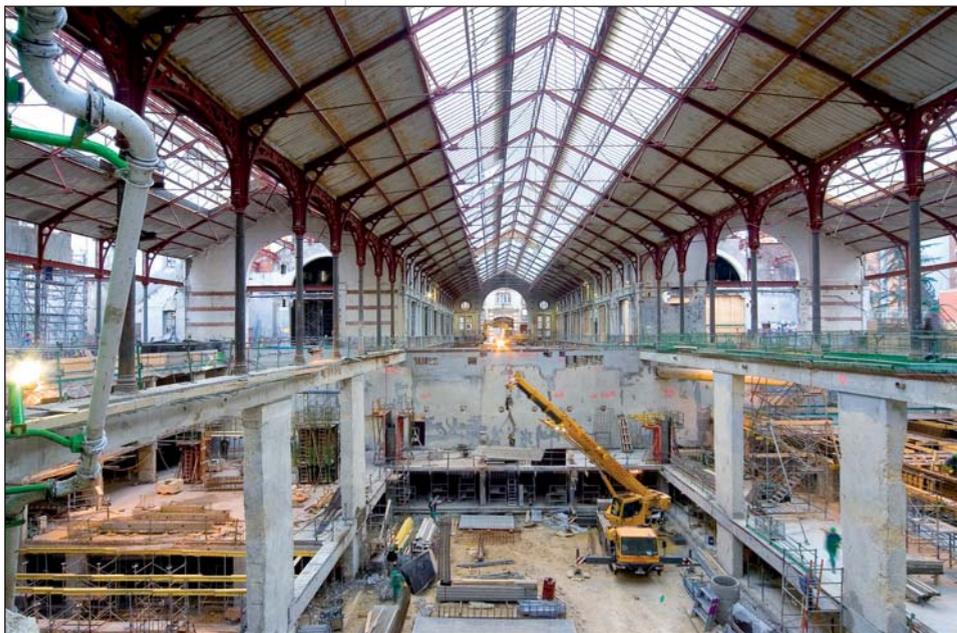


Photo 3

La construction du parking  
Construction of the parking lot

en totalité avec leurs cours ». Les attendus de l'arrêté font état de « l'originalité et (de) la qualité du programme de cet édifice fonctionnaliste, proche de l'architecture des grandes gares ».

L'intervention architecturale de l'Atelier Novembre a été principalement axée sur la mise en valeur de la transversalité du site, en reliant visuellement les deux entrées du bâtiment, le 104 rue d'Aubervilliers et le 5 rue Curial. Les baies des tympans des halles centrale et Curial ont été travaillées en ce sens. La démolition des ouvrages en béton de 1937 a permis de retrouver l'intégrité spatiale originelle.

Le long de cette rue largement couverte de plus de 200 m de long, les différentes fonctions programmatiques ont été organisées dans le respect des volumes et matériaux des espaces existants. Plus de 2 000 m<sup>2</sup> de

Le marché de gros œuvre a été attribué au groupement Lainé Delau – GTM en mars 2006, ceux des corps d'état techniques et architecturaux ont suivi avant l'été 2006.

## ■ Principes majeurs de conception structurelle

### Les fondations

Les fondations existantes de la zone centrale reposant dans les remblais, celles-ci ont été systématiquement descendues, par reprise en sous-œuvre, dans les éboulis. Dans le cas où les charges du projet étaient supérieures aux charges initiales, les porteurs concernés ont été repris en sous-œuvre pour retrouver une contrainte admissible dans les éboulis.

### Fonctionnement ouvrages existants - Ouvrages neufs

Les ouvrages réalisés dans les parties centrales de la halle Aubervilliers et halle Curial sont entièrement désolidarisés des ouvrages existants par des joints de dilatation. De même, la « boîte » contenant les parkings, située dans la partie centrale de la halle Curial, est entièrement indépendante des ouvrages périphériques tout en étant liée aux parois moulées ceinturant les parkings.

### Reprises en sous-œuvre

De nombreuses reprises en sous-œuvre ont été réalisées dans les murs existants; les plus grandes l'ont été par intégration de portiques en béton armé dans les voiles et ceinturant les ouvertures. La technique de « tabourets » supportant provisoirement les voiles en cours d'ouvertures a largement été utilisée par l'entreprise de gros œuvre, à la satisfaction du maître d'œuvre.

### Les parkings

Les trois niveaux de sous-sol ont été réalisés à l'abri d'une paroi moulée périphérique dans l'emprise des halles centrales Curial. Les poteaux des fermes Polonceau couvrant les halles centrales ont été repris en sous-œuvre après la réalisation de barrettes de fondation.

La paroi moulée côté ouest reprend en sous-œuvre la façade maçonnée côté cour de l'horloge.

La paroi moulée côté est a été réalisée après purge de la galerie existante et remplissage de celle-ci en gravement.

Les terrassements à l'intérieur de l'enceinte en paroi

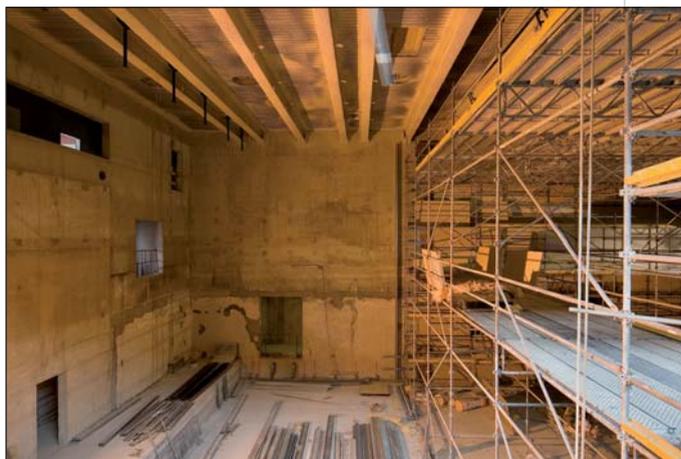


Photo 4

Réalisation de la salle 400  
Construction of room 400



Photo 5

Réalisation du plancher Aubervilliers  
Construction of the Aubervilliers floor

moulée ont été faits en butonnant par des tubes métalliques à l'avancement, sur trois niveaux. Les butons s'appuient sur les barrettes de fondation pour limiter les longueurs de flambement.

### Les planchers

Les structures des halles Aubervilliers ont été démolies, sauf les façades, et reconstruites en structure mixte béton armé sur bac acier.

Après démolition des bâtiments existants situés le long des murs mitoyens dans les halles centrales Curial, les murs mitoyens ont été renforcés pour assurer leur stabilité au vent. Les éperons encastrés en pied de la dalle à créer au rez-de-chaussée reprennent également, par l'intermédiaire des butons/tirants au niveau des appuis des fermes Polonceau, les efforts horizontaux engendrés par les forces d'entraînement du vent sur les couvertures des fermes Polonceau.

Pour les planchers des halles Curial Est, les voûtains du plancher haut du sous-sol ont été conservés, sauf dans les trames recevant des noyaux de circulations

Le « 104 » : une réhabilitation du bâtiment des Pompes Funèbres à Paris

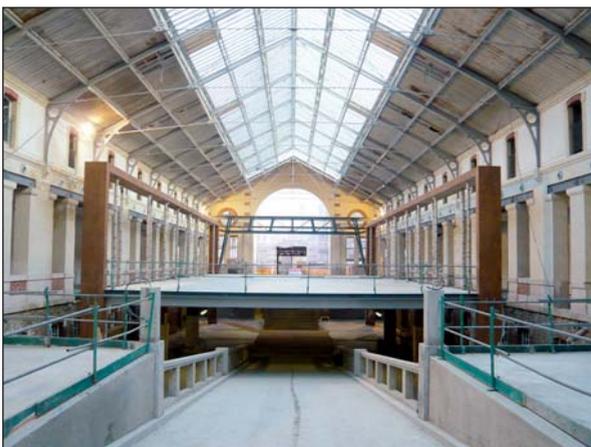


Photo 6

La placette

The “small square”

verticales (escaliers, ascenseurs), et le remplissage au-dessus des voûtes a été démoli. Des profilés posés sur les solives existantes renforcent les planchers et reçoivent une dalle en béton armé sur bac acier qui ne sollicite pas les voûtains. Le plancher haut du rez-de-chaussée a été conservé et les solives et poutres principales renforcées par des plats additionnels soudés sous les ailes inférieures.

**Les charpentes**

Seules les charpentes au droit de la halle Curial Ouest (pour les trois trames des fermes Polonceau), au droit de la halle Curial Est (pour la trame centrale des fermes Polonceau) et au-dessus de la salle à manger des artistes, ont été renforcées selon les principes suivants :

- pannes courantes : renforcement par profilé soudé à la sous-face du profilé existant;
- pannes situées au droit des couvertures rehaussées : la rehausse sert de renforcement en créant une poutre treillis et en utilisant la panne existante comme membrure inférieure de la poutre treillis;
- fermes Polonceau : renforcement des arbalétriers par plats soudés en sous-face de la semelle inférieure. ■

**LES PRINCIPALES QUANTITÉS**

- 40 000 m<sup>2</sup> SHOB
- 24 mois de travaux (hors travaux préliminaires)
- 65 millions d’euros hors taxes de travaux

**ABSTRACT**

*The “104”: renovation of the “Pompes Funèbres” building in Paris*

G. Menanteau, Y. Bennouna, A. Boursin

*The project for renovation of the “Pompes Funèbres” funeral parlour building as a facility for artistic production and dissemination is being completed. This new cultural facility of the City of Paris, the “104”, will be opened to the public next autumn.*

*The Architects turned back the registered historic building into a widely covered street, open to the rue Curial and rue d’Aubervilliers, and along which the various activities are clearly organised : auditoriums, artistic laboratories, shops...*

*The importance of the works in a difficult site and within tight delays led to an outstanding mobilization of all the actors. Concerning structural works in particular, on the basis of information as precise and complete as possible of the existing building, the studies allowed to define all the guidelines of the operation.*

**RESUMEN ESPAÑOL**

*Le “104”: una rehabilitación del edificio de las Pompas Fúnebres en París*

G. Menanteau, Y. Bennouna y A. Boursin

*Se esta finalizando la obra de reestructuración de las Pompas Fúnebres para convertirlas en una herramienta de producción y de difusión artísticas. Este nuevo equipamiento cultural de la Ciudad de París, el “104”, estará abierto al público para el próximo otoño.*

*La solución arquitectónica se propone recrear la espina dorsal de este edificio clasificado en el inventario de los monumentos históricos, con el objetivo de conectar este establecimiento con las calles Curial y Aubervilliers adyacentes, y organizar de forma sumamente comprensible las distintas actividades previstas: salas de espectáculo, plataformas de creación artística, comercios y equipamientos de proximidad, etc.*

*La amplitud de los trabajos en un emplazamiento y con plazos limitados ha requerido una movilización excepcional de los diferentes protagonistas. Desde el punto de vista estructural, fundamentalmente, el período de estudios ha permitido recoger las informaciones más precisas y exhaustivas posibles acerca de lo existente, con el fin de poder definir todos los principios de intervención.*

# Docks de Paris, cité de la Mode et du Design - Quai d'Austerlitz

Jakob+MacFarlane

RFR

Eiffage Construction

Paris Patrimoine

Eiffel

Situé à l'ouest de l'ancien port d'Austerlitz, entre le pont de Bercy et le pont Charles de Gaulle, le site de Paris Docks en Seine a été marqué pendant des décennies par la présence des Magasins généraux.

Jadis utilisés pour le stockage des marchandises et pour accueillir les péniches de fret, ce bâtiment a été l'un des premiers, il y a plus de 100 ans, à être réalisé en béton armé. Témoignage de ce que fut au début du siècle l'activité portuaire à Paris, ce bâtiment est aujourd'hui au centre d'un quartier en pleine restructuration et a pour vocation de devenir le futur pôle de la mode et du design : un centre de création et d'innovation mettant en scène expositions, commerces et restaurants autour de l'Institut Français de la Mode et du Design.

Ce futur pôle s'étend le long de la Seine, sur plus de 200 m de long et 40 m de large. Le bâtiment existant, constitué initialement de trois niveaux, se voit aujourd'hui « greffé » d'une charpente métallique et d'une structure en porte-à-faux sur la Seine appelée « plug-over », créant ainsi de nouveaux espaces pour les futurs événements.

Pour toutes les équipes intervenant sur le projet (architecte, maître d'œuvre et entreprises de travaux) le pari a été notamment de répondre à la volonté de l'architecte : conserver les

ensembles poteaux-poutres en béton armé tout en reprenant les efforts créés par la nouvelle structure (photo 1).

## ■ Le choix architectural

### Un site très contraint en bord de Seine, un bâtiment centenaire

Les Docks de Paris sont situés dans un bâtiment ancien caractérisé par la présence d'une structure massive en béton. Construit au tournant du siècle dernier, ce bâtiment était alors dédié au dépôt des marchandises acheminées par barge sur la Seine pour être ensuite distribuées par voie routière ou ferroviaire. Le bâtiment existant a été construit en 1907 comme entrepôt industriel : c'est l'une des premières constructions en béton armé à Paris. Constitué de trois niveaux, le bâtiment était conçu comme un ensemble de quatre pavillons, composé chacun d'une trame structurelle de 10 m et de quatre trames de 7,5 m. Au premier niveau – correspondant au Quai d'Austerlitz – ces différentes ouvertures (10 et 7,5 m) sont accessibles depuis la rue. Elles profitent d'une hauteur plus importante, d'environ 1,5 m, qui facilitait alors le transport, la manutention et la livraison des marchandises.

Conserver ou non la structure béton existante était un choix laissé aux participants lors du concours organisé



© Icade - Nicolas Borel

Photo 1

Vue générale

General view

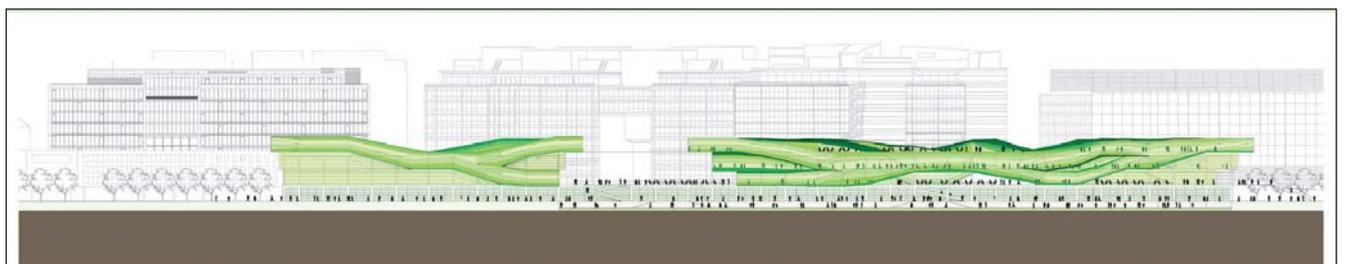
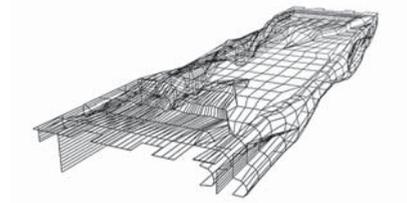
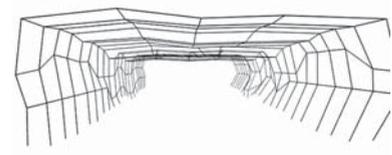
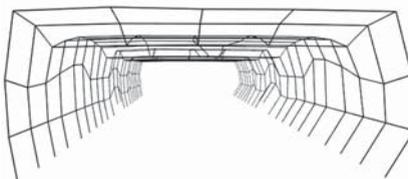
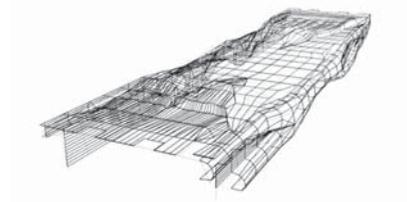
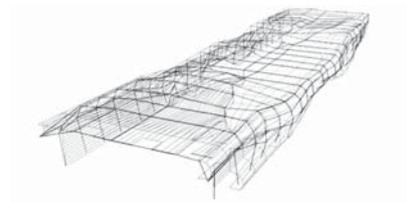
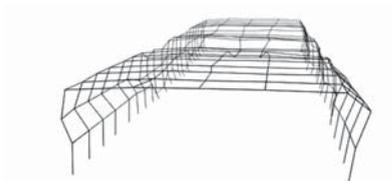
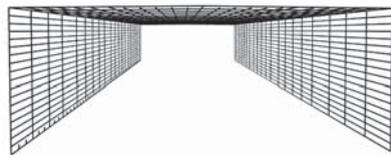
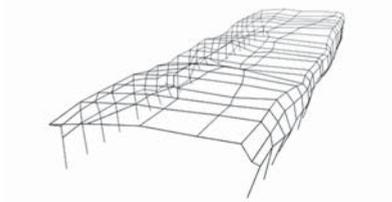
Docks de Paris, cité de la Mode et du Design - Quai d'Austerlitz



Figure 1

Concept : faire émerger la nouvelle structure à partir de l'existant

Concept: forming the new structure out of the existing one



## PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Aménageur : SEMAPA
- Investisseur : Caisse des Dépôts
- Maître d'ouvrage : SCI Docks en Seine
- Promoteur : Icade G3A
- Assistance maîtrise d'ouvrage : Tecton
- Architectes : Jakob+MacFarlane
- Bureau d'études : Icade Arcoba
- Bureau d'études Façades : RFR
- Bureau d'études structure charpente : C&E Ingénierie
- Paysagiste : Agence Devisignes
- Mise en lumière : AIK - Yann Kersalé
- Signalétique : Nicolas Vrignaud
- Bureau de contrôle : Socotec
- Coordonnateur SSI : Cabinet Caso
- Coordonnateur SPS : Veritas
- Entreprises générales : Eiffage Construction Paris Patrimoine - Eiffel
- Illustrations : Jakob+MacFarlane
- Photos : Nicolas Borel

par la Ville de Paris et la Semapa (Société d'économie mixte d'aménagement de Paris). L'agence d'architecture Jakob+MacFarlane a choisi de la conserver, et de l'utiliser pour mettre en forme et influencer le nouveau projet (photo 2).

Inspiré du flux de la Seine et des promenades sur berges qui mènent jusqu'aux nouveaux quartiers de Seine Rive Gauche, le projet transforme le bâtiment industriel en révélant son ossature en béton. Une nouvelle enveloppe constituée d'une ossature métallique légère et de panneaux verriers, appelée « plug-over » est greffée sur celle-ci. L'objectif de cette nouvelle peau est à la fois de protéger la structure existante en béton et de fournir une épaisseur supplémentaire destinée à abriter certaines fonctions du nouveau programme ainsi que la plupart des circulations publiques du bâtiment. Au niveau de la toiture cette intention prend la forme d'une terrasse accessible au public sur laquelle viennent se prolonger les fonctions abritées par le « plug-over ». Il s'agit d'une toiture paysagère facettisée, constituée d'un sol calepiné en bois et d'un complexe végétal (figure 1).

Le système structurel qui supporte cette nouvelle peau est le résultat d'une déformation systématique de la trame structurelle du bâtiment existant. Une méthode arborescente est utilisée pour créer un nouveau système à partir du système existant. Le « plug-over » semble émerger de la structure béton à la manière d'un branchage sur un arbre (figure 2).

Le concept de « plug-over » permet non seulement l'exploitation maximale de l'enveloppe du bâtiment, mais aussi la mise en place d'un espace public fluide et continu.

Le projet prolonge ainsi les promenades publiques en surplomb de la Seine jusqu'à la grande terrasse panoramique, et favorise la redescente à la façon d'une grande boucle qui inscrit le bâtiment dans le contexte



Photo 2

Le site existant avant intervention  
*The existing site before the works*

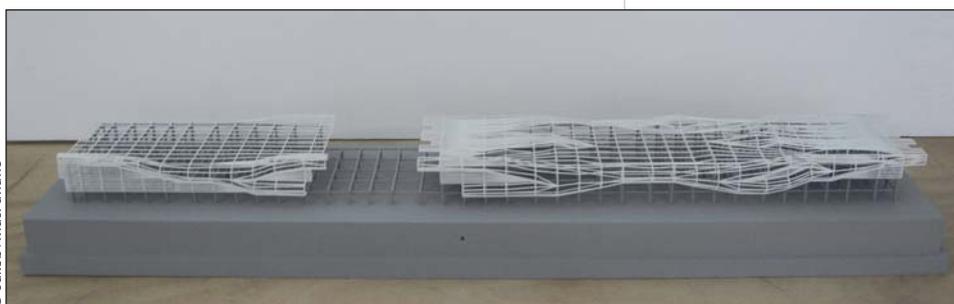


Figure 2

Maquette avec la structure existante et le « plug-over »  
*Mock-up with the existing structure and the "plug-over"*



Figure 3

Toiture-terrasse – Phase concours  
*Flat roof – Design competition phase*

urbain. Des liaisons piétonnes entre les quartiers du 13<sup>e</sup> arrondissement et la Seine relieront le niveau des quais et celui des berges. Le bâtiment devient ainsi partie intégrante des conditions urbaines du site (figure 3).

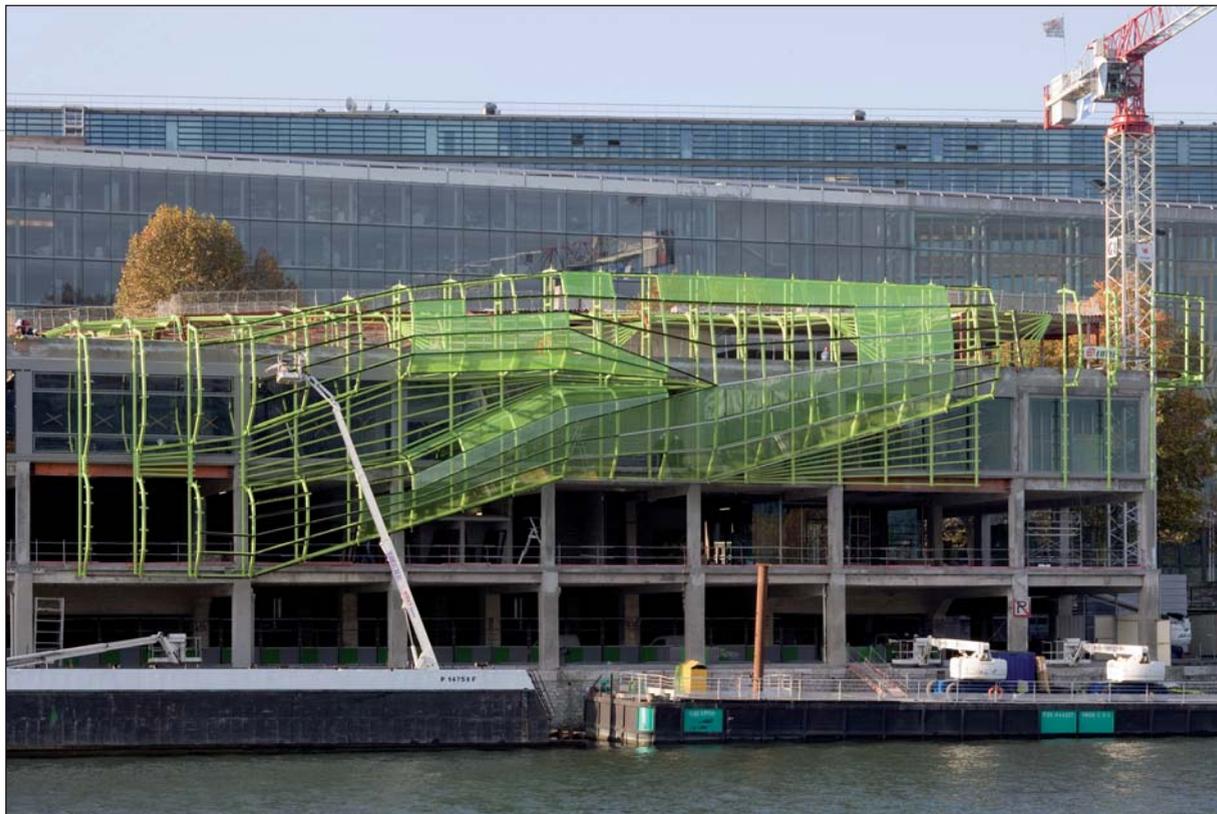
L'ensemble accueillera un mélange inédit de programmes qui répondent tous à la même thématique : la mode et le design. On trouvera notamment un important espace événementiel, l'Institut Français de la Mode (IFM), des boutiques, une librairie, des cafés et des restaurants. La nuit, l'éclairage spécifique mettra en scène le projet dont le programme prévoit une activité nocturne importante.

Docks de Paris, cité de la Mode et du Design - Quai d'Austerlitz

Photo 3

L'ossature du « plug-over » est un système de portiques verticaux suspendus au bâtiment existant

The "plug-over" structure is a system of vertical frames suspended from the existing building



© Icade - Nicolas Borel

■ La conception technique du « plug-over »

Le bureau d'études RFR est intervenu à la fin de la « phase Concours » pour assurer la conception technique du « plug-over » et les autres façades concernées par la réhabilitation.

Le volume sinueux du « plug-over » abrite des circulations verticales; il est conçu comme un pare-pluie non-étanche. La géométrie du volume et son implantation en porte-à-faux étant déjà définies, le travail initial consistait à trouver une ossature métallique et un système de support compatibles à la fois avec la résistance de la structure existante et avec la reprise des panneaux verriers.

L'ossature : un système de portiques verticaux

L'idée initiale de créer une ossature spatiale autopor-teuse sur 40 m (la distance entre joints de dilatation de la structure existante) a été abandonnée à cause de l'incapacité de la structure existante à reprendre des charges concentrées, en faveur d'un système de portiques verticaux suspendus aux intervalles de 2,5 m tout le long de la rive haute de l'existant (un élément nécessitant des reprises conséquentes en tout cas).

Ainsi, la charpente a été rendue moins sensible aux déformations de la structure existante et les rangées de portiques ont pu être reliées entre elles par des traverses bi-articulées, avec assemblage rapide et précis par boulonnage (photo 3).

Quatre baies de 2,5 m ont été transformées en poutre Vierendeel (poutre sans diagonale à assemblages rigides) par le soudage des traverses sur les portiques, pour assurer la stabilité longitudinale face aux charges du vent et des dilatations thermiques de l'existant.

Les portiques consistent en une poutre convexe extérieure, facettisée selon la géométrie imposée, et une suspente verticale intérieure. Cette dernière, tubulaire, reprend la poussée d'arc et assure en outre la stabilité transversale par appui latéral contre les dalles inférieures.

Les portiques, qui travaillent principalement en flexion à cause de leur facettisation, sont fabriqués en profils tubulaires S355 diamètre 168 mm, d'épaisseur variable entre 6 mm et 12,5 mm. Le choix de ce diamètre était fonction des sollicitations développées dans le portique le plus « déformé », et l'épaisseur était motivée par un souci d'éviter des goussets intérieurs lors des changements d'angle. La section circulaire simplifie la géométrie des assemblages contre les traverses.

Le recours aux contreventements a été nécessaire dans les facettes horizontales supérieure et inférieure afin de compenser l'absence d'appuis disponibles pour reprendre les charges du vent dans les zones concernées de la structure existante.

Les portiques situés sur les axes de l'ossature existante (7,5 m/10 m), ainsi que les limons de l'escalier principal qui les relie, reçoivent un revêtement de peinture intumescente qui leur assure une stabilité au feu

de 90 minutes; les éléments bénéficiant de cette protection ont été dimensionnés de manière à leur conférer la résistance nécessaire pour retenir les portiques intermédiaires et l'escalier en cas d'incendie.

### La peau vitrée

L'ossature est revêtue d'une peau en simple vitrage, en verre feuilleté sérigraphié vert. Les panneaux, 2,5 m à 2,7 m de large environ, sont pris en feuillure sur faces opposées, avec joints ouverts entre panneaux dans le plan vertical.

Les vitrages sont retenus par un système de capot-serreurs disposés devant les traverses, qui cheminent le long des volumes tubulaires de circulation et dessinent les « lignes de force » créées par la facettisation.

Des règles géométriques de facettisation ont été établies pour s'assurer que les surfaces générées ne soient pas gauches – une exigence indispensable pour la maîtrise du coût des panneaux vitrés. Ainsi, l'angle bissectrice entre facettes et le nombre de facettes sur une coupe transversale donnée sont constants, mais les longueurs des côtés peuvent varier dans les deux directions; chaque facette dessine un trapézoïde planaire dans l'espace 3D.

La portée des panneaux varie entre 0,6 m et 2,0 m environ selon l'emplacement; face à cette dispersion et dans un souci de maîtrise des coûts, il a été admis de varier considérablement l'épaisseur du vitrage (de 6,6 à 12,12) en respectant toutefois quelques principes nécessaires pour éviter un effet « patchwork » : maintien d'une épaisseur constante pour les panneaux qui se retrouvent dans un même plan (en général trois ou quatre panneaux), et variation d'épaisseur entre plans adjacents limitée à 2 mm, exceptionnellement 4 mm. La densité de la sérigraphie et la modulation naturelle des effets de la lumière, en termes de transmission et de réflexion entre facettes adjacentes, ont permis d'assurer un résultat visuel satisfaisant (photo 4).

## ■ Construction et mise en œuvre

### Le pari de concilier les exigences architecturales et techniques

De nombreux aménagements ont été nécessaires pour remettre aux normes ce bâtiment centenaire : création de 26 escaliers dont 15 en béton, renforcement de planchers, création de poutres supports de charpente et réalisation des ancrages permettant de reprendre la structure de 90 t du « plug-over » en porte-à-faux sur la Seine. La réalisation de ces ouvrages a nécessité une

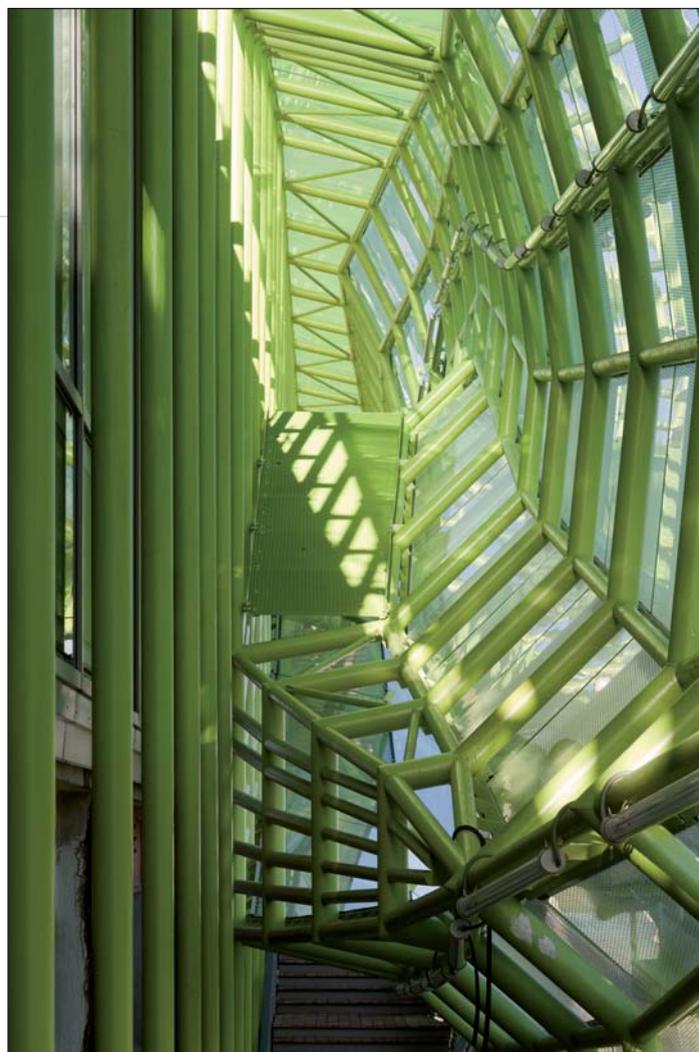


Photo 4

Le « plug-over » est constitué d'une ossature métallique légère et de panneaux verriers  
*The "plug-over" consists of a lightweight steel structure and glass panels*

© leade – Nicolas Borel

quantité importante de sondages afin de déterminer les caractéristiques de ces bétons centenaires dont la résistance (environ 17 MPa) est très éloignée de celle des bétons actuels, et de reconnaître le ferrailage disposé dans l'ensemble de ces ouvrages afin de réaliser les notes de calculs des efforts apportés par les nouvelles structures dans les meilleures conditions.

Dans le cadre de cette campagne de sondages, alors que la dimension des massifs de fondation reconnus dans le rapport de sol et après calcul à l'envers s'avérait incompatible, non seulement avec la descente de charge future, mais également avec celle du bâtiment existant, il a été entrepris une nouvelle reconnaissance située sous ces massifs existants (x\*y\*2.5 ht). Cette dernière a permis de découvrir l'existence de pieux en bois, justifiant ainsi la capacité portante des fondations.

Enfin, pour répondre à la volonté de l'architecte de conserver l'aspect initial de ce bâtiment, il a été réalisé un sablage des structures restant apparentes afin de retrouver la teinte et le grain de ces premiers bétons du XX<sup>e</sup> siècle (photo 5).

Comme les travaux de charpente métallique, les travaux en toiture ont également été l'objet d'un travail de mécanique de précision. Les travaux de couverture ont commencé par la réalisation des « buttes » végéta-

Docks de Paris, cité de la Mode et du Design - Quai d'Austerlitz



© Jakob+MacFarlane

Photo 5

Vue aérienne des Docks de Paris : concilier les exigences architecturales et techniques  
*Aerial view of the Paris Docks: reconciling architectural and technical requirements*



lisées dessinées par l'architecte. Afin de laisser la plus grande place à la végétalisation, l'ensemble des équipements techniques traditionnellement placés en toiture a été caché à l'intérieur de boîtes suspendues à la charpente. Dès lors, les travaux des différents corps d'état se sont enchaînés, tant à l'extérieur (pose de 6500 m<sup>2</sup> de platelage) qu'à l'intérieur, afin d'arriver à livrer ce prototype qui concilie exigences architecturales et techniques.

Démarré en janvier 2007, le chantier touche aujourd'hui à sa fin et s'apprête à être livré à Icade pour la fin du printemps. Cette réalisation en 16 mois comprend non seulement les travaux de construction, mais également ceux de désamiantage, de démolition, ainsi que toutes les études techniques et de synthèse.

Photo 6

Charpente tubulaire de la structure métallique  
*Tubular frame of the steel structure*



© Icade - Nicolas Borel

**Études et construction des charpentes métalliques et des façades**

Dès les premiers échanges avec le maître d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, le positionnement des entrepreneurs a été marqué par les enjeux du projet : des travaux neufs à prévoir sur un bâtiment centenaire, dans un site très contraint en bord de Seine, une géométrie complexe non définissable analytiquement, de hautes exigences architecturales liées à tout projet de référence, des enjeux politiques forts vis-à-vis de la municipalité de Paris.

Ce projet est traité en entreprise générale : Eiffage Construction Paris Patrimoine comme mandataire du groupement et Eiffel titulaire des travaux de charpente métallique et de façades.

**La mise au point du marché**

Compte tenu des enjeux, la maîtrise d'ouvrage a décidé d'impliquer les entreprises assez tôt dans le processus de conception du projet, dès la fin de la phase AP (avant-projet). Des solutions techniques ont été développées avec la maîtrise d'œuvre dans le cadre de la mise au point du projet pendant la phase initiale de mise au point du marché et également tout au long des études d'exécution. De par sa nature, le projet des Docks de Paris représente un défi ambitieux en termes de respect des délais et des coûts.

**Les études d'exécution**

Le démarrage des études d'exécution a été anticipé par rapport au marché de travaux, compte tenu des délais de réalisation très courts.

Pour les charpentes, les géométries définitives du « plug-over » Seine et des charpentes toitures ont été transmises par la maîtrise d'œuvre sous forme de fichiers Autocad 3D filaires. Le caractère aléatoire et non répétitif de la géométrie a imposé l'utilisation, pour l'étude d'exécution, d'un logiciel de modélisation 3D permettant un post-processing automatisé en termes de production des carnets de fabrication (débit et assemblage) et de débit des pièces sur les machines à commandes numériques.

En termes de calculs, les modèles éléments finis sont composés d'environ 3050 barres pour le plug et 1600 pour chaque toiture. Une approche simplificatrice des calculs est difficile à mettre en œuvre et la complexité géométrique se traduit par une sujétion d'adaptation des modèles de calculs (et d'exécution) à chaque changement de géométrie pour des raisons de compatibilité avec les corps d'états en interface dont les études d'exécution sont conduites en parallèle.



© Icade - Nicolas Borel

#### Photo 7

La pose des éléments façades Seine (charpente et vitrages) a été réalisée depuis deux barges louées pour la durée du chantier et stationnées sur la Seine au pied du bâtiment  
*The Seine facade elements (frame and glazing) were placed from two barges hired for the period of the project and moored on the Seine at the base of the building*

Le nombre d'heures total d'études (calculs, plans d'exécution et de fabrication) est supérieur à 24000 heures.

#### La fabrication

L'ensemble des pièces composant les charpentes (plug et toitures) ont été débitées sur des machines à commandes numériques, directement à partir des fichiers créés par les modélisations 3D. L'assemblage des éléments de structure et le montage à blanc de ces puzzles géants (26000 pièces pour le plug, 12000 pièces pour les toitures) représentant au total 136 t de charpente tubulaire (90 t pour le plug) et 128 t en profilés laminés, ont été réalisés entièrement en usine afin de garantir au maximum la géométrie finale au moment de l'assemblage sur le chantier, et plus particulièrement permettre l'ajustement des vitrages du plug (photo 6).

La fabrication des 64 arcs du plug a été réalisée sur des « marbres », tables à dessin de 15 m de long et 4 m de large, équipées d'un système de règles horizontales et verticales avec stylet sur roulement permettant le positionnement précis de chaque pièce dans le plan.

Les traverses ont été préfabriquées. Les goussets d'assemblage par boulonnage des traverses sur les arcs sont soudés par pointage puis soudés définitivement pendant le montage à blanc de deux arcs consécutifs.

La fabrication du « plug-over » représente un ratio de

temps de fabrication de 150 h/t soit bien supérieur aux ratios usuels pour de la charpente plus traditionnelle (environ 15 h/t pour un bâtiment industriel). Pour la fabrication des toitures, ce ratio est de 69 h/t.

La construction de l'escalier à l'intérieur du plug a été réalisée suivant le même principe que la charpente principale et résulte en un travail de serrurerie remarquable.

La peau du plug est constituée de 640 panneaux de vitrages durcis feuilletés trapézoïdaux différents, avec cinq compositions d'épaisseurs, sérigraphiés par un motif ayant trois densités différentes, et maintenus par un système de parclosage conçu spécialement et se traduisant par 62 configurations différentes.

Les éléments de façades (montants, traverses, capots, vitrages, tôleries) ont été fabriqués à partir des carnets de fabrications produits par le bureau d'études, tous les éléments étant sur mesure par rapport au bâtiment existant dont la géométrie est loin d'être régulière, puis entièrement assemblés au chantier.

#### Le montage

La mise en œuvre des charpentes et des façades sur site est contrainte à la fois par l'ouvrage existant, des délais courts, la superposition des travaux avec les autres corps d'états et le site très exigu (photo 7).

La pose des éléments façades Seine (charpente et vitrages) s'est faite depuis deux barges louées pour la

Docks de Paris, cité de la Mode et du Design - Quai d'Austerlitz



© Icade - Nicolas Borel



© Icade - Nicolas Borel

Photos 8 et 9

Montage de la structure mixte métal + verre  
*Erection of the composite metal and glass structure*



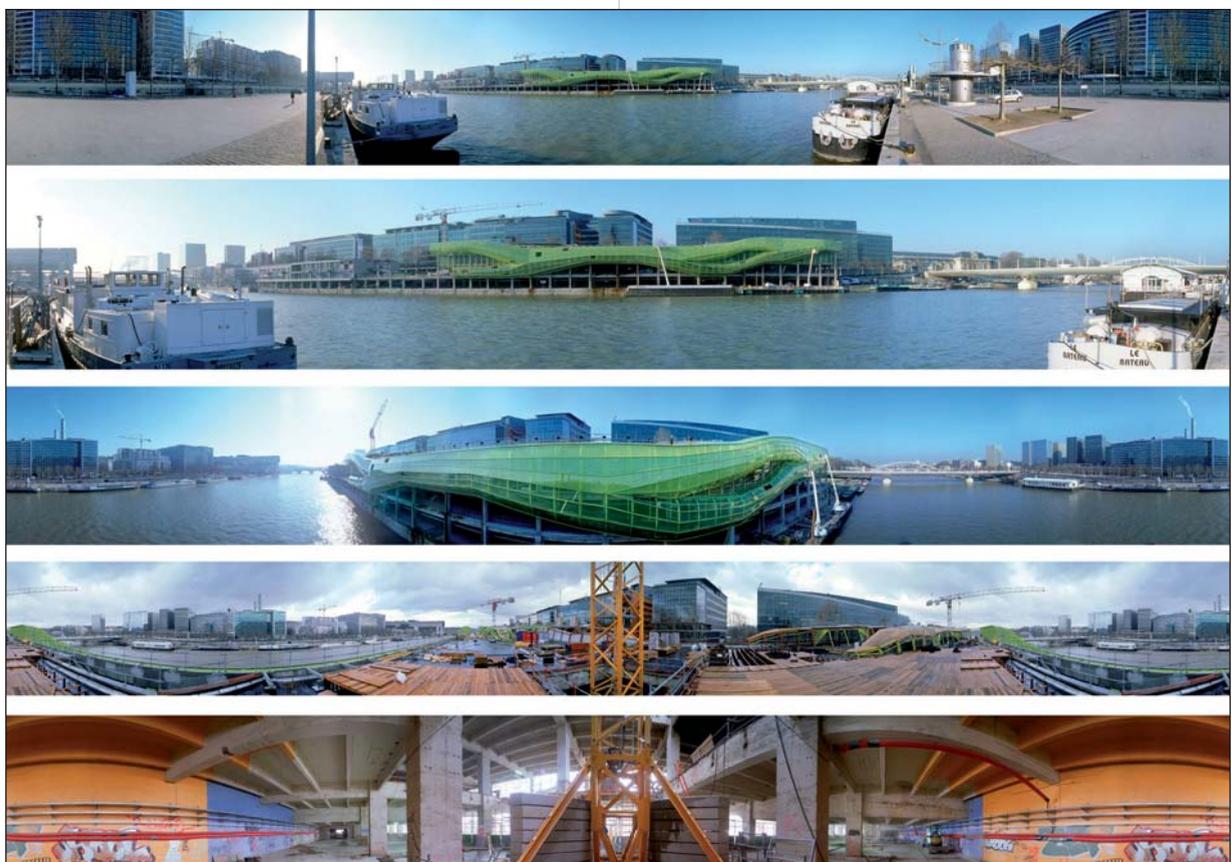
durée du chantier et stationnées sur la Seine au pied du bâtiment.

La pose des éléments de charpente s'est effectuée à partir des grues positionnées à l'intérieur du bâtiment (photos 8 et 9).

La difficulté d'adaptation à l'existant a concerné toutes les pièces en interface comme les pièces d'ancrage

(relevé géométrique systématique et adaptation des supports et/ou des pièces métalliques, chevillage des éléments de charpente interdit compte tenu de l'état du béton, etc.) et les éléments de façades.

De sa conception à sa réalisation, ce projet des Docks de Paris est l'histoire d'une reconversion « haute couture »



des anciens Magasins généraux en une sculpturale Cité de la Mode et du Design. Afin de pouvoir gagner ce formidable pari, plusieurs équipes d'Eiffage ont été sollicitées : non seulement Eiffel, en groupement avec Eiffage Construction Paris Patrimoine (mandataire), mais également Forclum pour les travaux d'électricité et CICO pour les travaux de sprinklage.

Cette transversalité, voulue non seulement par la direction mais par les équipes de travaux, a permis de mener à bien ce projet d'envergure dans les meilleurs délais et en appréhendant au mieux l'ensemble des problèmes techniques, et ce dès l'appel d'offres. ■

## **ABSTRACT** *Paris Docks, Cité de la Mode et du Design - Quai d'Austerlitz*

---

*Jakob+MacFarlane, RFR,  
Eiffage Construction, Paris Patrimoine,  
Eiffel*

*Located to the west of the old Austerlitz Port, the Paris Docks on Seine site was occupied by general stores for several decades.*

*Formerly used to store goods and receive freight barges, this was one of the first buildings to be constructed in reinforced concrete. It is now set to become a fashion and design centre.*

*Onto this three-level building (200 m long by 40 m wide) has now been grafted a steel frame and a structure overhanging the Seine known as the "plug-over", thereby creating new space for future events.*

*For all the teams involved in the project (architect, project manager and contractors), the big challenge was to meet the architect's desire to preserve the reinforced concrete column-and-beam assemblies while absorbing the forces created by the new structure.*

## **RESUMEN ESPAÑOL** *Depósito de mercancías de París, ciudad de la Moda y del Design - Andén Austerlitz*

---

*Jakob+MacFarlane, RFR,  
Eiffage Construction, Paris Patrimoine,  
Eiffel*

*Ubicado al Oeste del antiguo puerto fluvial de Austerlitz, el sitio de Paris Docks en Seine se destacaba durante decenios por la presencia de los Almacenes generales.*

*Anteriormente utilizado para el almacenamiento de las mercancías y recibir las gabarras de carga, este edificio fue uno de los primeros, cuya ejecución fue realizada con hormigón armado. Esta construcción tiene, en la actualidad, como función llegar a ser el futuro polo de la moda y del design.*

*Este edificio de tres niveles (200 m de longitud por 40 m de anchura), está actualmente cubierto con una estructura metálica y una estructura en voladizo sobre el río Sena que se denomina « plug-over », creando así nuevos espacios para las futuras manifestaciones.*

*Para todos los equipos que actúan para el proyecto (arquitecto, director del proyecto y empresas) el reto ha consistido, fundamentalmente, en responder a la voluntad del arquitecto : conservar los conjuntos postes-vigas de hormigón armado conservando siempre los esfuerzos creados por la nueva estructura.*

# Collecteurs du boulevard en Seine-Saint-Denis

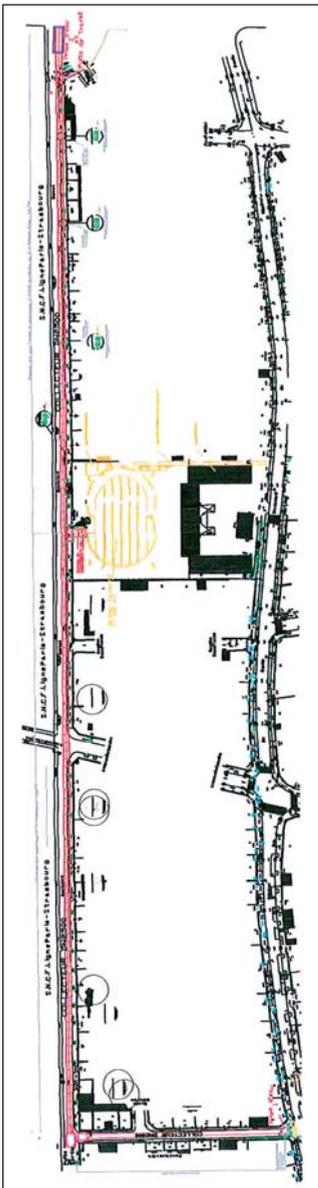


Figure 1

Implantation des ouvrages

Works layout

Les ouvrages à réaliser sont situés sur la commune de Villemomble, dans le département de la Seine-Saint-Denis.

Les travaux de réalisation des collecteurs d'eau s'inscrivent dans le projet d'ensemble du « Bassin enterré Carnot », destiné à délester et à stocker par temps de forte pluie les effluents transitant dans les ovoïdes existants situés boulevard du général De Gaulle et rue de la Montagne Savart.

Entre les mois de mai et août, chaque année, de violents orages accompagnés de pluies abondantes provoquent souvent des inondations au niveau des boulevards Carnot et De Gaulle. Pour les éviter, la DEA 93 (Direction de l'Eau et de l'Assainissement du 93) a fait réaliser un bassin de stockage qui, en cas de forts orages, recueillera les afflux d'eau. Le génie civil du bassin a été achevé à la fin du premier semestre 2006 et les travaux en cours ont pour but de réaliser les collecteurs de déversement et le raccordement à ce dernier.

Le projet prévoit deux collecteurs d'alimentation raccordés à l'existant au niveau des prises d'eau n° 1 et n° 2 rue Montagne Savart et boulevard du général De Gaulle qui achemineront et stockeront les surplus d'eau jusqu'au bassin.

Le groupement Eiffage TP - Sade réalise pour un montant de 6,8 millions d'euros HT :

- les deux collecteurs d'alimentation (le principal DN 2500 : longueur 550 m et le DN 2000 : longueur 103 m) avec un fil d'eau moyen de 10,50 m de profondeur ;
- les deux prises d'eau sur les collecteurs existants ;
- le raccordement au bassin ;
- neuf regards de visite d'accès au nouveau collecteur.

Les ouvrages réalisés sont situés sur la commune de Villemomble, dans un quartier bordé par un viaduc



Photo 1

Puits de travail

Work shaft

SNCF, en limite des agglomérations de Gagny et du Raincy.

Les travaux sont situés dans un environnement urbain particulièrement dense. Les accès aux emprises s'effectuent par des voies communales étroites.

Le boulevard Carnot dessert un nombre conséquent de pavillons pour lesquels le phasage des travaux doit intégrer le maintien des accès pour les riverains.

Les réseaux concessionnaires (gaz, évacuation des eaux usées, eau potable) sont donc très importants.

Le collecteur principal s'inscrit dans l'alignement du boulevard Carnot, lequel longe la voie SNCF Paris-Strasbourg surmontant un remblai formé d'un mur poids d'une hauteur de 8 m.

## ■ Contraintes environnementales

Les principales difficultés portent sur :

- la réalisation des puits, compte tenu de l'exiguïté des emprises et des fortes sollicitations engendrées par le mur SNCF sur le soutènement des parois ;
- la réalisation du collecteur principal DN 2500 qui ne doit pas créer de désordres du terrain pouvant provoquer des risques de tassement du mur SNCF (figure 1 et photo 1).

Afin d'évaluer l'impact en surface du creusement, le groupement Eiffage-Sade a réalisé une étude de modé-

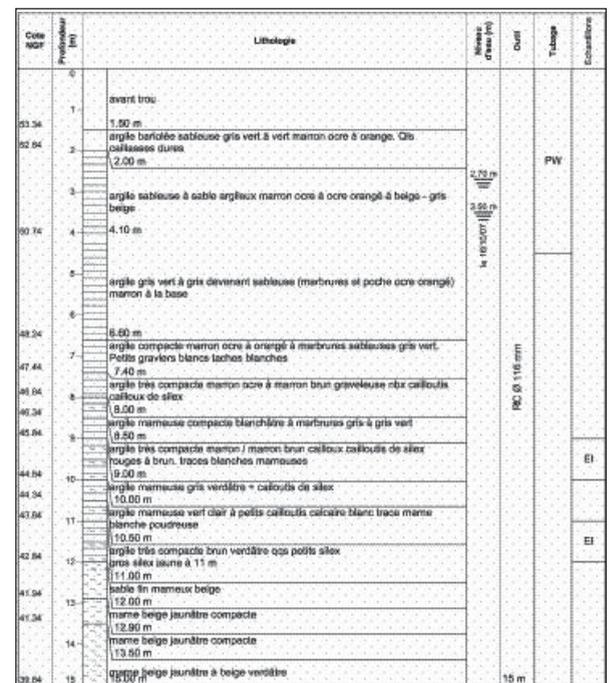


Figure 2

Coupe géologique

Geological cross section

# Carnot à Villemomble

**Guy Lechantre**  
Directeur d'Exploitation  
Eiffage TP

**Éric Mordant**  
Ingénieur Travaux  
Eiffage TP

lisation numérique des tassements. Les valeurs ainsi calculées par la méthode des éléments finis montrent que les tassements à moins de 3,50 m d'une voie exploitée ne dépassent pas la valeur de 10 mm.

De plus, la DEA a mis en place un suivi topographique (nivellement de précision) du mur poids et des voies SNCF tout au long de la réalisation des travaux. Un seuil d'alerte a été fixé à 6 mm. En cas de dépassement, une procédure à respecter a été mise en place et se décompose comme suit :

- appel systématique et sans délai de la SNCF par le géomètre qui assure la surveillance topographique 24 heures sur 24;
- vérification par la SNCF sur place, des valeurs relevées par le topographe comparées aux valeurs d'alerte de la Notice particulière de sécurité ferroviaire (NPSF);
- en cas de dépassement du seuil d'alerte, définition des modalités pour la poursuite des travaux.

## ■ Contraintes géologiques

L'ensemble des ouvrages se situe sur un versant du massif de l'Aulnaye, dans l'axe d'un talweg constitué de formation du quaternaire. La superposition des couches de terrains rencontrés depuis le haut vers le bas comprend :

- les remblais : ce sont des remblais sableux et limoneux d'épaisseur comprise entre 1 et 2 m;
- les éboulis sableux : cet horizon est constitué par des sables argileux pouvant contenir quelques poches de sable. Leur épaisseur varie de 2 à 4 m;
- les éboulis marno-argileux : cet horizon d'une puissance de 13 m est constitué par des argiles présentant un faciès hétérogène de marnes argileuses beige à verdâtre.

Trois niveaux de nappe sont présents dans les formations précédemment décrites :

- l'eau des éboulis : il s'agit essentiellement d'une circulation d'eau située dans les éboulis sableux, qui se trouve alimentée par la pluviométrie. La perméabilité mesurée dans les éboulis argileux, de  $1,2 \cdot 10^{-6}$  m/s à  $1 \cdot 10^{-7}$ , est suffisamment faible pour considérer que cette formation constitue le mur de ce premier aquifère;
- l'eau des marnes infragypseuses : il s'agit d'une nappe alimentée par les percolations au travers des terrains superficiels, dont le toit est situé à la cote comprise entre 42,10 NGF et 41,00 NGF, soit au niveau voisin du radier du collecteur Ø 2500 au point le plus bas, au droit du raccordement au bassin;
- l'eau de la nappe de marno-calcaire de Saint-Ouen : il s'agit d'une nappe en charge sous le niveau infé-



**Photo 2**  
Centrale de fabrication coulis pour paroi souple  
Cement grout production plant for flexible wall

rieur des marnes infragypseuses. Son niveau stabilisé est voisin de la cote 42,5 NGF. Cette nappe ne concernera donc pas l'exécution des ouvrages de la présente tranche de travaux (figure 2).

## ■ Méthodes de réalisation

### Puits d'accès

Le dimensionnement des ouvrages, principalement conditionné par la proximité du mur poids de la SNCF et par la présence d'une nappe perchée dans des terrains peu cohérents, conduit à réaliser les ouvrages d'accès par un soutènement préalable en parois souples. Cette technique présente l'avantage de supprimer la décompression du terrain en place, de limiter les déformations du terrain, et d'empêcher les infiltrations d'eau et l'entraînement des fines.

En revanche, la faible résistance du coulis même après sa prise complète (résistance maximale ne dépasse pas 5 MPa à 90 jours) engendre l'obligation de faire un soutènement en cadre métallique au fur et à mesure du terrassement. Le type de cadre nécessaire est du HEB 450 et l'entraxe entre cadre varie de 2,50 m à 0,80 m.

Le puits de travail situé à l'intersection du boulevard Carnot et rue de la Montagne Savart permet d'assurer l'installation du tunnelier, l'évacuation des déblais et d'intégrer le puits de la prise d'eau n° 2.

Le puits de sortie du tunnelier localisé à l'intersection du boulevard Carnot et rue Alexandre, est le départ de la galerie DN 2000 (photos 2, 3 et 4).



**Photo 3**  
Excavation du puits de travail  
Excavation of the work shaft

Collecteurs du boulevard Carnot à Villemomble en Seine-Saint-Denis

Photo 4

Terrassement du puits de travail entre paroi souple  
*Work shaft earthworks between flexible walls*

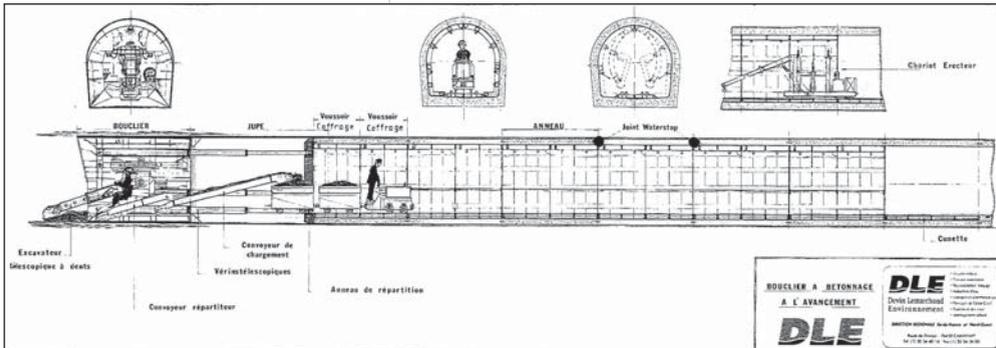


Figure 3

Plan de principe du tunnelier  
*Schematic drawing of TBM*

Photo 5

Galerie DN 2500  
*Gallery of ND 2500 mm*



Photo 6

Marinage par wagonnets  
*Muck removal by mine cars*



**Collecteur principal d'alimentation DN 2500**

Il s'agit d'une galerie d'une longueur de 550 ml réalisée à l'aide d'un bouclier à bétonnage à l'avancement appartenant à Eiffage Travaux Publics Réseaux. Le tunnelier en forme de « fer à cheval » de diamètre 2500 intérieur permet, à l'abri d'une jupe, de terrasser 4 ml journaliers avec un bras équipé d'un godet. Les terres excavées sont évacuées à l'aide d'un tapis convoyeur rejetant les déblais dans une benne tractée par un locotracteur (figure 3 et photo 5).

**Phasage des travaux**

Lorsque l'ensemble des installations est opérationnel et que le tunnelier et ses équipements sont entièrement installés, la cadence mensuelle est d'environ 80 ml par mois.

**Le creusement**

Les terrains découpés en mottes sont extraits par un convoyeur puis déchargés dans des bennes tractées par un locotracteur électrique circulant sur rails. Les bennes sont remontées en surface au niveau du puits de travail, au moyen d'une grue à tour qui assure leur vidange dans des bennes ampiroles (photo 6).

**Le ferrailage et coffrage**

Les armatures sont livrées sur le chantier, soudées, coupées et façonnées, prêtes à l'emploi. Elles sont stockées en surface et descendues sur un chariot par la grue et amenées jusqu'au plot en cours à l'aide du locotracteur. Elles sont installées sur le chariot dans l'ordre de montage. L'assemblage dans la galerie est entièrement effectué manuellement, c'est pourquoi les éléments sont nombreux pour permettre leur manutention.

La jupe du tunnelier joue le rôle de coffrage extérieur. Le casque de poussée est prévu pour monter un joint d'étanchéité à chaque reprise de bétonnage. Les éléments de coffrage sont manipulés à l'aide du chariot équipé de vérins hydrauliques qui permettent le réglage et la mise en place et le décoffrage. Les coffrages sont « démontés » au fur et à mesure de l'avancement du ferrailage. En effet, pour bétonner le plot, on utilise le coffrage de la cunette n° 6, et les coffrages de la voûte n° 5. Ainsi, il n'y a pas de manipulations « inutiles » mais il faut prévoir un jeu de cinq coffrages voûte et six de la cunette. Il est obligatoire de respecter cet enchaînement des coffrages pour permettre au béton d'acquies sa résistance minimale avant de reprendre les efforts de poussée du tunnelier. En effet, les vérins de celui-ci s'appuient sur le bouclier qui retransmet les efforts aux plots réalisés (photo 7).



Photo 7

Mise en place du coffrage de voûte  
*Installing the roof formwork*

### Le coulage du béton

Il est effectué par une pompe à béton située en surface. Un coulis de ciment (barbotine) est envoyé avant le béton pour lubrifier les conduites. Le béton a été coulé jusqu'à 360 m de distance.

Pour s'assurer du bon remplissage des coffrages, des « niches » situées en voûte permettent de contrôler l'avancement du bétonnage. On effectue la vibration du béton à chaque toupie. Après calfeutrage de ces niches un dernier envoi du béton de clavage permet de s'assurer du bon remplissage des coffrages.

### Station intermédiaire

La longueur de la galerie étant supérieure à 350 m, il a été nécessaire de déplacer l'installation de bétonnage. En effet, il devient difficile de pomper le béton au-delà. Il faut donc déplacer la pompe à béton, la centrale d'injection et prévoir un branchement électrique.

Cette station est positionnée à mi-chemin entre l'entrée et la sortie et surtout au niveau d'un regard pour acheminer tous les câbles et conduites de la surface jusqu'à la galerie, sans créer un puits supplémentaire. L'étanchéité de la galerie doit être respectée pour conserver la mise en pression de la galerie. C'est pourquoi ce « déménagement » ne doit intervenir qu'après le dépassement du regard-station.

L'évacuation des déblais et la descente des armatures sont toujours effectuées depuis le puits de travail.

### Injections et remplissage des vides annulaires

Les injections se font au niveau du plot n-2 avec un coulis bentonite-ciment réalisé en surface et envoyé à l'aide de la pompe.

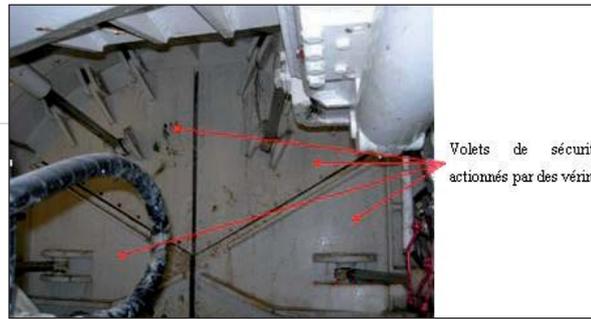


Photo 8

Volets vus de l'intérieur de la machine  
*Shutters seen from inside the machine*

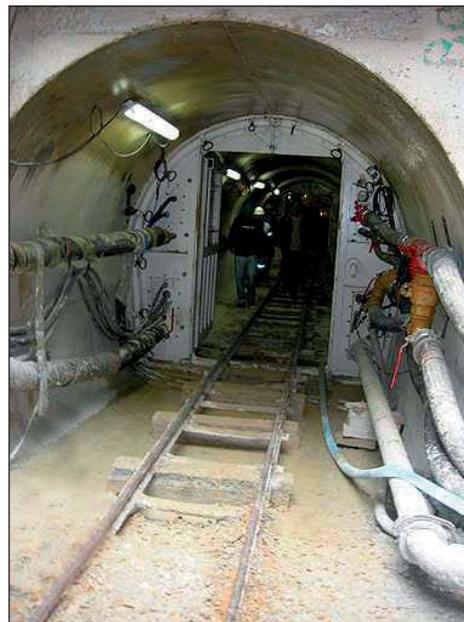


Photo 9

Première porte du SAS  
*First air lock door*

### Les moyens techniques pour stabiliser le front de taille

Une des contraintes du projet est l'hétérogénéité des terrains rencontrés sur le tracé du tunnelier. Le contexte géologique peut changer de caractéristiques en moins d'un mètre. La machine passe d'un terrain à forte cohésion à un terrain décomprimé comportant des arrivées d'eau, engendrant une forte déstabilisation du front de taille.

Pour y faire face deux types de solutions ont été utilisées. La première est l'utilisation des volets permettant de diminuer la section d'abattage et ainsi améliorer la stabilité. Six volets indépendants couvrent l'ensemble de la section (photo 8).

La deuxième solution retenue quand la première n'est plus suffisante, c'est la mise sous pression (0,9 bar nécessaire) de l'ensemble de la galerie afin d'appliquer sur le front de taille une contrainte assurant sa stabilité.

La production d'air est assurée depuis la surface par deux suppresseurs associés à une unité de régulation et de détenteurs. L'accès du personnel et des convois s'effectue au moyen d'un sas équipé de cloisons étanches pourvues de portes au gabarit du train d'évacuation des déblais (photo 9).

Collecteurs du boulevard Carnot à Villemomble en Seine-Saint-Denis

Figure 4

Schéma de principe du fonçage avec extension du puits pour descente des tuyaux

Schematic diagram of boring with shaft extension for lowering the pipes

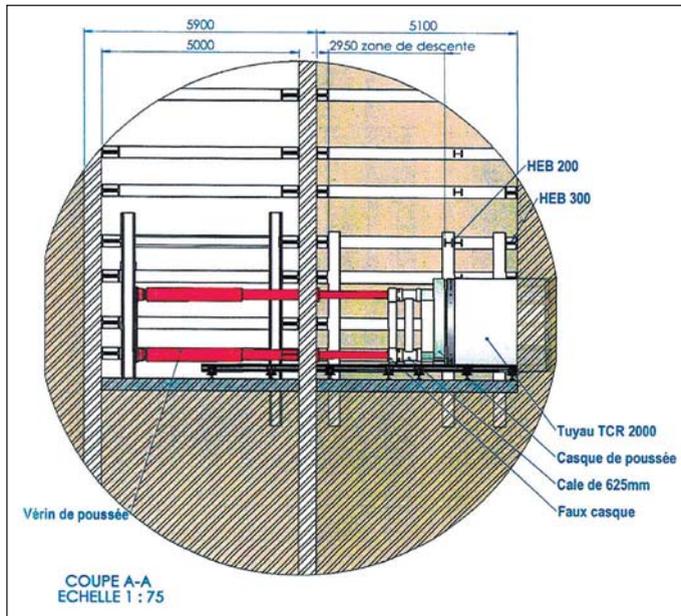


Photo 10

Terrassement d'un regard de visite

Earthworks for an inspection manhole

Ce travail, effectué à une pression inférieure à 1,2 bar, est accessible aux hyperbaristes titulaires du Certificat d'aptitude à l'hyperbarie Mention D Classe 1A. Ce certificat est délivré à tout salarié reconnu médicalement apte par le médecin du travail et ayant suivi avec succès la formation. Chaque travailleur fait l'objet d'une surveillance médicale spéciale, tous les 6 mois pour les sujets de plus de 40 ans et annuelle pour les plus jeunes. Les équipes travaillent sous air comprimé pendant une période maximale de 8 heures.

Une formation finale d'une journée est consacrée aux rappels théoriques, à une formation pratique sur site et aux tests d'évaluation.

Pour ne pas multiplier les cycles de compression-décompression subis par le conducteur du locotracteur il est nécessaire de mettre en place deux chauffeurs : le premier effectuant les voyages front de taille - sas côté galerie, et le second chargé de la partie sas côté extérieur - puits. Ainsi chaque ouvrier travaillant dans la galerie ne supportera qu'une seule compression-décompression dans une journée.

### Collecteur secondaire d'alimentation DN 2000

Cette galerie est réalisée par la méthode du fonçage. Pour permettre l'installation du matériel de poussée et la pose des tuyaux il a fallu agrandir le puits de sortie existant de 5,10 m x 3,90 m. Il a été terrassé à l'aide d'une grue mobile pour remonter les déblais à la surface.

Un mur de poussée a été réalisé dans le puits de sortie du tunnelier.

Les trois premiers tuyaux sont terrassés manuellement.

Une machine d'abattage muni d'un convoyeur sera installée dans les premiers tuyaux. Les matériaux de déblais seront évacués par benne et locotracteur jusqu'au puits où une grue mobile les évacuera.

Pour diminuer les frottements entre le terrain et les tuyaux, un coulis bentonite-ciment sera injecté dans le vide annulaire.

Au 1<sup>er</sup> février 2008 l'installation est terminée mais il faut attendre d'avoir posé trois tuyaux avant de pouvoir mettre en place la trousse d'excavation (figure 4).

### Prises d'eau

Elles sont implantées dans les emprises des puits de travail du tunnelier et dans celui de sortie du fonçage. Le groupement réalisera donc le génie civil dans les puits déjà réalisés et effectuera par la suite, les raccordements au collecteur existant.

### Regards de visite

Longs de 2,75 m et de largeur variable (entre 1,50 m et 2,50 m), les neuf regards de visite des collecteurs sont terrassés à l'aide d'un blindage bois et cadre métallique type HEB 200. Des polygrues (treuil de levage mobile) sont installées à chaque regard pour permettre l'évacuation des terres et l'approvisionnement en matériaux. Ces grues ne peuvent manutentionner que 250 kg de charge.

Le génie civil est réalisé avec des coffrages manportables standards et ajustables pour tous les regards.

Les aciers sont coupés et façonnés en usine pour faciliter le travail des ouvriers sur le chantier (photo 10 et figure 5).

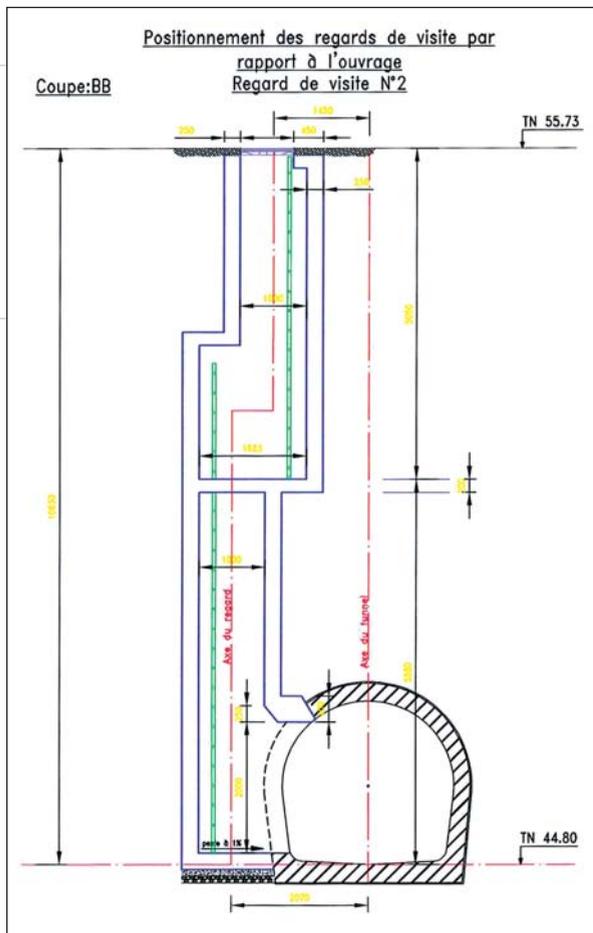


Figure 5

Positionnement des regards de visite par rapport à l'ouvrage

Location of inspection manholes relative to the structure

## Conclusion

Ce chantier pour la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de la Seine-Saint-Denis, se distingue non seulement par sa technicité – qui requière d'utiliser différentes méthodes pour exécuter les travaux : paroi souple, bétonnage à l'avancement, blindage traditionnel –, mais aussi par ses contraintes géologiques et environnementales. ■

## ABSTRACT Main drains of Carnot boulevard in Villemomble, Seine-Saint-Denis region

G. Lechantre, E. Mordant

The works to be executed are located in the district of Villemomble, in the Seine-Saint-Denis "département".

The works for execution of the main water drains form part of the overall "Carnot underground basin" project, designed to relieve the load in very rainy weather and store the effluents passing through the existing oval drains located on Général De Gaulle boulevard and Montagne Savart Street.

Between May and August each year, violent storms accompanied by heavy rain often cause flooding at the level of Carnot and De Gaulle boulevards. To avoid this, DEA 93 (water and sewerage board of the Seine-Saint-Denis "département") has had a storage basin built to collect the water influx in the event of heavy storms. Civil engineering works for the basin were completed at the end of the first half of 2006 and work is in progress to build the overflow drains and connect them to the basin.

## RESUMEN ESPAÑOL Colectores del bulevar Carnot en Villemomble - Seine-Saint-Denis

G. Lechantre y E. Mordant

Las estructuras que caben ejecutar están ubicadas en el municipio de Villemomble, en el departamento de Seine-Saint-Denis.

Los trabajos de realización de los colectores de agua figuran en el proyecto global del "depósito enterrado Carnot", destinado en deslastrar y almacenar por tiempo de fuerte lluvia los efluentes que transitan en los ovoides existentes situados bulevar del general De Gaulle y calle de la Montagne Savart.

Entre los meses de mayo et agosto, cada año, violentas tormentas acompañadas de lluvias abundantes provocan frecuentes inundaciones a nivel de los bulevares Carnot y De Gaulle. Para evitar estas inundaciones, la DEA 93 (Dirección del Agua y del Saneamiento del departamento 93) ha procedido a la realización de un depósito de almacenamiento que, en caso de fuertes tormentas, permitirá recoger los flujos de agua. La ingeniería civil del depósito se ha finalizado hacia finales del primer semestre de 2006 y los trabajos actualmente en curso consisten en ejecutar los colectores de vertido y la conexión con este último.

# Approche de la démarche en aménagement urbain

La notion de durabilité supporte mal les discontinuités, les sectorisations ou les prises en compte partielles.

Sa cohabitation avec la construction d'un projet, et ce depuis le démarrage des études jusqu'à la conduite du chantier, impose des cheminements spécifiques de problématique et d'élaboration de la réflexion qui changent les habitudes de conception.

C'est un outil polyvalent, fragile car populaire, qui ne peut donner vraiment entière satisfaction que s'il devient le postulat décisif du projet. Et ceci, non pas en tant que faire-valoir ponctuel, mais comme l'affirmation d'une démarche concertée, intégrée et pérenne dans le temps. L'ensemble des aspects transversaux du développement durable (environnement, social, économique, l'éco-conception, l'éco-gestion et l'éco-chantier par exemple) devient ainsi un support de réflexion dont la finalité est de développer voire de créer des stratégies environnementales spécifiques au projet en cours.

Plusieurs thèmes majeurs nous apparaissent comme moteurs dans le cadre de la démarche de développement durable appliquée à un projet d'aménagement urbain, s'appuyant sur les objectifs définie par la méthode HQE<sup>2</sup>R, Haute Qualité Environnementale pour les espaces publics, qui sont au nombre de cinq : ressources, environnement local, lien social, intégration et diversité. Cet article propose d'illustrer cette approche environnementale de l'espace urbain par différents projets se rapportant chacun plus particulièrement à un thème.

## PONT RENAULT À BOULOGNE-BILLANCOURT

### Maîtrise d'ouvrage

SAEM val de Seine Aménagement

### Maîtrise d'œuvre

Setec TPI, mandataire (directeur de projet : J.-B. Datry, chef de projet : Sylvie Ezran), architecte : Marc Barani

### Entreprise

Bouygues et Victor Buyck

Coût du projet : 13 M€

## ■ Les chantiers respectueux de l'environnement

En phase chantier, des prescriptions précises peuvent être faites aux entreprises au travers de documents qui intègrent les contraintes et soucis de performances environnementales. Les documents contractuels établis par les maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre peuvent s'établir sous forme de chartes, d'un SOPAE, Schéma organisationnel du plan d'assurance environnement ou note de respect de l'environnement à destination des entreprises définissant leurs obligations en matière d'environnement. L'objectif est d'obtenir des entrepreneurs qu'ils établissent un PME, Plan de management de l'environnement. Le maître d'œuvre peut également rédiger un Cahier des clauses environnementales particulières ou CCEP ou suivre une démarche sur des points particuliers comme un schéma d'organisation et de suivi de l'évacuation des déchets. Plus généralement les obligations de l'entrepreneur découlent, d'une part de la simple application des lois et règlements, et d'autre part de la prise en compte des engagements du maître d'ouvrage.

Les principaux points à prendre en compte sont les suivants.

## Le choix des matériaux

De nouvelles fiches de description ACV ou analyse de cycle de vie, permettent d'orienter les choix de matériaux en fonction de leur bilan environnemental global. Chaque filière met au point des fiches permettant la comparaison des matériaux. En accord avec la maîtrise d'ouvrage, des certifications se référant à des écolabels officiels peuvent être demandées lors de la consultation : provenance, type d'extraction, traçabilité, transport, transformation, réponses aux normes sanitaires, de l'ensemble ou de partie des matériaux. En effet, en plus des performances fonctionnelles, le code des marchés publics autorise aujourd'hui à imposer des caractéristiques environnementales opposables à l'attribution d'un marché.

## Les réseaux et voies de circulation du chantier

Dans certains cas, il est également possible de favoriser des transports alternatifs de matériaux, ou même de structures complexes.

Conçu par l'architecte Marc Barani et le bureau d'ingénierie Setec TPI (mandataire), et fabriqué par les entreprises Bouygues et Victor Buyck, le pont Renault (cf. encadré « Fiche technique pont Renault ») qui relie les berges de Boulogne à l'île Seguin a été achevé en 11 jours par voie fluvio-maritime.

# environnementale

Le mode de transport a ici été la solution pour pallier les problèmes d'acheminement, de montage, de nuisances sonores et environnementales, d'interface de chantier, pour minimiser l'impact des trajets (deux convois pour un pont de 203 m de long) et optimiser la taille des tronçons fabriqués en Belgique (60, 64 et 84 m) et leur montage (photo 1).

## L'environnement sonore

Les travaux de terrassement et de bétonnage sont souvent les plus bruyants, nécessitant alors une limitation des horaires de travail. D'autres dispositions peuvent également être prises comme le capotage des parties bruyantes des engins, leur conformité réglementaire et leur entretien régulier et l'utilisation de matériels électriques quand cela est possible. En amont, il pourra avoir été prévu un maximum de réservations pour réduire les percements.

## La gestion des déchets

La législation relative à la gestion des déchets de chantier implique un partage des responsabilités entre maître d'ouvrage, maître d'œuvre, producteur, collecteur-transporteur et éliminateur qui doivent trouver ensemble les solutions respectueuses de l'environnement, et économiquement viables.

Les différents « contrats Environnement » signés entre la maîtrise d'ouvrage et les entreprises définissent les modalités de cette gestion : le lieu et la durée de stockage des déchets (encombrement, nuisances olfactives, risques, facilité d'évacuation...), les bennes de tri, l'affichage et l'évacuation contrôlée par des bordereaux de suivi des déchets de chantier afin de contrôler la bonne mise en décharge.

## Les nuisances dues aux poussières et aux odeurs

Les réponses à ces nuisances peuvent être : l'utilisation de bâches sur les aires de stockage des matériaux, l'arrosage, le déchargement-chargement en dehors des périodes de vent, l'interdiction de brûlage des déchets, la vérification de la conformité de l'échappement des engins...

## Le paysage et le patrimoine

La protection du patrimoine existant architectural ou végétal demande des mesures et une attention particulière. Le site peut être régi par des protections type Monuments historiques ou ZZPAP.

Dans le cadre de la dernière tranche de travaux en cours des abords Palais du Louvre (cf. encadré), nous

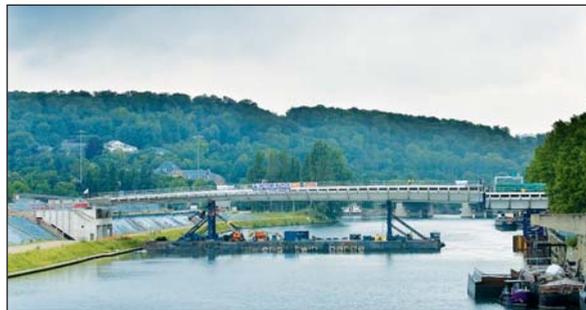


Photo 1

Le montage du troisième tronçon du pont Renault  
*Erection of the third section of Renault Bridge*



Photo 2

Pose de pierres en granit de Lanhélin sur le chantier abords du Palais du Louvre  
*Laying Lanhélin granite stones on the site, surrounds of Palais du Louvre*

sommes confrontés aux contraintes d'un site patrimonial d'exception, lieu culturel et touristique majeur. Le respect du patrimoine bâti existant, les difficultés horaires liées aux activités contiguës et un phasage devant permettre de conserver des flux de circulation, influencent le suivi du chantier.

Ce contexte a dirigé le choix des matériaux, et surtout leur provenance (granit bleu de Lanhélin, pierres bleues du Hainaut et calcaire de Saint-Maximin) (photo 2).

### ABORDS PALAIS DU LOUVRE, PARIS

#### Maître d'ouvrage

EMOC

#### Maîtres d'œuvre

Setec TPI

#### Directeur de projet

J.-P. Bonroy, chef de projet : A.-S. Verriest

#### Entreprise

Cochery IDF

Coût du projet : 1,83 M€



**Axel Baudrin**  
Ingénieur principal  
Setec TPI



**Raphaëlle Chéré**  
Ingénieur paysagiste  
Setec TPI



**Anne-Sophie Verriest**  
Ingénieur paysagiste  
Setec TPI

Approche de la démarche environnementale en aménagement urbain



Figure 1

Perspective de l'aménagement projeté. Setec TPI – Reichen et Robert et Associés (2006).

Avant-projet d'insertion du tramway T8 Châtillon - Vélizy - Viroflay

*Perspective view of the planned scheme. Setec TPI – Reichen et Robert et Associés (2006). Preliminary design for integration of the T8 tramway, Châtillon - Vélizy - Viroflay*

**La qualité des eaux, des milieux aquatiques et naturels**

Le classement de certains sites, SDAGE, sites classés, Zico, Natura 2000, Znieff..., ou la présence de nappes de captage d'eau, peut considérablement bouleverser la conduite d'un chantier qui devra veiller à respecter toutes les préconisations visant à préserver intacts les ressources et milieux justifiant le classement.

En 2005, Setec TPI et RFF demandaient à l'entreprise Eiffage d'établir un plan de management environnement pour le projet de pont ferroviaire sur la Garonne. Le projet situé en zone fluviale nécessitait la préservation de la ressource en eau superficielle et souterraine, par la présence de trois nappes et de captages d'eau

potable, et la préservation de la faune et de la flore, la Garonne étant classée Natura 2000, le chantier étant proche de deux Znieff et des esturgeons peuplant le fleuve durant certaines périodes. Cela a donc impliqué des mesures particulières comme la vigilance sur la qualité des rejets, une emprise limitée, la filtration des rejets de batardeau pour éviter les matières en suspension et le trouble du fleuve, la transplantation des plantes, la prévention des pollutions accidentelles, l'installation de fosses septiques...

La sensibilisation, le dialogue et la concertation sont nécessaires pour mener à bien une démarche environnement aussi bien avec les différents acteurs (maîtrise

d'ouvrage, ville, acheteurs de lots, concessionnaires...) qu'avec les entreprises, les associations, les habitants...

**■ Mobilité douce en milieu urbain**

Les responsables publics des transports dans les grandes agglomérations font face depuis quelques années à un accroissement de la circulation automobile dans les centres-villes et les zones périurbaines. La réalisation croissante d'infrastructures urbaines favorisant les moyens de déplacements motorisés individuels n'est sans doute pas neutre à cette évolution.

Une réflexion est engagée par les planificateurs urbains des transports, visant à convaincre les automobilistes d'abandonner leur voiture et d'opter pour des déplacements collectifs ou non motorisés, afin de limiter l'engorgement des centres-villes.

Les collectivités portent donc un intérêt grandissant au développement et à l'intégration des mobilités douces dans la conception des nouveaux projets d'aménagements urbains. L'arrivée du futur tramway T8 (encadré « CVV tramway Châtillon - Vélizy - Viroflay ») sur la RD 906 en région parisienne, sur les communes de Châtillon, Clamart et Meudon est un exemple de cette politique volontariste. En effet, le Conseil général des Hauts-de-Seine, maître d'ouvrage concernant la réalisation de ce projet, a inscrit cette opération dans une démarche de développement durable prenant en compte la problématique de l'insertion des mobilités douces le long du futur corridor créé par le tramway. Cette approche expérimentale s'articule autour de quatre thématiques complémentaires : l'éco-conception, l'éco-construction, l'éco-gestion et la bonne gouvernance, où la question des circulations douces est fortement soulignée (figure 1).

Actuellement en phase d'études, le maître d'œuvre est donc chargé de concevoir le projet d'aménagement via un « filtre » d'analyse multicritères Qualité environnementale. Cette démarche préventive vise directement l'utilisateur (piéton et cycliste en particulier) en lui offrant un choix réel entre les différents modes de déplacement et en créant un cadre de vie agréable et fonctionnel.

Le retour du tramway a été souvent le premier pas dans la réflexion sur l'amélioration de l'environnement en ville et pour une recomposition urbaine à échelle humaine.

En effet, depuis les années d'après-guerre, les villes se sont construites ou développées autour de la voiture ce qui n'a laissé que peu de place aux trottoirs, qui se sont peu à peu rétrécis du fait de l'élargissement des chaussées. La marche à pied et la pratique du vélo n'étaient pas favorisées par des aménagements inadaptés. Leurs

**CVV TRAMWAY CHÂTILLON - VÉLIZY - VIROFLAY**

**Maîtres d'ouvrage**

Co-maîtrise d'ouvrage entre le département des Hauts-de-Seine, des Yvelines et la RATP

**Maîtres d'œuvre**

- Groupement Setec TPI  
Directeur de projet : J.-P. Bonroy, chef de projet : A. Baudrin – Reichen et Robert et associés pour les sections de surface sur les Hauts-de-Seine et Yvelines
- Egis Rail pour la section souterraine des Yvelines
- RATP pour le système de transport, le rail, les portes LAC et le matériel roulant

**Sous-traitants de la maîtrise d'œuvre**

- Sur les Hauts-de-Seine : Terrasol, Planitec BTP, Pena & Pena
- Sur les Yvelines : Terrasol, Planitec BTP, Pena & Pena, Segic Ingénierie

**Coût du projet** : 391,83 M€ hors matériel roulant (64 M€ pour le matériel roulant)

pratiques se révélèrent dangereuses, en particulier pour les vélos du fait de la mixité avec la circulation automobile, et dévalorisées en raison d'idées reçues dont celle d'un moyen de transport lent, peu en phase avec son temps. Il apparaît maintenant que ces modes sont extrêmement performants et souvent plus rapides en milieu urbain dense que les transports motorisés. Leur prise en compte permet de repenser à une nouvelle composition urbaine basée sur le partage des espaces.

Jusqu'à présent les actions entreprises se sont généralement limitées à augmenter la sécurité des usagers des modes doux ou à mettre à leur disposition des itinéraires souvent incomplets et parsemés d'obstacles. Il faut désormais privilégier une approche plus globale et penser également à l'attrait ou au confort des cheminements.

Pour cela, il convient de prendre en compte un certain nombre de principes à établir afin de permettre l'attractivité en fonction du type de déplacement ciblé.

Le projet se situe principalement sur la route départementale RD 906 qui traverse les communes de Châtillon (zone urbaine dense) et Clamart (zone urbaine moins dense avec présence de zones d'activités). L'arrivée du tramway ne peut se faire sans un bouleversement de l'aménagement et une nouvelle hiérarchisation des espaces. En effet, l'insertion d'une plate-forme tramway d'une largeur d'environ 5,50 m en alignement droit implique une réflexion globale des différents modes de déplacements sur l'ensemble des aménagements le long de la ligne. Sur ce type de projet, l'intégration de la plate-forme se fait au détriment de l'espace dédié à l'automobile. Cela permet de limiter le trafic motorisé individuel tout en favorisant la circulation des transports publics.

Nous arrivons donc à terme, sur la majorité du linéaire, à une chaussée comprenant deux voies de circulation (trois voies dans les carrefours permettant la gestion des flux en tourne-à-gauche), soit une file par sens, pour un trafic de l'ordre de 1300 véhicules maximum par heure et par sens.

Concernant le reste des aménagements, le principe est de maintenir des trottoirs aussi larges que possible, en maintenant les accès riverains.

L'implantation de la plate-forme se fait généralement en « semi-latéral ». C'est-à-dire que nous trouvons tout d'abord un trottoir, la chaussée principale, la plate-forme et enfin un espace pacifié intégrant une contre-allée en Zone 30, les circulations des cycles et le trottoir pour les piétons.

La prise en compte des différents critères de la grille Qualité Environnementale concernant l'aménagement des circulations douces dans le projet implique



Figure 2

Le potager partagé, cultiver des relations  
(dessin : Raphaëlle Chéré)

*The shared vegetable garden, cultivating relationships*  
(drawing: Raphaëlle Chéré)

des principes à respecter comme la création de cheminements de qualité, agréables, confortables, sécurisants, adaptés aux Personnes à mobilité réduite (PMR) et continus, et de corridors verts et donc des aménagements correspondants.

Un nouveau regard sur l'espace public est en train de se dessiner. Les aménagements créés depuis une cinquantaine d'années exclusivement pour la voiture, ont atteint leur paroxysme à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Une congestion annoncée des centres-villes et zones périurbaines était programmée. La place du piéton et du cycliste s'était amoindrie à sa plus simple expression, lorsqu'il existait encore des aménagements spécifiques pour ces modes de déplacement.

Une prise de conscience des aménageurs dans les années 90 a eu lieu, avec pour objectif de renverser la tendance et de tendre à une reconquête urbaine des piétons et cyclistes.

Dorénavant les aménagements favorisant les modes doux font partie de la réflexion durable lors de l'élaboration de grands projets urbains, telle que la création d'une ligne de tramway, colonne vertébrale d'une transformation de la ville pour tous.

### ■ Un jardin à partager ou comment cultiver des relations [1] (figure 2)

La ville durable doit être une ville partagée, accessible à tous, propice aux échanges et limitant les exclusions de certaines catégories de population de la vie publique. La recherche de la qualité de vie passe par la recherche de la capacité d'appropriation des espaces par le plus grand nombre. Le développement des jardins partagés à Paris est une belle illustration de la manière dont l'implication des citoyens dans l'aména-

Approche de la démarche environnementale en aménagement urbain



gement urbain peut amener la nature au cœur de la ville en tant que lieu moteur de la vie d'un quartier, réinventant les activités et le vivre ensemble.

En tant qu'espace de transition, il semble que le jardin représente le lieu du lien à recréer :

- le lien à soi, en permettant à des gens de se retrouver en tant qu'être humain, personne consciente et identité individuelle;
- le lien aux autres, en favorisant la rencontre entre habitants, familles, autres générations...;
- le lien à la ville, en réintégrant des lieux dans le tissu urbain et en les ouvrant sur leur quartier (friches urbaines, recoins ou établissements fermés...);
- le lien au monde, en restaurant l'image des personnes exclues, afin qu'elles retrouvent une place et une appartenance sociale.

Les jardins partagés peuvent aussi naître de projets publics dans des contextes particuliers. Ainsi, à Bondy en Seine-Saint-Denis, un projet de jardin partagé entre un établissement d'accueil pour personnes âgées et les écoles et habitants du quartier est en train de voir le jour. Cet établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes est géré par le Centre d'action sociale de la Ville de Paris et accueille deux cents résidents dont certains en unité de vie protégée Alzheimer. Cet établissement des années 60, en mutation, est situé au cœur d'un quartier de vie et au carrefour de flux piétonniers importants. Ce lieu a la chance de posséder un parc de grande dimension, une rareté dans ce tissu urbain très dense, mais refermé sur lui-même et régi par des contraintes fonctionnelles fortes. Ce projet est l'occasion de faire des résidents de l'établissement des habitants du quartier et de leur redonner un rôle et une existence sociale en partageant leur territoire.

Le jardin peut également entrer dans la thérapie de soin par l'intégration d'éléments pour le travail moteur, l'équilibre ou la mémoire. Mais si le jardin est thérapeutique, c'est avant tout parce qu'il est un lieu de plaisir et de lien, dont la relation avec le soignant peut être une composante.

À Bondy, la présence d'écoles dans le quartier et l'existence de partenariats déjà ancrés entre les établissements encouragent à développer un projet intergénérationnel. C'est l'opportunité de rassembler des générations autour d'un même lieu, d'offrir un support pédagogique et ludique aux écoles ainsi qu'aux centres de loisirs. Ce travail a donc consisté à concevoir un jardin pouvant s'adapter à tous et aux possibilités de chacun. Il fallait transformer les contraintes en atouts, adapter des singularités formelles.

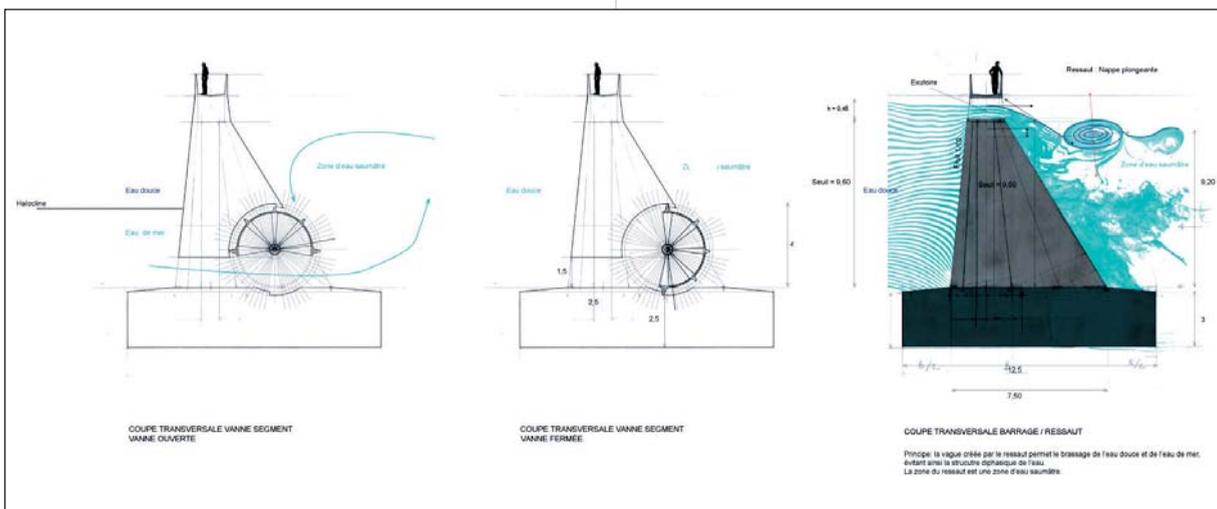
Le projet s'est orienté sur un travail de recherches de formes de jardinage adapté. À l'entrée de l'établisse-

ment, un potager est cultivé en partage. Les planches surélevées ancrées dans la pente permettent à tous de pouvoir jardiner à une hauteur adaptée. Sur la façade Est, un jardin à caractère de square accueille les jeux et forme un comptoir sur la rue. À l'arrière, une grande clairière et un bois au fond du parc permettent de fondre la limite et de créer un lieu de calme à l'écart de la résidence et de la ville. Le long des deux ailes du bâtiment, deux terrasses surélevées de 45 cm accueillent des jardins en balcon particulièrement adaptés aux unités de vie protégée pour les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. La présence de mains courantes sécurise la déambulation tout en s'intégrant au garde-corps. Une suite de petits jardins vient s'appuyer sur le mur d'enceinte, indiquant des usages différents dans une proximité du végétal toujours recherchée. Un travail sur le nivellement, les structures végétales, les traitements de sols, les couleurs et contrastes fabrique des lieux d'usages mixtes mais pouvant être utilisés par les kinésithérapeutes de l'établissement voire les animateurs sportifs des écoles et des centres. On peut donc traverser : le jardin à frôler, le jardin palette, le jardin des contrastées, le jardin à froisser, le jardin des petits fruits, et enfin le jardin des géantes. Au fond du parc, on trouve la maison des jardiniers ainsi que la serre, à l'écart derrière un vieux verger. Sur l'aile ouest, un parking est réorganisé pour le personnel et libérant la façade de la maison de retraite.

Si l'accessibilité est incontournable (normes personnes à mobilité réduite, largeur de chemin, pentes adaptées, matériaux non éblouissants), elle n'est pas à la base du projet. Ce n'est pas parce qu'un lieu est accessible que l'on aura envie de s'y rendre. Les adaptations basées sur les possibilités des résidents et non sur leurs limites, peuvent les encourager à s'approprier le jardin. Mettre à portée, travailler les simplicités d'usage, les hauteurs (plates-bandes surélevées, tables de culture, pots à hauteur et mobiles, structures verticales...), sécuriser sans enfermer est important mais il faut toujours garder à l'esprit le jardin, compris en tant que tel et où les adaptations nécessaires doivent se fondre et devenir des évidences voire des atouts dans la composition du jardin.

Cet établissement a également l'habitude de travailler avec des centres d'insertion par le travail qui entretiennent le parc. Ce projet doit faire entrer le participatif et les circuits d'insertion de la ville dans la construction et la gestion du futur projet et ce, dans une optique de gestion concertée et durable du lieu, s'attachant à utiliser des pratiques culturelles raisonnées.

Malgré les nombreuses contraintes liées aux différents usagers et aux normes des institutions, il y a de réelles possibilités de développer des projets en ces lieux si



**Figure 3**  
 Coupe sur le barrage, détail des vannes et du déversoir (dessin : Anne-Sophie Verriest)  
 Cross section of dam, detail of valves and spillway (drawing: Anne-Sophie Verriest)

l'on associe toutes les compétences qui y sont rassemblées. Pour la résidence de Bondy, un jardin à partager est possible au regard de la configuration du quartier et de la politique actuelle de l'établissement qui s'ouvre déjà aux écoles voisines, mais la qualité de vie, l'inter-génération et le lien social sont des valeurs à cultiver et devant trouver des réponses et donc des formes différentes au sein de l'ensemble de la ville durable.

### ■ Entre eau douce et eau salée, l'enjeu d'un chenal

#### Un ouvrage technique au service de la réhabilitation de l'étang de Berre [2] (figure 3)

Certains paysages sont parfois difficilement acceptables, parce qu'ils portent en eux toute l'ingratitude d'un monde économique, peu scrupuleux d'autres facteurs comme la vision sensible que l'on a ou l'écologie par exemple.

Le chenal de Caronte (golfe de Fos) offre cette particularité. Ici deux grands types de paysages, touristique et industriel, se confrontent. Long de 5 km, il est à la fois le corridor maritime entre la mer Méditerranée et l'étang de Berre, et la porte des plus grands sites pétrochimiques de France.

Les villes de Martigues et Port-de-Bouc surveillent ses embouchures sur la rive nord. Entre elles, une friche industrielle, révélée par le contraste des aménagements et par sa confrontation directe sur l'autre rive avec une économie vivante, dangereuse mais nécessaire : le site pétrochimique de Lavéra. Voici un espace qui au premier regard semble être démis de ses fonctions. Perception en fait trompeuse puisqu'une activité industrielle y persiste encore.

Caronte est donc en attente d'avenir pour affirmer qu'ici il se passe encore et toujours quelque chose.

L'étang de Berre, point final au chenal de Caronte n'est, quant à lui, plus vraiment viable écologiquement, sans cesse perturbé par les rejets massifs de la chaîne des 19 centrales hydroélectriques de basse Durance.

Par an, 2,1 milliards de m<sup>3</sup> d'eau douce de la Durance sont déversés dans l'eau salée de l'étang de Berre, soit deux fois son volume d'eau, et ce de manière irrégulière et brutale. Ces rejets entraînent accumulation de limons, chute du taux de salinité et stratification des eaux. Ce phénomène physique appelé structure diphasique ou stratification haline se crée à chaque rejet massif : l'eau salée, plus dense se trouve dans le fond et l'eau douce en surface. Faute de courant naturel suffisant, la couche inférieure n'est plus alimentée en oxygène. Très vite les animaux et les plantes sont asphyxiés anéantissant ainsi tout écosystème.

L'étang de Berre, embourbé dans son problème écologique est lui aussi en attente d'avenir.

Mais de quel avenir parler lorsque ces deux endroits ont toujours été le support de sites industriels d'ampleur, ayant des retombées économiques, sociales et paysagères importantes ? Quel avenir dans une région où la croissance économique passe avant le « bien-être » des habitants ? Quel avenir alors que les collectivités locales, qui se questionnent sur le devenir de ces sites et sur leur rapport avec la proximité des villes, souhaiteraient vivre pleinement leur essor touristique ?

Aujourd'hui, la région veut détourner les rejets massifs des centrales hydroélectriques via un tunnel souterrain long de 40 km, pour les rejeter dans le Rhône. Cette vision régionale et nostalgique de l'étang en vient à

## Approche de la démarche environnementale en aménagement urbain



rejeter ce qui fait vivre toute une région : l'eau douce de la Durance.

Une chose est sûre, l'étang de Berre ne peut être ce qu'il fut, compte tenu des évolutions urbaines et industrielles qui l'entourent. En conséquence, ne vaut-il pas mieux reconnaître cette eau douce comme une richesse plutôt que de se fourvoyer dans un discours consensuel rassurant. Élodant un problème c'est une denrée précieuse pour la région qui est gâchée.

Une question se pose alors. En quoi l'apport de solutions techniques dans un contexte si spécifique peut-il être une démonstration pédagogique et visuelle de la genèse d'un paysage qui se crée ?

Le scénario proposé naît d'une volonté de conserver et de mettre en valeur une richesse, tout en pérennisant l'étang de Berre dans un écosystème et une économie stable, viable, et annonçant une autre image de la région. Il participerait ainsi à l'élaboration d'une histoire productive tournée vers l'avenir.

L'étang deviendrait donc un outil industriel dompté et non plus subi. Une réserve d'eau douce géante, la plus grande d'Europe, 150 km<sup>2</sup>, qui permettrait à la région d'accepter enfin la centrale, de se servir de son eau pour assouvir ses besoins, anticiper les périodes de sécheresse, en tirer les bénéfices écologiques et ainsi changer de réputation.

Dans un schéma de cohérence spatial, le chenal de Caronte prend alors toute son ampleur puisqu'il est l'exutoire naturel de cette eau douce. C'est au milieu de ce corridor qu'un ouvrage simple et lisible, séparant l'eau douce de l'eau salée se positionnerait. Il s'agit d'une écluse maritime de 190 m de long pour 30 m de large, accompagnée d'un barrage de 180 m de long.

Afin d'éviter en aval une nouvelle stratification haline, ce dernier est équipé, en partie supérieure, d'exutoires à eau douce créant une vague de 40 cm de hauteur qui brasse en immergé les eaux douces et salées. La zone aval du barrage est ainsi saumâtre.

En outre doit s'imposer une réelle volonté d'utiliser l'hydroélectricité de façon plus constante afin d'harmoniser les apports en eau douce sur l'étang et de garantir un renouvellement régulier et réfléchi de l'eau.

L'ancienne friche de la rive nord du chenal deviendrait quant à elle une réserve d'eau pour les communes de Martigues et Port-de-Bouc (schéma type applicable aux autres villes). Le système industriel de traitement des eaux se déploierait donc sur cette rive, du pompage de l'eau à son stockage en passant par l'acheminement, le filtrage et les étapes de potabilisation.

L'eau pompée quotidiennement par des éoliennes, passerait au travers de bassins de stockage qui jalonne-

raient la rive sur ses 2,5 km et structureraient ainsi les vides engendrés par les sites industriels.

La gestion de l'eau prend alors plusieurs visages, à la fois techniques et poétiques.

Dans un premier temps, elle doit circuler sur la surface totale des bassins (en moyenne 100 m x 60 m x 2,5 m de profondeur), afin d'éviter les zones d'eau croupie. Pour ce faire, des îles positionnées stratégiquement créent des défluences. Elles favorisent le développement d'un nouvel écosystème. La flore, installée sur les berges, ralentit le courant et limite leur érosion; la faune limite la prolifération des larves de moustiques. Chaque passage d'un bassin à un autre est constitué par une chute allant de 20 cm à 2 m de hauteur. À l'usage purement technique de la chute (oxygénation de l'eau) s'adjoint une mise en forme ornementale qui théâtralise le chemin de l'eau.

Riche en matières en suspension, elle passe ensuite par une zone de filtrage. Trois bassins munis d'un dégrilleur et de filtres à sable planté de roseaux suivent le tracé de l'ancienne gare marchande de Caronte.

Enfin elle arrive dans l'espace de traitement de l'eau potable. Les six bassins de décantation, plus grands et plus profonds ralentissent le débit, la débarrassant de ses dernières particules. L'eau finit sa course, après processus de potabilisation, dans des cuves de stockage de 20 m de haut qui répondent à celles du site de Lavéra.

Ainsi le paysage technique du projet se vit au quotidien, au gré des débits, du temps de remplissage de bassins, du nombre de bateaux qui passent, du vent et du fonctionnement de la centrale hydroélectrique.

L'ouvrage et l'eau douce vont pouvoir être alors apprivoisés. Les habitants vont le mémoriser, l'expérimenter et le comprendre et le vivre.

Au travers de son chemin littéral et pédagogique, cet espace s'éprouve puis s'anime.

Ainsi, une île va se transformer en endroit agréable où il fait bon pêcher; le barrage en un chemin qui va relier les deux rives; l'écluse en un lieu de contemplation du balai majestueux des tankers. Le lieu va se laisser investir pour devenir familier.

Caronte et l'étang de Berre s'unissent et puisent dans leurs racines pour s'ouvrir à une nouvelle vision du paysage régional. ■

## Références

[1] Un jardin à partager : Projet pour la résidence de santé Arthur Groussier - Bondy 93. Raphaëlle Chéré - Sujet de diplôme ENSNP 2007.

Directeur de session : J.-F. de Boiscuiller - Directeur

de mémoire : C. Eveno - Enseignant assistant : M. Boulcourt.

[2] Entre eau douce et eau salée. Un ouvrage technique au service de la réhabilitation de l'étang de Berre. Anne-Sophie Verriest - Sujet de diplôme ENSNP 2005.

Directeur de session : J.-F. de Boiscuiller - Directeur de mémoire : J. Amor - Enseignants assistants : J. Grelier et J.-P. Bonroy.

## ABSTRACT

### *Sustainable development in public spaces*

A. Baudrin, R. Chéré, A.-S. Verriest

*The concept of sustainability supports hardly discontinuities, divisions or partials considerations.*

*Its coexistence with the development of a project, since the start of the research until the conduct of workings, imposes specific issues and reflections, which change habits of design.*

*It is a versatile tool, fragile because of its popularity. And it cannot really give satisfaction only if it becomes the intellectual premise of the project, as an affirmation of a concerted, integrated and sustainable over time.*

*Then, all the aspects of sustainable development become the deep thinking's support which purpose is to develop or create environmental strategies specific to the project.*

*In this context of the sustainable development approach, several major themes emerge as a driving force applied to an urban development project, based on the objectives defined by the method HQE<sup>2</sup>R, High Environmental Quality for public spaces : resources, environment, social cohesion, inclusion and diversity.*

*We propose to illustrate this approach to the environment of the urban area by various individual projects related to a particular theme :*

- *Constructions sites environmentally respctfull;*
- *Trolley car in urban spaces;*
- *A garden to share or how to keep up relationships between all generations;*
- *A artwork employed for the rehabilitation of the Berre's pond.*

## RESUMEN ESPAÑOL

### *Planteamiento de un modelo medioambiental en ordenación urbana*

A. Baudrin, R. Chéré y A.-S. Verriest

*La noción de durabilidad no soporta las discontinuidades, las sectorizaciones o las integraciones parciales.*

*Su cohabitación con la construcción de un proyecto, y ello desde el inicio de los estudios hasta la dirección de la obra, presupone diversas vías específicas de problemática y de elaboración de la reflexión que modifican las formas habituales de concepción.*

*Se trata de una herramienta polivalente, frágil ya que popular, que únicamente puede dar entera satisfacción cuando pasa a ser el fundamento decisivo del proyecto, como por ejemplo, la afirmación de un modelo concertado, integrado y perenne en la duración. La totalidad de los aspectos transversales del desarrollo sostenible (medio ambiente, social, económico, eco-concepto, eco-gestión y eco-obra por ejemplo) llega de este modo a formar un soporte de reflexión cuya finalidad consiste en desarrollar e inclusive crear estrategias medioambientales específicas para el proyecto en curso.*

*Varios temas destacados pueden aparecer como motores en el marco del modelo de desarrollo sostenible aplicado a un proyecto de ordenación urbana, fundándose en los objetivos definidos por el método HQE<sup>2</sup>R, Alta Calidad Medioambiental para los espacios públicos, cuyo número asciende a cinco : recursos, entorno local, vínculos sociales, integración y diversidad. Se propone en este artículo ilustrar este modelo medioambiental del espacio urbano mediante diversos proyectos en relación a un tema particular :*

- *obras respetuosas del medio ambiente;*
- *tranvía en entorno urbano;*
- *un jardín a compartir o cómo conservar buenas relaciones entre las generaciones;*
- *un obra técnica al servicio de la rehabilitación del estanque de Berre.*

# Des immeubles « R+7 » sur à Vitry-sur-Seine

Une grande partie du sous-sol d'Île-de-France est minée par des carrières souterraines qui obligent communément à utiliser des techniques de fondations profondes pour construire au-dessus. Le projet de la ZAC Concorde à Vitry-sur-Seine (94) a donné lieu à des travaux de consolidation souterraine qui vont permettre aux constructeurs de bâtir des immeubles d'habitations en R+7 et un centre commercial sur des fondations superficielles.

Le sous-sol de la région parisienne a été exploité depuis des siècles afin d'en extraire des matières premières. Ainsi, une grande partie du sud de Paris et de la petite couronne est sous-minée par des carrières souterraines, qui mettent en danger les biens et les personnes en surface. C'est pourquoi les projets de construction qui se font aujourd'hui au-dessus d'anciennes carrières comportent obligatoirement des travaux de mise en sécurité ou de consolidation souterraine.

Solétanche Bachy vient de réaliser une opération de consolidation souterraine par injection à Vitry-sur-Seine, pour le compte de la SADEV 94, aménageur de la ZAC Concorde-Stalingrad. Ce chantier, exceptionnel par son ampleur, va également permettre aux constructeurs de bâtir leurs ouvrages, des immeubles d'habitations en R+7 et un centre commercial, sans fondations profondes, grâce à l'amélioration des caractéristiques de sol obtenue à l'issue des travaux de traitement des terrains de couverture de la carrière.

## ■ Les exploitations souterraines en région parisienne - Le rôle de l'Inspection générale des carrières (IGC)

L'Île-de-France est particulièrement abondante en calcaire, en craie, en sables, en argile et en gypse. Ces ressources ont été exploitées depuis le Moyen Âge et sans doute même depuis l'Antiquité. Elles ont la particularité d'être, et d'avoir été, des matières premières utilisées quotidiennement, aujourd'hui, et plus encore pendant les siècles précédents.

L'exploitation intensive au XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles de ces ressources a laissé d'importantes traces dans le paysage parisien. Les grandes exploitations à ciel ouvert ont pu être remblayées pour combler ces immenses fosses, mais l'extraction souterraine représentant des volumes se chiffrant en millions de mètres cubes, a laissé des vides trop importants pour être tous comblés (photos 1 et 2).

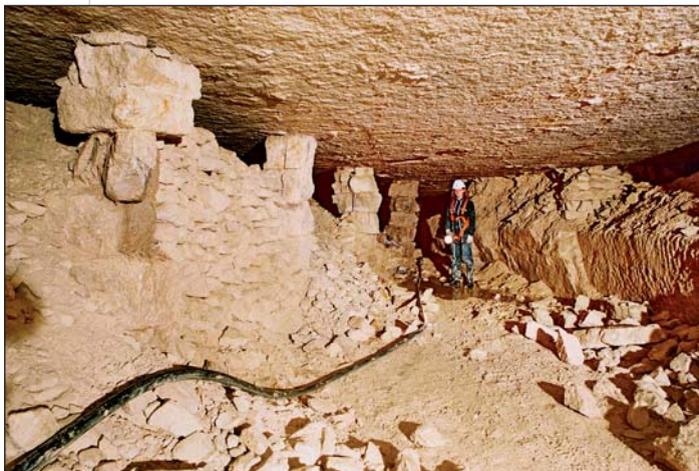
On a donc dû recourir à des méthodes de consolidation pour maintenir ces vides en place, en utilisant des murs, des piliers maçonnés, et en remblayant ou injectant certaines parties qui représentaient un trop grand danger pour les habitations ou les terrains en surface. Ce réseau souterrain constitue aujourd'hui un remarquable ensemble architectural.

L'IGC fut créée le 4 avril 1777 par décret du roi Louis XVI à la suite de nombreux effondrements survenus dans Paris. Ce service existe encore aujourd'hui et se charge de :

- dresser et actualiser les cartes des carrières;
- coordonner des travaux sous la voie publique;

Photo 1

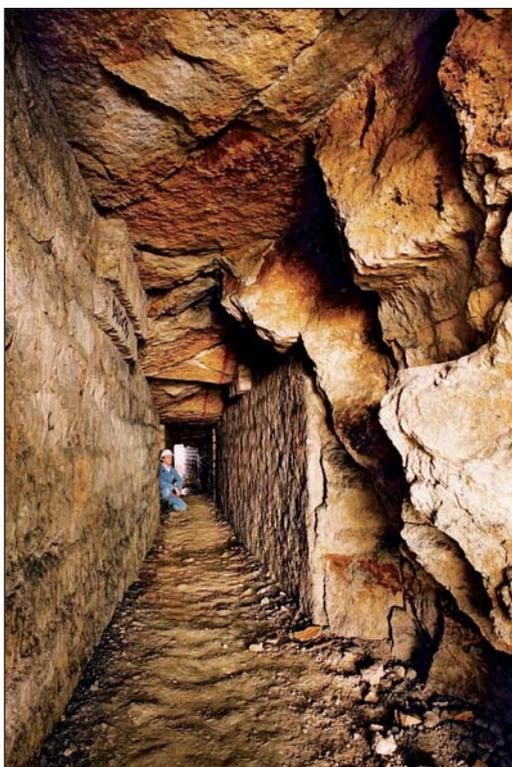
Piliers à bras dans une carrière  
*Stacked pillars in a quarry*



© E. Gaffard

Photo 2

Vue d'une galerie maçonnée dans une carrière  
*View of a brick-lined gallery in a quarry*



© E. Gaffard

# carrières et sans pieux



Photo 3

Opération de forage

Drilling operation

- émettre des prescriptions d'exécution des travaux de consolidation;
- émettre son avis sur les travaux à réaliser lors du dépôt d'un permis de construire;
- surveiller la bonne application des prescriptions lors des travaux de confortement.

## ■ Le projet de la ZAC Concorde

La ZAC Concorde située à Vitry-sur-Seine est aménagée par la SADEV 94. Le projet prévoit la construction, sur un terrain de 15 000 m<sup>2</sup>, d'un centre commercial, d'immeubles de logements, et de structures publiques, sur sept niveaux et deux sous-sols.

L'aménageur intervient afin de remettre, aux promoteurs et collectivités, le site dépollué et constructible : c'est à ce titre que le traitement des deux à trois niveaux de carrières de calcaire, exploités entre 18 et 26 m de profondeur, a été réalisé.

La réglementation en vigueur impose des fondations profondes, ancrées au-delà des niveaux exploités, pour les constructions sur carrières souterraines, sauf à mettre en œuvre un traitement approprié par injection sous pression.

C'est cette option qui a été retenue par le maître d'œuvre et sur laquelle Solétanche Bachy s'est engagé dans le cadre d'un forfait avec obligation de résultat.

Le marché de consolidation de carrières prévoit :

- la mise en œuvre gravitaire de mortier de remplissage;
- le clavage des vides résiduels en partie haute du remplissage;
- le traitement par injection sous pression des remblais de carrière, des zones décomprimées et des éventuels fontis.

## ■ La consolidation : un avantage pour les constructeurs

Les travaux menés par Solétanche Bachy ont permis de s'affranchir des fondations profondes par le traitement précis des fontis et terrains de couverture.

Pour mener à bien cette opération, le maillage des forages a été resserré au droit des constructions projetées pour passer de 5 x 5 m à 4 x 4 m, soit une augmentation de près 60 % des quantités de forage. Il a fallu ensuite, procéder au double équipement de ces forages, afin de mettre en place à la fois un tube crépiné destiné au remplissage et un tube à manchette destiné à l'injection sous pression.

Enfin, à l'issue des opérations de clavage, une injection systématique sous pression a été réalisée dans les zones des fontis et de terrains de couverture décomprimés (photos 3 et 4).

Des sondages de contrôles sont ensuite réalisés par une société indépendante mandatée par le maître d'ouvrage. Ils ont lieu 28 jours après les dernières injections afin de s'assurer qu'aucun vide résiduel n'est à déplorer.

Durant ces 28 jours aucune construction ne peut-être entreprise. À réception du dossier d'ouvrage exécuté (DOE), l'IGC valide le permis de construire et actualise sa cartographie en hachurant la zone consolidée.

Le constructeur peut ainsi bâtir son projet sur fondations superficielles, ce qui représente une économie importante à l'échelle d'un projet de cette ampleur.

## ■ Les moyens mis en œuvre

Une des contraintes du projet était le délai imparti pour réaliser les travaux. En effet, le calendrier de la SADEV prévoyait la réalisation du chantier de conso-



**Hubert Grünewald**  
Directeur de l'agence  
Paris & Centre  
Solétanche Bachy



**Guillaume Douhéré**  
Responsable service IDF  
Confortement  
Solétanche Bachy



**Charles-Éric Macé**  
Directeur travaux  
Solétanche Bachy



**Michel Frontigny**  
Conducteur travaux  
Solétanche Bachy

Photo 4

Réalisation

du comblement

Execution of filling

Des immeubles « R+7 » sur carrières et sans pieux à Vitry-sur-Seine

Figure 1  
Plan de forage  
Drilling plan

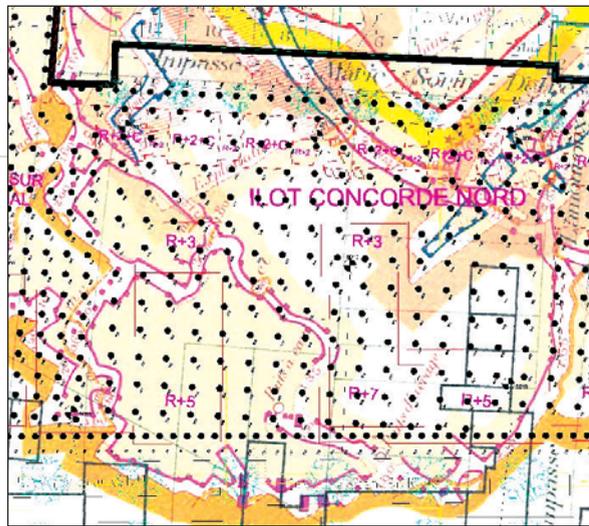


Figure 2  
Exemple de diagraphie  
d'un forage  
Example of borehole logging

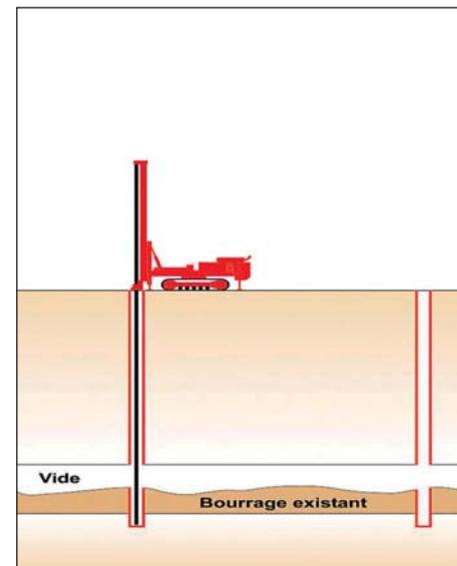
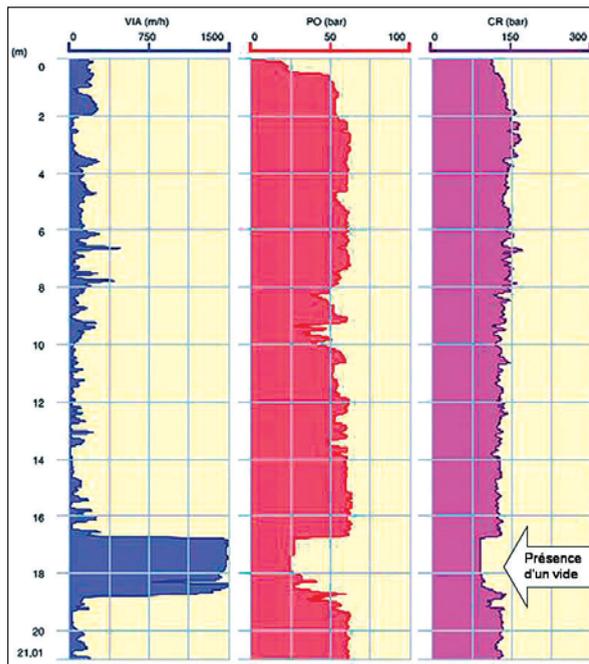


Figure 3  
Forage  
Drilling

■ Méthodologie des travaux

Forage

Un maillage est défini afin de remplir de la façon la plus optimale possible la parcelle. Une maille de 4 x 4 m et rétrécie à 2,5 m en périphérie de la zone est réalisée à une profondeur moyenne de 25 m (figure 1). Le forage présente deux utilités :

- la première, permettre de créer un point d'accès pour le remplissage de la carrière;
- la seconde, en enregistrant les paramètres de forage, est de savoir si ce forage a rencontré la carrière (figure 2).

Une fois foré, le trou est équipé par un tube PVC crépiné en partie basse pour le remplissage (figure 3).

Barrage

Quand une galerie se prolonge au-delà de la limite de la parcelle à traiter, il est nécessaire de réaliser un barrage afin de confiner les travaux de comblement à la parcelle à traiter.

Remplissage gravitaire de mortier de ciment

Le mortier est composé d'eau, de ciment et de sablon. Il est peu dosé en ciment et est très liquide. En effet, l'objectif est d'obtenir, avec une résistance à la compression proche de 1,5 MPa, une diffusion maximale du mortier dans la cavité. Il est fabriqué sur place à l'aide d'une centrale à pesage automatique et est envoyé gravitairement dans chaque tube PVC par

validation en 4 mois, ce qui est court au vu de la surface à traiter (cf. encadré « Les principales quantités »). Des moyens importants, notamment matériels, ont donc dû être mobilisés pour garantir ce délai de réalisation :

- cinq ateliers de perforation, équipés d'enregistreurs de paramètres de forages, qui ont été modifiés pour ces opérations, en particulier afin de présenter une meilleure signature numérique des vides;
- deux centrales automatisées de préparation de mortier (conception Solétanche Bachy);
- douze presses hydrauliques d'injection;
- une centrale de préparation et d'injection de coulis de traitement à huit points;
- un dispositif de suivi informatisé (SPICE, procédé Solétanche Bachy) pour le traitement des données enregistrées lors des injections sous pression.

Tous ces matériels ont été mis en œuvre par une équipe constituée de quatre personnes pour l'encadrement, douze personnes pour le forage et huit personnes pour la réalisation des mortiers et coulis.

le biais de pompe hydraulique. On considère que la carrière est remplie lorsque le mortier remonte par l'espace annulaire du forage. Cet équipement est lavé en fin de remplissage pour rester vide et propre (figure 4).

## Clavage

Après 7 jours de séchage, le mortier de comblement présente un certain retrait. Cette étape de clavage a pour but de remplir les vides résiduels. La composition du mortier est plus riche en ciment. Il est envoyé à faible pression (3 à 5 bars) jusqu'à résurgence (figure 5).

## Traitement des remblais de carrières

Durant l'exploitation du calcaire, certaines carrières qui n'étaient plus utilisées étaient ensuite remblayées par des déchets de taille.

Si des remblais de carrières sont rencontrés lors du forage (détection à l'aide des enregistrements de paramètres), des tubes à manchettes sont mis en place et un traitement au coulis de ciment est réalisé sur les tranches concernées. Sont aussi traités, les fontis (cheminée de décompression), et les terrains présentant une pression limite inférieure à 0,6 MPa (figure 6).

L'injection se fait par tranche de 33 cm ou d'un mètre en passe remontante. Un logiciel informatique développé par Solétanche Bachy, le SPICE gère l'ensemble de l'injection de façon informatique et automatisée.

Avant le démarrage du traitement, deux consignes d'arrêt d'injection sont émises : un volume maximum par tranche et une pression limite d'injection à ne pas dépasser.

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

#### Quantités réalisées

- 1077 forages en 150 mm de diamètre et de 25 m de profondeur moyenne soit 27000 m de forage (équivalent à 3 fois l'altitude de l'Everest)
- 16800 m<sup>3</sup> de mortier de ciment pour le comblement gravitaire
- 1700 m<sup>3</sup> de mortier de ciment pour le clavage
- 1500 m<sup>3</sup> de coulis de ciment pour le traitement

#### Matériel utilisé

- 30000 m de tube PVC
- 11000 m de tube à manchette
- 3500 t de ciment CEM III correspondant à 125 camions semi-bananes
- 19000 t de sablon correspondant à 760 camions semi-remorques

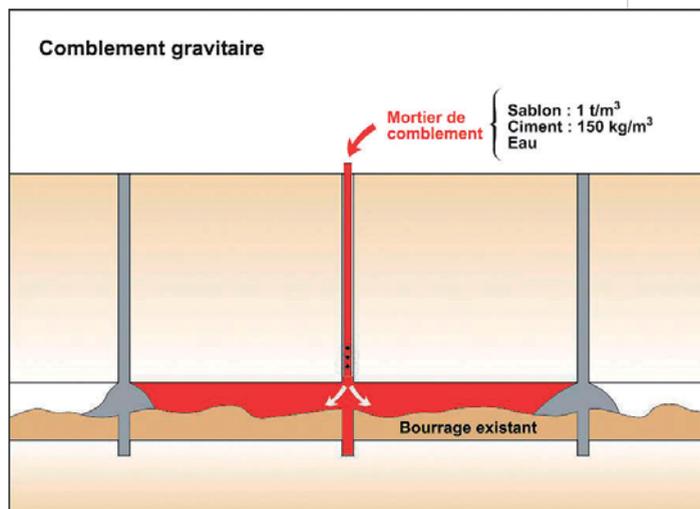


Figure 4  
Comblement  
Filling

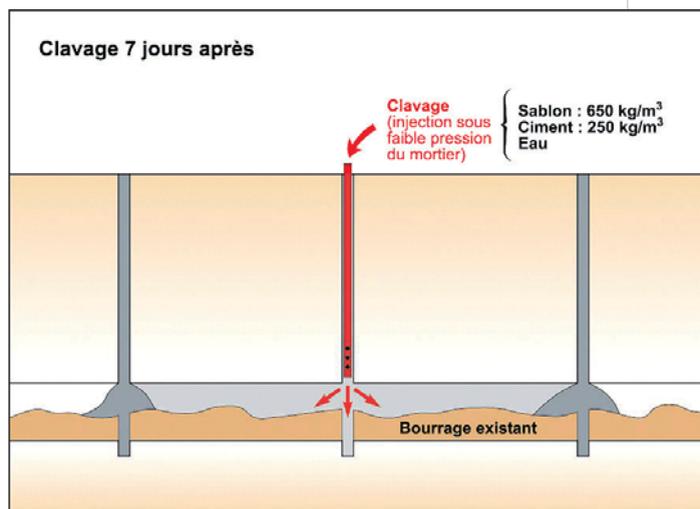


Figure 5  
Clavage  
Keying

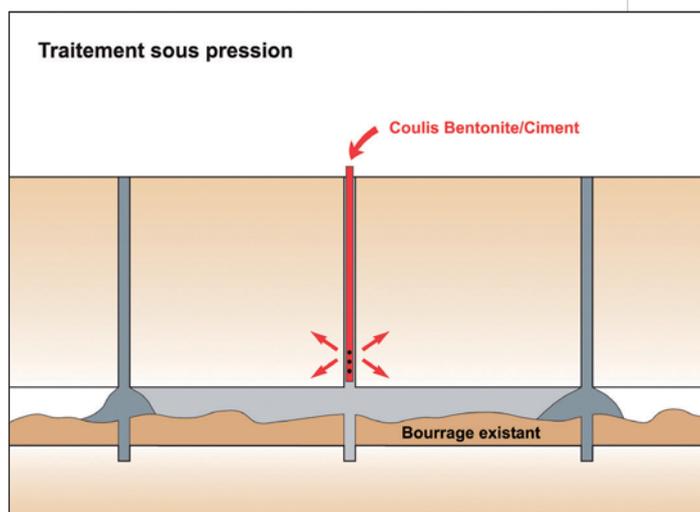


Figure 6  
Coulis  
Cement grout

## Des immeubles « R+7 » sur carrières et sans pieux à Vitry-sur-Seine

Le SPICE récapitule dans un tableau l'ensemble des volumes et pressions pour chaque tranche en indiquant si l'injection s'est arrêtée sur un critère de volume ou de pression.

### Contrôles des travaux

Une campagne de sondages de contrôle, diligentée par le maître d'ouvrage et confiée au maître d'œuvre, a été lancée 28 jours après la fin des injections. Cette campagne comportait un sondage pressiométrique pour 200 m<sup>2</sup> de terrain traité : les valeurs de la pression limite (Pl) mesurée sont, en tous points, supérieures à 0,6 MPa.

### Conclusion

Les bâtiments sont actuellement en cours de construction et pour les entreprises qui travaillent aujourd'hui, le terrain n'a plus rien d'exceptionnel. L'ouverture du centre commercial et la livraison de l'immeuble d'habitations sont prévues pour 2010. ■

#### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage**

Ville de Vitry-sur-Seine

**Aménageur**

SADEV 94

**Maître d'œuvre**

Semofi

**Contrôle réglementaire**

IGC

**Entreprise**

Solétanche Bachy

### ABSTRACT

#### *8-storey buildings built without piles on quarries in Vitry-sur-Seine*

H. Grünewald, G. Douhéret, Ch.-É. Macé,  
M. Frontigny

*A large part of the subsoil of the Ile-de-France region is undermined by underground quarries which commonly make it necessary to use deep foundation techniques for building above them. The ZAC Concorde (mixed development zone) project in Vitry-sur-Seine required underground consolidation works to allow the constructors to build 8-storey residential buildings and a shopping centre on shallow foundations.*

### RESUMEN ESPAÑOL

#### *Inmuebles "R+7" en canteras y sin pilotes en Vitry-sur-Seine*

H. Grünewald, G. Douhéret, Ch.-É. Macé  
y M. Frontigny

*Una gran parte del subsuelo de Île de France está compuesto por canteras subterráneas que obligan comúnmente a utilizar diversas técnicas de cimientos profundos para construir en la superficie. El proyecto de la ZAC Concorde en Vitry-sur-Seine (94) ha dado lugar a trabajos de consolidación subterránea que permitirán a los constructores edificar inmuebles para vivienda en R+7 y un centro comercial sobre cimentaciones superficiales.*

# Parc de stationnement Tony Garnier à Lyon : quand l'environnement donne le tempo

**Jean-Pascal Feltz**  
Directeur d'exploitation  
Eiffage TP agence  
de Lyon

**Corinne Feltz**  
Écrivain public

La Ville de Lyon poursuit actuellement la restructuration du quartier Gerland autour de quatre pôles : l'École normale supérieure, le parc scientifique (destiné à accueillir des entreprises de haute technologie), les berges du Rhône (aménagement d'un parc), et la partie bassin de plaisance (parc et aménagement portuaire).

Le parking enterré Tony Garnier s'insère dans ce quartier en pleine mutation et offrira 850 places sur sept niveaux, soit 205 000 m<sup>2</sup> de plancher environ. Une réalisation à ciel ouvert dont la technicité requiert des compétences croisées de bâtiment et génie civil. Le groupe constitué pour ce chantier – Eiffage Construction et Eiffage TP – a permis de répondre à cette exigence.

## ■ Descriptif du projet

L'ouvrage est composé de trois chantiers, de forme et d'usage différents :

- le parc de stationnement en lui-même : rectangulaire, de 90 m de long pour 33 m de large sur sept niveaux enterrés, avec un noyau central pour les circulations piétonnes verticales. La particularité architecturale de ce parking réside dans la forme des poutres qui intègre de manière alternée en sous-face une pointe de diamant, donnant une impression de voûte ;
- les hélices : situées à l'extrémité sud du parking, elles sont composées de deux rampes hélicoïdales d'un rayon extérieur de 9,50 m reliées par un noyau central pour les circulations verticales piétonnes. Elles desserviront les différents niveaux du parking ;
- les ouvrages extérieurs :
  - > les carnaux de ventilation situés au nord de l'ouvrage sont composés d'ouvrages de génie civil enterrés,
  - > les rampes d'accès au parking relient la voirie au niveau -1 sur le côté ouest de l'ouvrage. Elles permettent de loger l'ensemble des locaux nécessaires à son exploitation (figure 1).

Ces différentes caractéristiques ont entraîné des modes constructifs différents.

Dans un premier temps les parois moulées et les barrettes de l'ouvrage principal (parc de stationnement + hélices) ont été réalisées. Le chantier se trouvant à quelques dizaines de mètres du Rhône, une attention particulière a été portée dans leur réalisation pour limiter au maximum les risques de « fuite ».

Pour le parc de stationnement en lui-même : les efforts horizontaux sont repris par des poutres et des planchers butonnants, disposés de manière symétrique par rapport aux barrettes centrales. Compte tenu de la profondeur de l'ouvrage, il était obligatoire de construire ces éléments transversaux de structure à l'avancement de la descente du terrassement.

Les hélices : au vu de la géométrie de cette partie de l'ouvrage, le noyau central intègre des planchers butonnants afin de permettre la stabilité de la paroi moulée contre les poussées de terre pendant la phase de terrassement.

Les ouvrages extérieurs : les carnaux de ventilation et les rampes d'accès au parking ont été construits de manière traditionnelle à l'abri d'une berlinoise (photo 1).

## ■ Un démarrage retardé

Les travaux ont débuté en septembre 2005 par la construction de la paroi moulée, technique la plus utilisée à Lyon pour la réalisation d'infrastructures profondes. Il s'agit d'une ceinture profonde de 32 m, dont 8 m de fiche sous le dallage du niveau 7, afin de stabiliser les terres alentours et d'assurer l'étanchéité de l'ensemble.

Au lancement des terrassements, l'équipe chantier détecte une pollution des sols lors de l'excavation du premier niveau. L'importance des émanations perçues paralyse totalement le chantier, dans l'attente des résultats d'analyse de plusieurs échantillons. Une importante pollution aux hydrocarbures des premiers mètres du sol est avérée.

Figure 1

Vue en plan niveau n-1  
Plan view of level n-1

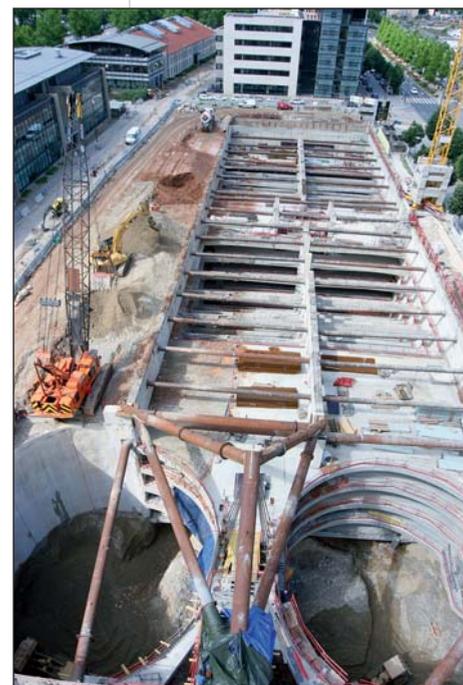
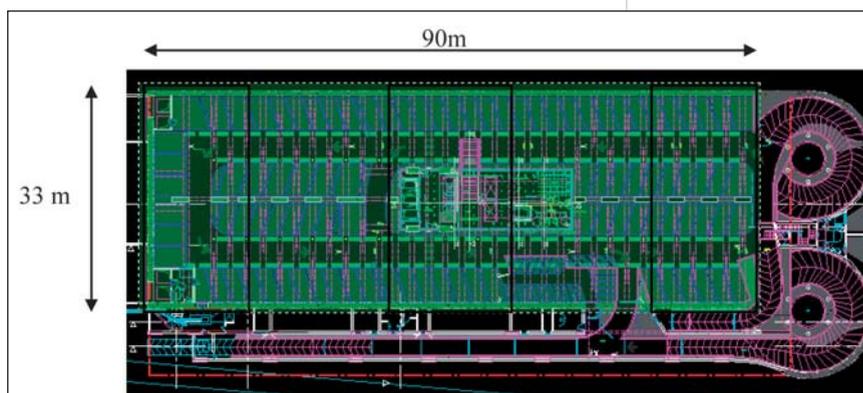


Photo 1

Vue générale du chantier.  
Au premier plan les « trous »  
hélices. Au second plan la zone  
courante en cours de descente  
General view of the site.  
In the foreground, the spiral  
"holes". In the background,  
the continuous section being  
lowered

Parc de stationnement Tony Garnier à Lyon : quand l'environnement donne le tempo

Photo 2

Vue générale du niveau n-1 et des butons métalliques provisoires  
General view of level n-1 and the temporary metal stays



Photo 3

Préparation pour mise en place des coffrages après terrassement  
Preparation for installing formwork after earthworks



Le groupement, en intégrant cette nouvelle contrainte environnementale, a dû modifier ses méthodes de réalisation pour maintenir les délais initialement fixés.

■ Des solutions à une pollution qui change la donne

Après la réalisation des parois moulées et barrettes, le chantier devait se dérouler en deux étapes : une phase descendante et une phase ascendante. Mais il a d'abord fallu procéder à la dépollution des cinq premiers mètres de terrain. Du fait de l'épaisseur à traiter, il était impossible de terrasser en une fois ces terres sans mettre en péril les parois moulées. Il était donc nécessaire d'adapter la phase descendante aux nouvelles contraintes. En effet, s'agissant d'un parking réalisé à ciel ouvert, il était prévu un butonnage de la paroi moulée par les poutres définitives. Mais, avec la mise en évidence de cette pollution, et afin d'éviter la présence d'équipes près des zones impactées, ce sont des butons métalliques provisoires – plus rapides à mettre en œuvre – qui remplacent les poutres définiti-

ves en tête de paroi sur le premier niveau, soit une hauteur de 6 m (photo 2).

La phase descendante ne peut donc commencer qu'au niveau -2. Une des conséquences de cette modification a été l'augmentation de la charge des grues en fin de chantier, tandis que les travaux sur le premier niveau n'ont pu se dérouler qu'à la fin de la remontée, en supplément des tâches déjà planifiées.

■ Le terrassement, clé de voûte de l'avancée du chantier

Durant la phase descendante, trois ateliers s'enchaînent : le terrassement, le rabotage et le génie civil, avec un cycle de 18 jours par niveau.

Pour le terrassement une mini-pelle foisonne le sol si nécessaire. Deux Trax travaillent en parallèle dans les zones est et ouest. Ils excavent le sol sur un niveau et viennent creuser sous les poutres butons. Ils laissent ensuite une hauteur de 1,10 m pour positionner le coffrage des poutres butons.

La terre remontée à l'aide d'une pelle à câble est soit traitée si elle est polluée, soit envoyée en déchetterie. La phase descendante enchaîne avec le rabotage des parois et des barrettes à l'aide d'une fraise montée sur une pelle hydraulique, puis le génie civil par le coffrage des poutres butons.

La géométrie particulière des poutres demandée par l'architecte impose des coffrages de forme spécifique, avec une nervure centrale en forme de pointe de diamant. Des outils spécifiques ont été conçus par le chantier pour permettre des manutentions plus faciles sous les poutres déjà construites, et pour s'adapter aux tolérances des fondations spéciales (photo 3).

Chaque entreprise travaille en parallèle en essayant de garder une vingtaine de mètres d'écart dans l'avancement. Une fois le terrassement d'un niveau terminé, il se poursuit sous les poutres du dessus.

Cet enchaînement rend chaque tâche critique, chaque corps de métier étant dépendant de l'autre (photo 4 et encadré « Quelques chiffres »).

QUELQUES CHIFFRES

- 600 m<sup>3</sup> de terrassement/jour
- 100 m<sup>2</sup> de piquage et rabotage de paroi moulée/jour
- 2 poutres butons de 15 m coulées tous les jours
- 450 m<sup>2</sup> de plancher butonnant tous les 5 jours



Photo 4

Vue des poutres depuis le niveau n-6  
View of the beams from level n-6

Le groupement a fait preuve d'une bonne organisation du poste terrassement, alors même que le changement de la nature des sols, les intempéries et la rotation des équipes ont rendu celui-ci délicat.

En complément, afin de ne pas compromettre ultérieurement la bonne tenue du planning, le groupement décide de réaliser un maximum d'ouvrages à la descente : il intègre à ce cycle de 18 jours la réalisation des dalles butonnantes et des voiles de l'hélice. Pour ce faire, il retient une solution originale : la mise en place d'un tripode métallique provisoire qui permet de suspendre l'ensemble de la structure.

### ■ Une technique particulière de génie civil pour gagner du temps (photo 5)

En raison de l'absence de barrettes au niveau du noyau central, pour réaliser les planchers butonnants à la descente et ainsi s'affranchir des butons métalliques, la direction du chantier a imaginé ce système innovant : suspendre les sept niveaux de dalles, soit 810 t. Les voiles sont utilisés comme tirants, le tripode répartissant la charge totale en trois points en tête de la paroi moulée.



Photo 5

Le tripode retenant les trois premiers niveaux  
The tripod restraining the first three levels

Cette technique a ainsi permis de réaliser, à la descente, l'ensemble des structures centrales. Compte tenu de la réalisation en sous-œuvre des élévations, pour assurer une meilleure finition, le chantier a mis en place des bétons auto-plaçants.

Pour limiter les manutentions à la grue dans cette zone exigüe et peu accessible, une solution en coffrage traditionnel en bois a été retenue.

### ■ Une cadence toujours soutenue à la remontée

Une fois le terrassement et le radier drainant achevés, les rampes des hélices et les dalles non butonnantes sont réalisées à la remontée. Cela exige une cadence plus soutenue et une organisation encore plus rigoureuse qu'à la descente.

En zone courante de parc, les six niveaux de plancher sont remontés en 24 jours.

Parallèlement, à chaque niveau des hélices, six poteaux sont coulés en place, et six pièces préfabriquées de garde-corps des rampes hélicoïdales sont posées pour servir de coffrage de rive et de garde-corps à l'hélice. Le fond de moule est ensuite coffré de manière traditionnelle pour pouvoir claver l'ensemble.

#### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- 9000 m<sup>2</sup> de paroi moulée
- 90000 m<sup>3</sup> de terrassement
- 1810 t d'acier HA
- 21300 m<sup>3</sup> de béton
- 90000 heures

### Parc de stationnement Tony Garnier à Lyon : quand l'environnement donne le tempo



Photo 6

Image de synthèse au niveau du noyau central  
Synthesis image at the level of the central core

#### Conclusion

Ce chantier avait pour spécificité le peu de place de stockage pendant toutes les phases de construction, l'emprise du site étant quasiment celle du « trou ». À cette contrainte forte s'est rajoutée celle de la pollution des sols, obligeant les différents intervenants à trouver des méthodes et des phasages nouveaux et innovants pour respecter les délais du projet (photo 6). ■

#### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

##### **Maître d'ouvrage**

L.P.A (Lyon Parc Auto)

##### **Architecte**

Pierre Vurpas & Associés

##### **Bureau d'études général**

Arcadis ESG

##### **Bureau d'études technique**

Ingerop

##### **Gros œuvre**

Eiffage Construction - Eiffage TP

#### ABSTRACT

*Tony Garnier car park in Lyon : when the environment leads the dance*

J.-P. Feltz, C. Feltz

*The City of Lyon is currently performing restructuring of the Gerland district around four poles : the teachers' training school "École normale supérieure", the science park (to host high-tech firms), the banks of the Rhone (development of a park), and the marina section (park and port development).*

*The Tony Garnier underground car park is being built in this district undergoing a complete transformation. It will offer 850 parking spaces on seven levels, or about 205,000 sq. M. of floor space. Given the highly technical nature of this open-air project, a combination of building and civil engineering skills is required. The consortium formed for this project, Eiffage Construction and Eiffage TP, was able to meet this requirement.*

#### RESUMEN ESPAÑOL

*Aparcamiento Tony Garnier en Lyon : cuando el medio ambiente marca el ritmo*

J.-P. Feltz y C. Feltz

*La Ciudad de Lyon prosigue, actualmente, la reestructuración del barrio Gerland en torno a cuatro polos : la Escuela normal superior, el parque científico (destinado a recibir empresas de alta tecnología), las riberas del Ródano (ordenación de un parque), y la parte estanque para navegación deportiva (parque y ordenación portuaria).*

*El aparcamiento enterrado Tony Garnier se inserta en este barrio en plena mutación y permitirá proponer 850 plazas en siete plantas, o sea unos 205000 m<sup>2</sup> de forjado. Una realización a cielo abierto cuya tecnicidad requiere diversas competencias cruzadas de edificación e ingeniería civil. La agrupación formada para esta obra – Eiffage Construction y Eiffage TP – ha permitido responder a esta exigencia.*