

La revue technique des entreprises de Travaux Publics

Travaux

n° 842
Juin 2007

AMÉNAGEMENTS URBAINS

- Les filiales Screg au service des lignes de TCSP
- Le tramway de Valenciennes
- Couvertures du RER A en exploitation
- Le Palais de Tokyo abritera une usine frigorifique de Climespace
- 3138 détonateurs électroniques en rénovation urbaine à Mantes-la-Jolie
- Un parking royal à Saint-Germain-en-Laye
- Une berlinoise de 26 m à Monaco : Industria Minerve
- Recycan® et Viagrip®, un procédé et un produit Eurovia pour zones urbaines
- Paroi lutétienne et pieux Starsol® à Bois-Colombes

Aménagements urbains

Repenser le génie urbain à travers le développement durable



Francis Cuillier
Directeur général de l'urba'
Président du CFDU²
Grand Prix d'Urbanisme 2006

La ville est ouvrage d'art, disaient les grands ingénieurs de l'art urbain du XIX^e siècle, amenant peu à peu, à travers la pensée hygiéniste et fonctionnelle, à concevoir les espaces urbains, rues, places, jardins, réseaux, infrastructures comme composantes d'un système global que l'on appelle encore le génie urbain. Même si cette manière de concevoir la ville a permis l'essor considérable d'une science de l'urbain qui a été le socle du développement de la ville moderne, elle a peu à peu été battue en brèche par son incapacité à faire face aux nouvelles réalités qui s'offrent aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage.

Aujourd'hui, les exigences du développement durable, ainsi que celles de la métropolisation de nos territoires, amènent à repenser en profondeur tant nos modèles de développement et de conception en ingénierie territoriale et génie urbain que nos méthodes de travail.

Une première réalité est celle du développement de nos bassins de vie, qui exporte la demande de services urbains dans toutes les strates du territoire : n'y a-t-il pas des réponses spécifiques et contextuelles, plutôt que celles d'appliquer des standards inadaptés ? Pourquoi, par exemple, continue-t-on à aménager les voiries périurbaines comme des routes, sans y intégrer, comme en ville, trottoirs, pistes cyclables et passages piétons ? A contrario, pourquoi continue-t-on à exporter des systèmes d'assainissement collectifs dans des zones pavillonnaires sans bien en percevoir l'intérêt et les conséquences ?

Une deuxième réalité est celle de la demande grandissante de plus de nature et d'espaces natu-

rels dans la ville. Considérés il y a peu comme un luxe ou un diktat des élus, l'arbre et l'espace naturel en ville correspondent à une vraie demande collective, facteur de confort, d'ombre et de ressourcement. On voit se déployer de plus en plus micro-jardins, coulées vertes, murs végétaux, prairies urbaines qui élargissent considérablement le vocabulaire du végétal en ville. La ville du futur doit être compacte et verte.

Une troisième réalité et qui n'est pas la moindre est la nécessité de faire face au besoin à la fois d'économiser l'espace et l'énergie, tout en préservant les équilibres environnementaux et en anticipant les conséquences du réchauffement climatique. L'urbaniste, mais aussi l'architecte et l'ingénieur doivent intégrer toutes ces données aux différentes échelles, du territoire à la parcelle, pour réformer le cahier des charges du projet urbain et de l'aménagement, afin de tendre vers de véritables quartiers durables et répondant aux aspirations des habitants. Enfin, nous devons travailler en équipes transversales mêlant tous les champs disciplinaires nécessaires.

Dans cet enchaînement de contraintes et de nouveaux objectifs, il y a matière à refonder un nouvel art d'aménager les villes qui mène chacun des acteurs de la chaîne, urbaniste, maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprise, à un devoir d'invention qui conditionne la réussite de la ville de demain, et pour que le développement durable prenne toute sa dimension.

1. Agence d'urbanisme Bordeaux métropole Aquitaine
2. Conseil Français des Urbanistes

Les filiales Screg (groupe Colas) de lignes de transports collectifs

Les lignes de TCSP (Transports collectifs en site propre) font l'objet depuis plus d'une dizaine d'années d'un regain d'attention de la part des collectivités territoriales. En effet, pour lutter contre la pollution et l'engorgement des villes, les transports en commun offrent une solution alternative efficace et respectueuse de l'environnement.

Les filiales Screg du groupe Colas ont, depuis le début, accompagné les mutations techniques des matériels roulants en proposant des produits et procédés adaptés aux nouvelles contraintes et aux exigences architecturales des maîtres d'ouvrage.

Une cellule spécialisée, regroupant techniciens et exploitants des filiales Screg, permet d'enrichir leur savoir-faire au travers de nombreuses réalisations en France et de bénéficier également du savoir-faire du groupe Colas à l'étranger.

L'urbanisation croissante et l'augmentation des gênes qui l'accompagnent conduisent à la multiplication des projets de transports collectifs. Les modes de transport eux-mêmes évoluent. Le tramway sur rails, rajeuni, est de retour. Des voies réservées aux autobus sont installées un peu partout. De nouveaux systèmes, dits intermédiaires, apparaissent, avec des véhicules de conception spécifique, sur pneumatiques, guidés.

Le flux d'investissements affectés à des projets de transports collectifs est maintenant considérable. Les filiales Screg du groupe Colas se sont positionnées très tôt sur ce créneau et ont participé en France à de nombreux projets d'études et de réalisations.

Afin de capitaliser les bonnes pratiques et de prospecter les solutions d'avenir, les filiales Screg se sont organisées autour d'une cellule spécifique qui rassemble les connaissances pour la conception, la réalisation et l'entretien des infrastructures, en attirant l'attention sur les points les plus importants ou les plus sensibles. Sur le plan technique, la conception et la construction de voies de TCSP ont énormément évolué depuis les années 1990 en passant d'une logique de « voie ferrée » à une logique de voirie spécifique répondant à des contraintes et sollicitations bien particulières. En effet, plusieurs points ont fait évoluer l'approche constructive des lignes de TCSP. Tout d'abord, le matériel roulant est maintenant très divers et propose des TCSP sur pneus ou sur rails avec des systèmes de guidage spécifiques (rail central, rail « optique virtuel »). Ensuite, les matériaux de construction ainsi

que les matériels de mise en œuvre ont notablement évolué (matériaux auto-plaçants, voies préfabriquées, mini-finisseries...) et permettent d'accompagner la modernisation et l'aménagement de lignes de TCSP – enjeux économiques, stratégiques et urbanistiques primordiaux pour les collectivités.

■ Construction des infrastructures

Les filiales Screg mettent en œuvre des produits et des procédés spécifiquement adaptés aux différents types de TCSP et utilisent des savoir-faire et des techniques d'ingénierie propres à ce type d'infrastructures.

Elles disposent de matériels spécialement conçus et développés pour les TCSP qui améliorent ainsi la productivité des chantiers et la qualité des ouvrages réalisés. Parmi les produits et procédés (photos 1 et 2), notons :



Photo 1

Scintiflex - Tramway de Bordeaux

Scintiflex - Bordeaux Tramway

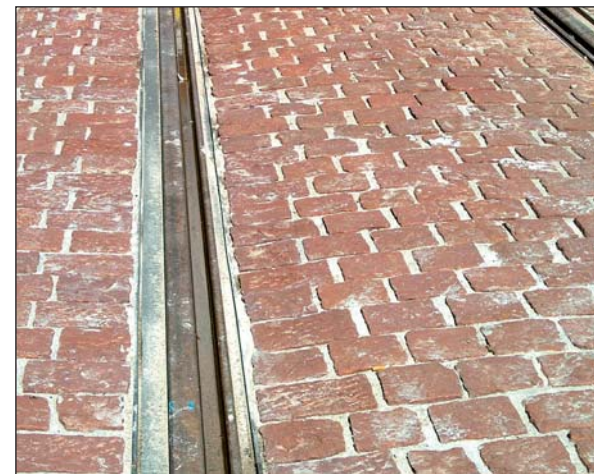


Photo 2

Pose de pavés à Mulhouse

Laying paving stones in Mulhouse

au service des aménagements en site propre

- le Métalflex Tram : produit breveté permettant de gérer l'interface rail-revêtement de surface pour les tramways sur rails mais permettant également d'assurer une très bonne tenue des enrobés au fluage;
- les produits esthétiques tels que le Scintiflex (enrobé scintillant breveté à base de verre miroir), le Compogreen (enrobé à base de liant végétal breveté), le Streetprint (enrobé imprimé), le Greenflex (complexe engazonné breveté pour voies entre rails, en cours de validation technique), le Compocolor (famille d'enrobés colorés à base de bitume de synthèse);
- le dispositif d'accostage pour véhicules guidés sur pneus, etc.

Grâce à des méthodes de planification et de réalisation rigoureuses, les filiales Screg assurent une parfaite coordination avec les autres intervenants et savent maîtriser les contraintes multiples liées au milieu urbain.

Les équipes qui interviennent sont spécifiquement formées à ce type de chantiers. Elles maîtrisent toutes les techniques d'exécution des fondations et des couches de finition (éléments modulaires, béton, pierres naturelles, zones engazonnées, enrobés colorés...).

Fortes de leur expérience en matière de travaux urbains, les filiales placent les usagers et les riverains au cœur de leurs priorités :

- actions d'information pour prévenir et sensibiliser les riverains à la gêne occasionnée par les travaux;
- sécurisation du chantier grâce à une parfaite connaissance des points sensibles et des risques potentiels de cette activité.

■ Entretien : une pérennité maîtrisée

Les filiales Screg garantissent contractuellement à leurs clients la bonne tenue dans le temps de leurs réalisations. Le système rigoureux d'assurance qualité, mis en œuvre à chaque étape de la construction, permet la réussite des chantiers et limite les opérations de service après-vente.

Grâce à une palette très étendue de techniques de petit entretien, les filiales Screg assurent une maintenance efficace, réactive et pérenne des infrastructures. La disponibilité et la qualité de service de leurs équipes leur permettent d'intervenir sur les réseaux en dehors des périodes normales d'activité (nuit, week-end...).

■ Études et projets

Les filiales Screg disposent aujourd'hui d'une banque de données complète et régulièrement enrichie sur

l'ensemble des éléments d'étude des infrastructures de transports collectifs :

- techniques de dimensionnement de chaussées (avec des solutions développées en fonction de la spécificité des projets);
- matériels roulants et procédés de guidage (rails, systèmes de voies...), techniques d'alimentation électrique;
- gestion des contraintes liées aux différents systèmes (bruit, amortissement des vibrations, étanchéité, drainage...).

Grâce à une connaissance approfondie des matériaux locaux et des techniques de mise en œuvre, les filiales Screg possèdent une maîtrise totale des coûts et peuvent soumettre des offres à la fois compétitives et performantes.

En outre, l'organisation en réseau des filiales est porteuse d'une complémentarité à forte valeur ajoutée dans le cadre d'offres globales (photo 3).

De nombreuses références en France et en Europe

On peut citer entre autres :

- réalisation d'un complexe Métalflex® + Scintiflex® à Bordeaux (Screg Sud-Ouest);
- pose de matériaux modulaires à Bruxelles (Colas Belgium) et à Mulhouse (Screg Est);
- réalisation de béton désactivé à Gand (Colas Belgium);
- pose de Métalflex® à Lyon (Screg Sud-Est);
- réalisation de Métalflex® sur béton compacté à Montpellier (Screg Sud-Est);
- réalisation de chaussées pavées à Mulhouse (Screg Est) et à Nantes (Screg Ouest);
- réalisation d'enrobés colorés Compocolor® à Saint-Étienne (Screg Sud-Est);



Photo 3
Plaquette TCSP filiales Screg
Reserved right-of-way public transport brochure for Screg subsidiaries



Michel Bertaud
Directeur Technique et Développement Screg
Groupe Colas



Laurent Brissaud
Directeur Technique adjoint Screg IdFN
Groupe Colas



Sébastien Bruhat
Chef de Service Développement Screg
Groupe Colas



Didier Desmoulin
Directeur Technique Screg Est
Groupe Colas



Philippe Pellevoisin
Directeur Technique adjoint Screg IdFN
Groupe Colas

Les filiales Screg (groupe Colas) au service des aménagements de lignes de transports collectifs en site propre

Focus sur : Le tramway des Maréchaux à Paris

Groupement d'entreprises : Colas Ile-de-France - Normandie / Screg Ile-de-France - Normandie / Sacer Paris-Nord-Est / Smac / Viamark

Enjeu économique et politique pour Paris et la Région Île-de-France, et objet d'une forte médiatisation, le Tramway des Maréchaux Sud (TMS), à Paris, a été réalisé en partie par le groupe Colas, adjudicataire des deux lots du troisième secteur, couvrant le XIII^e arrondissement. D'un montant de 25 millions d'euros, le projet confié au groupement a fait l'objet de deux marchés en parallèle, avec deux maîtrises d'ouvrage (la RATP pour les plates-formes et la Ville de Paris pour l'environnement) et deux maîtrises d'œuvre. Les travaux concernaient un tronçon de 3 km de longueur, avec la pose de 200 km de fourreaux, l'ensemble devant être réalisé impérativement en vingt-sept mois. L'opération n'a pas présenté de réelles difficultés techniques. L'enjeu a plutôt consisté à gérer une multiplicité de petits chantiers.

Pour mener à bien ce projet atypique, le groupe Colas avait mis en place une organisation spécifique, avec une agence créée spécialement pour le chantier (son PC était installé en face du stade Charlety). Cette agence regroupait des équipes de Colas Ile-de-France - Normandie, de Screg Ile-de-France - Normandie et de sa filiale Viamark (pour la signalétique et l'asphalte), de Sacer Paris-Nord-Est (pour les infrastructures) et de Smac (pour l'asphalte), soit au total une centaine de compagnons, cinq conducteurs de travaux, des employés administratifs, sans oublier le bureau d'études, constitué de sept personnes...

Un chantier au cœur de l'activité urbaine

La circulation a été l'une des grosses contraintes de ce chantier en milieu urbain très dense. Tous les matins, les équipes mettaient en place le balisage pour les automobilistes... Un dialogue permanent a été entretenu avec les riverains et les commerçants, afin de réduire le plus possible les perturbations.

« Cette immersion dans la ville a participé aussi à la bonne ambiance du chantier, explique Freddy Cahart, chef de centre Colas Ile-de-France-Normandie et directeur du chantier. C'est la même équipe qui a été sur place durant toute la durée des travaux. Tout le monde travaillait dans le même sens, collaborateurs et sous-traitants, avec deux objectifs : la qualité des travaux et le respect des délais. On avait tous conscience de participer à une grande aventure, à quelque chose d'unique... »

LE TRAMWAY DES MARÉCHAUX CHIFFRES CLÉS

- 41 000 m³ de déblais
- 200 km de fourreaux
- 30 000 t d'enrobés
- 28 000 m² d'asphalte
- 31 km de bordures
- 35 000 m² de dalles et pavés
- 2 km d'assainissement des plates-formes
- 9 quais (soit 2 000 m³ de béton et 150 t d'acier)
- 1 100 massifs dont 130 massifs porte-LAC (ligne aérienne de contact)
- 9 000 m³ de béton pour les chaussées et trottoirs
- 5 500 m³ de béton pour les plates-formes
- 4 000 m³ de béton pour la tranchée multitubulaire (pour la RATP)



- autres références : tramways de Grenoble (Screg Sud-Est), Orléans (Screg Ouest), Nancy (Screg Est), Bobigny, Caen, TER de Rouen, Paris et voies de bus (Screg Ile-de-France Normandie)...

■ Innover pour mieux satisfaire nos clients

L'expérience des filiales Screg en matière de travaux d'aménagement de lignes de transports en commun a permis d'identifier les points critiques et de proposer des solutions originales et performantes pour répondre aux contraintes identifiées.

Interface rail-revêtement de surface

Dès qu'il y a présence de rail(s), un problème spécifique se pose : celui de la tenue du bord de l'enrobé le long du rail et du joint d'étanchéité indispensable entre le rail et la couche de roulement.

En fait, le problème est triple. Premièrement, le compactage des bords de l'enrobé est difficile, en raison des faibles largeurs de bande et de l'encombrement de l'emprise, ce qui pénalise leur tenue sous trafic. De plus, une fissure longitudinale parallèle au rail apparaît à quelques centimètres du bord de l'enrobé, causée en particulier par les efforts de traction exercés par le joint d'étanchéité et par les mouvements du rail. Ensuite, il est impossible de tirer des rives parfaitement droites en l'absence d'un guidage matérialisé ; des bords d'enrobé irréguliers et sinueux sont inacceptables esthétiquement dans le cadre d'un projet de TCSP. Enfin, il y a un problème de compatibilité entre le mastic pour joint préconisé et les enrobés. Hervé Tessonneau, directeur technique Screg Sud-Est, a conçu et développé le Métalflex Tram pour résoudre ces problèmes (photo 4).

Photo 4
Métalflex Tram soudé au fer plat
Métalflex Tram welded to the flat bar



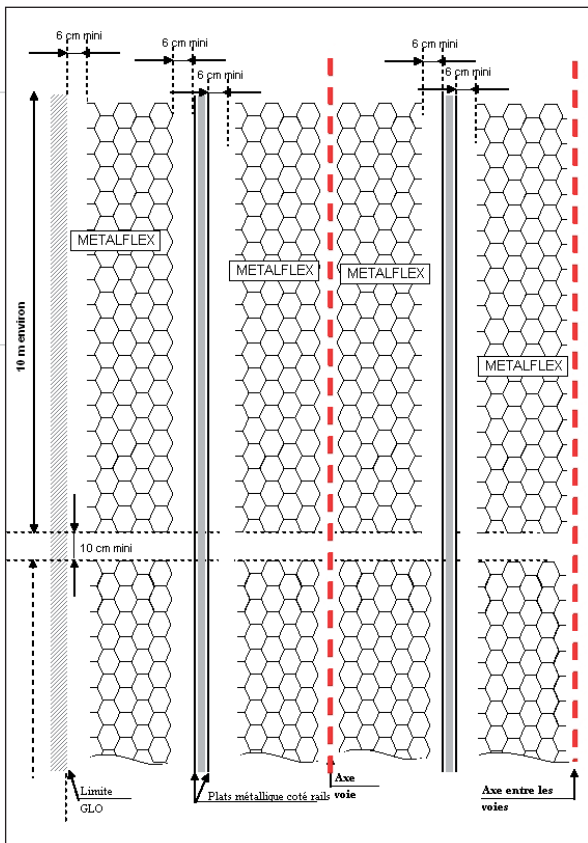


Figure 1
 Vue en plan - Pose de Métalflex
 Plan view - Laying Métalflex

Le Métalflex Tram comprend la grille métallique tridimensionnelle en forme de nid-d'abeilles et un fer plat disposé parallèlement au rail.

Diverses constatations sur site ont conduit à des améliorations technologiques du système métallique, dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- grille en nid-d'abeilles :
 - > largeur de l'hexagone (l) : 175 mm,
 - > hauteur de l'alvéole (h) : 25 mm,
 - > épaisseur de la feuille d'acier : 15/10 mm,
 - > dimensions des éléments : 2975 mm x 620 mm;
- fer plat :
 - > hauteur : 50 à 80 mm,
 - > épaisseur : 8 mm,
 - > plaques-guides à l'un des bouts pour alignement du fer plat suivant (figures 1, 2 et photo 5).

L'ensemble une fois mis en place, la grille tridimensionnelle arme et frette l'enrobé, empêchant son fluage et son déchirement, et conférant à la couche de roulement une résistance exceptionnelle à l'orniérage et à la fissuration. Le fer plat permet une mise en place satisfaisante et un compactage poussé des bords de l'enrobé. Le fer et la grille reprennent les efforts latéraux générés par les mouvements de la voie et du joint, évitant ainsi la fissuration longitudinale du revêtement. Grâce au fer plat fixé dans une position parfaitement parallèle au rail, le bord de l'enrobé est propre et rectiligne. Il en va de même pour le joint, ce qui donne à l'ensemble un aspect esthétique et soigné.

De nombreux tramways bénéficient de cette technique : Bordeaux, Lyon, Saint-Étienne, Orléans, Nancy...

Le procédé Métalflex a fait l'objet d'une expérimentation au manège de fatigue FABAC (Fatigue des chaussées en béton armé continu) à Gevrey-Chambertin en

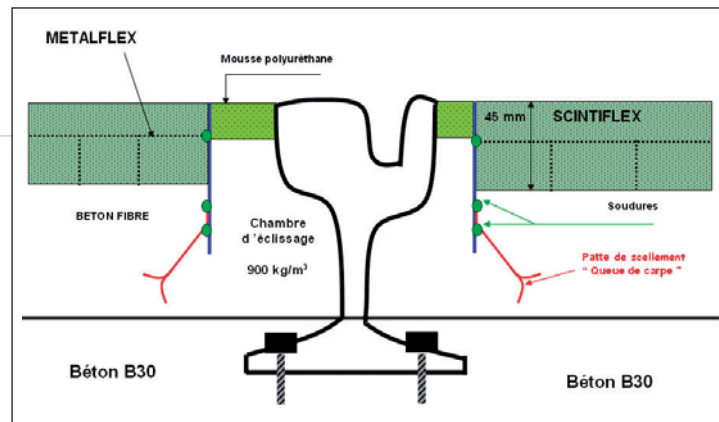


Figure 2
 Coupe transversale d'un assemblage rail - Chambre d'éclissage - Métalflex - Enrobé
 Cross section of a rail/fishing surface/Métalflex/bituminous mix assembly



Photo 5
 Fer plat avec « queue de carpe »
 Flat bar with an iron cramp



Photo 6
 Voie engazonnée - Solution traditionnelle
 Track planted with grass - Traditional technique

2000. Les relevés en continu des déformations et des dégradations sous la sollicitation de 1,5 million de cycles d'essieux agressifs type TVR de Bombardier (4,1 t, pression 9,5 bars) ont montré la très bonne tenue d'un complexe Métalflex + enrobé au bitume modifié type Compolastic.

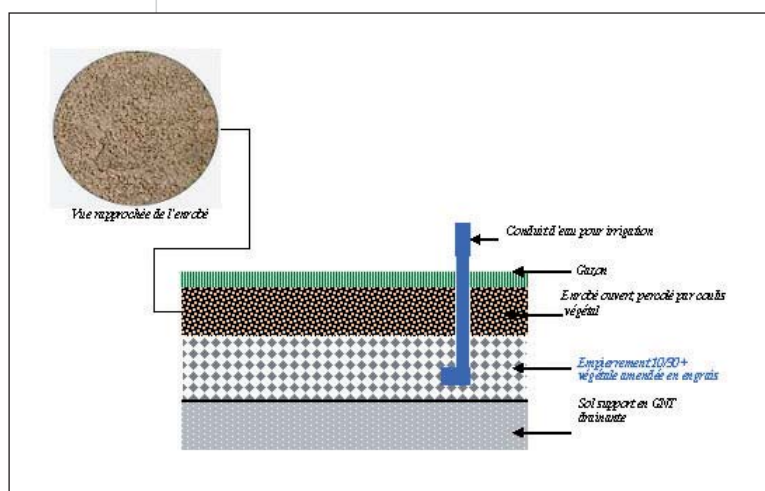
Voie engazonnée

Les coulées vertes en milieu urbain sont de plus en plus plébiscitées par les maîtres d'ouvrage tant pour leurs caractéristiques esthétiques qu'environnementales (photo 6).

La mise en œuvre de parties engazonnées peut poser des problèmes notamment de traficabilité des piétons,

Les filiales Screg (groupe Colas) au service des aménagements de lignes de transports collectifs en site propre

Figure 3
Exemple de structure type Greenflex
Example of typical Greenflex structure



vélos ou véhicules de secours en cas d'encombrement sur les voies routières classiques.

Le procédé Greenflex, en cours de validation technique, est une solution originale, brevetée, d'aires engazonnées pour voies de TCSP qui a été nominée au prix de l'Innovation du Salon des maires et des collectivités locales en 2006.

L'invention (figure 3) concerne un béton bitumineux, fabriqué à chaud ou à froid, de granulométrie 0/6, 0/10, 0/14 ou 0/20 présentant un pourcentage de vides ≥ 35 , ces vides recevant ensuite un coulis végétal ensemencé de graines de gazon; l'ensemble est destiné à la réalisation de surfaces diverses telles que des parcs de stationnement, des pistes de jogging, des chemins de golf, des chemins de randonnée, des aires d'héliport, des voies pompiers ainsi que l'engazonnement entre rails de tramway.

L'enrobé est mis en œuvre au finisseur ou à la main suivant les règles de l'art sur une épaisseur de 4 cm. Après refroidissement de celui-ci, on procède au répandage du coulis préalablement fabriqué dans une bétonnière ou tout autre procédé de malaxage. Le dosage de ce coulis est compris généralement entre 20 et 25 litres par mètre carré. La percolation du coulis est effectuée à l'aide d'un matériel de compactage : plaque vibrante, compacteur double bille...

Greenflex présente divers avantages tant sur le plan économique que technique et environnemental :

- **les avantages technico-économiques** : l'originalité du produit réside tout d'abord dans la rapidité d'exécution du complexe avec une vitesse de pose de l'enrobé d'environ 13 m² par minute et une vitesse d'ensemencement d'environ 1000 m² par jour, soit 3 fois plus vite que la plus rapide des techniques actuelles (blocs préfabriqués en béton ou matière PVC).

De plus, la planimétrie exceptionnelle de l'enrobé ainsi que la portance et la traficabilité du support (matrice bitumineuse) assurent un confort à la tonte inégalé.

Il en est de même pour le confort de circulation piétonne avec une absence d'aspérités et une propreté constante, même l'hiver, sans compter l'agrément que procure le gazon.

Ainsi, la réalisation de « coulées vertes » en milieu urbain est facilitée par la traficabilité des engins de tonte mais aussi de tout autre engin de manutention (entretien des LAC - Lignes aériennes continues, boucles de détections, véhicules des sociétés paysagères, camions pompiers...);

- **les avantages environnementaux** : les vides communicants de l'enrobé permettent de constituer une réserve d'eau mobilisable immédiatement par le gazon qui garde ainsi une hydratation constante, lui conférant une grande homogénéité de couleur, de même qu'une longévité accrue. La matrice poreuse de Greenflex favorise la rétention d'eau et diminue par conséquent la fréquence d'arrosage pour ce type de produits. Les économies en eau sont estimées à environ 20 %.

De plus, la fabrication de la matrice poreuse peut être réalisée en utilisant :

- > un liant bitumineux basse température, permettant une réduction de la consommation d'énergie et une limitation des émissions de gaz à effet de serre. L'abaissement de la température de fabrication et de mise en œuvre limite le vieillissement du liant et augmente donc la durabilité de la matrice;
- > un liant végétal, issu de matières premières entièrement renouvelables, appliqué également à basse température, économe en énergie et limitant les émissions de gaz à effet de serre.

Dispositif d'accostage pour véhicules guidés sur pneus

Pour éliminer tout risque de percuter ou de frotter la bordure de quai, il est bon que le véhicule soit physiquement dirigé à son arrivée au point d'arrêt. Pour cela, un dispositif d'accostage breveté a été mis au point.

Il s'agit d'un tube en acier supporté par une bordure de granulats de caoutchouc recyclé. Ce dispositif a été installé sur le TVR de Nancy (photo 7).

Conclusion

Acteur majeur de la construction et de l'entretien des voiries des transports collectifs en site propre, le réseau des filiales Screg détient une expertise et un savoir-



Photo 7

Dispositif d'accostage
Mating system

faire unanimement reconnus; elles mettent en œuvre des produits et des procédés spécifiquement adaptés aux différents types de TCSP et disposent de matériels spécialement conçus et développés pour ce type de travaux.

De nombreux produits et procédés sont en cours d'évaluation, notamment les enrobés à hautes performances et forte maniabilité à plus basses températures, pour une mise en œuvre entre les rails.

Les filiales disposent aujourd'hui d'une banque de données complète et régulièrement enrichie sur l'ensemble des éléments d'étude des infrastructures de transports collectifs (techniques de dimensionnement spécifiques, informations sur les matériels roulants, les procédés de guidage et les techniques d'alimentation électrique, la gestion des contraintes liées aux différents systèmes : bruit, amortissement des vibrations, étanchéité, drainage...). En outre, l'organisation en réseau des filiales est porteuse d'une complémentarité à forte valeur ajoutée dans le cadre d'offres globales. ■

ABSTRACT

The Screg subsidiaries (Colas group) develop reserved right-of-way public transport lines

M. Bertaud, L. Brissaud, S. Bruhat,
D. Desmoulin, Ph. Pellevoisin

For more than about ten years now, reserved right-of-way public transport lines have seen a revival of interest at the local government level. In particular, in the fight against urban pollution and congestion, public transport systems represent an efficient, environmentally friendly substitute.

The Screg subsidiaries of Colas group have, from the outset, moved in step with technical changes in rolling stock by proposing products and processes adapted to the new constraints and architectural requirements of contracting authorities.

A specialised unit, bringing together technicians and operators in the subsidiaries, enriches their know-how through numerous projects carried out in France and also enables them to benefit from the expertise of Colas Group abroad.

RESUMEN ESPAÑOL

Las filiales Screg (grupo Colas) al servicio de las reestructuraciones de líneas de TPTP

M. Bertaud, L. Brissaud, S. Bruhat,
D. Desmoulin y Ph. Pellevoisin

Las líneas de TCSP (Transportes públicos en terreno propio) son objeto desde hace más de diez años de una atención particular por parte de los entes territoriales. Efectivamente, para luchar contra la contaminación y el atasco de las ciudades, los transportes públicos permiten aportar una solución alternativa eficaz y respetuosa del medio ambiente.

Desde el principio, las filiales Screg del grupo Colas han acompañado las evoluciones técnicas del material rodante proponiendo diversos productos y procesos adaptados a los nuevos imperativos y exigencias arquitectónicas de las empresas contratantes.

Un departamento especializado, que reúne a técnicos y operadores de las filiales, permite profundizar sus conocimientos técnicos mediante numerosas realizaciones en Francia y, además, beneficiarse de la pericia y experiencia del grupo Colas en la esfera internacional.

Le tramway

Ces dernières années ont été marquées par le retour en force du tramway dans certaines grandes agglomérations françaises : Nantes, Grenoble, Lyon... et Valenciennes.

Eiffage à travers ses filiales routières, de génie civil ou d'électricité a participé de manière directe ou indirecte à tous ces projets.

Valenciennes représente un projet particulier pour Eiffage car il a pris part à toutes les phases de construction de l'infrastructure (VRD, ouvrages d'art, voies...).

Le projet du tramway de Valenciennes, à travers cet article offre l'occasion d'aborder les travaux particuliers que sont la réalisation des plates-formes de tramways.

L'intérêt est double : aborder le sujet aussi bien d'un point de vue « routier » que d'un point de vue « voie ferrée » et souligner les particularités techniques de ces plates-formes.

Enfin, il permet de faire la lumière sur l'expérience et le savoir-faire acquis par Eiffage Travaux Publics ces dernières années dans le domaine des plates-formes de transports en commun.

Vendredi 16 juin 2006, Jean-Louis Borloo (ministre de l'Emploi, de la Cohésion sociale et du Logement – ancien maire de Valenciennes) a inauguré la première ligne du tramway de l'agglomération de Valenciennes. Trois années de travaux auront suffi pour finaliser un projet initié en 1992 sous l'impulsion de Jules Chevalier (ancien maire d'Aulnoy-les-Valenciennes et ancien président du SITURV¹) et concrétisé par Francis Decourrière (actuel président du SITURV). Le tramway valenciennois est le symbole du renouveau d'une ville sinistrée par les mutations économiques de la région durant les années 70-80 et qui ambitionne d'entrer dans le nouveau millénaire avec les atouts et les équipements d'une métropole moderne.

Le précédent réseau, à voie métrique avait été mis en service en 1881 et s'étendait jusqu'à la frontière belge. Les lignes étaient quasiment toutes installées en site propre et totalisaient 65 km en 1931 : c'était l'un des réseaux les plus importants en France. Le tramway s'est effacé du paysage ferroviaire valenciennois le 2 juillet 1966, laissant la part belle au bus et à l'automobile.

Après Grenoble, Nantes, Lyon, Montpellier, Bordeaux, Mulhouse, Strasbourg... Valenciennes rejoint le cercle des villes ayant opté pour le tramway sur rails pour faire face à leurs problèmes de congestion du centre-ville et pour répondre à un besoin de renouvellement de leur espace urbain. En effet, à Valenciennes comme pour beaucoup de villes, les travaux relatifs au tramway ont été l'occasion de redéfinir ou d'améliorer le paysage urbain hérité de la période industrielle de l'après-guerre (aménagement piétons, introduction d'arbres, végétalisation de la plate-forme, pistes cyclables, etc.).

Véritable outil de développement et de renouveau de l'agglomération et du tissu urbain, le tramway est, pour le concepteur, l'occasion de laisser son empreinte pour les générations à venir. Pour les entreprises, c'est l'occasion de montrer leur maîtrise technique et leur savoir-faire dans divers domaines (organisation et ordonnancement, travaux, sécurité, environnement, contrôles...).

Enfin, signalons que les chantiers de tramways sont le carrefour de deux mondes qui se côtoient peu : le métier de la route et celui du fer. Il est, à ce titre, un forum d'échanges et d'expérience unique en son genre.

■ Contexte général du projet - Historique

Valenciennes est la quatorzième agglomération française, le Valenciennois compte environ 350 000 habitants pour 81 communes, dont 11 ont plus de 10 000 habitants. Elle est organisée autour de quatre pôles, qui regroupent à eux seuls 55 % des emplois de l'agglomération

(Valenciennes, Denain, Saint-Amand-les-Eaux et Condé-sur-l'Escaut).

Depuis les années 70, le paysage urbain du Valenciennois a fortement évolué. L'accroissement de la densité urbaine a eu pour effet d'éloigner les habitants vers des villes en périphérie plus agréables à vivre, contrairement à l'activité économique qui s'est fixée au cœur de l'agglomération. Ceci a eu pour conséquence l'utilisation accrue de l'automobile, au détriment d'autres moyens de transport moins coûteux et moins polluants (les transports collectifs notamment).

Une spécificité du Valenciennois est l'existence de grandes friches industrielles en cours de revalorisation ou requalification, au cœur de la ville, héritage de la fin des grandes activités traditionnelles locales (mines, sidérurgie).

La loi sur la qualité de l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996 fait obligation à toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants de se doter d'un plan de déplacements urbains (PDU), Valenciennes en fait partie. L'objectif de ces plans est la diminution du trafic automobile, le développement des transports collectifs, le développement des moyens de déplacements économes et moins polluants. Pour nombre d'agglomérations, et notamment Valenciennes, le tramway est apparu comme la solution naturelle pour y répondre.

La politique de déplacements de l'agglomération de Valenciennes est menée par le SITURV, autorité organisatrice des transports sur ce territoire.

La construction du tramway devait donc répondre à

L'HISTORIQUE

- **1984** : Premières études
- **1995-1996** : Concertation avec la population
- **1997** : Études complémentaires
- **1998** : Approbation du choix du tramway par le SITURV
- **1999** : Détermination du tracé et demande de lancement de l'enquête d'utilité publique
- **2001** : Approbation du PDU - Déclaration d'utilité publique
- **2002** : Acceptation du dossier de subvention par l'État (41,5 millions d'euros)
- **2003** : Appels d'offres, finalisation du projet, dévoiement de réseaux
- **2004** : Début des travaux
- **2005** : Livraison des premières rames et essais
- **16 juin 2006** : Inauguration de la ligne 1. Mise en service
- **2006-2007** : Travaux de la ligne 2 (Dutemple - Denain)
- **2007** : Inauguration de la ligne 2. Mise en service (septembre)
- **2007** : Lancement des études de la ligne 3

1. Syndicat intercommunal pour les transports urbains de la région de Valenciennes (SITURV)

de Valenciennes

Ammar Triche
Service technique
Eiffage Travaux Publics

Stéphane Potin
Directeur de projet
Ingérop

Gérard Gillioqc
Directeur de travaux
Eiffage Travaux Publics

ces deux impératifs : satisfaire le PDU adopté par l'agglomération en février 2001 (notamment en reliant les quartiers difficiles) et desservir au mieux les friches industrielles actuellement en cours de requalification (cf. encadré « L'historique »).

■ Présentation du projet (figure 1)

Organe central du futur réseau, la première phase de la ligne relie l'Université du Hainaut Cambrésis (sud) au Quartier de Dutemple (nord-ouest). Elle traverse consécutivement les communes de Famars, Aulnoy-les-Valenciennes, Marly, Valenciennes et Anzin. D'une longueur d'environ 9,5 km, elle est ponctuée de cinq pôles d'échanges dont quatre sont équipés de parcs relais.

Le trajet est réalisé en 25 minutes, à une vitesse moyenne comprise entre 20 et 25 km/h. Les stations sont desservies à raison de 8 minutes aux heures creuses et toutes les 4 minutes en heure de pointe (pour les stations du centre-ville). Le matériel roulant est composé de rames de type Citadis (Alstom).

La construction du tramway a nécessité la construction de quatre ouvrages d'art et la réhabilitation de deux ouvrages existants (ponts métalliques de type Pratt datant de 1947).

L'atelier-dépôt, bâti sur l'ancienne gare des mines à Saint-Waast est, à lui seul, un chantier au cœur du chantier : 5,5 hectares (15 000 m²), capable de recevoir 21 rames de tramways et 25 bus. Il comprend les locaux techniques, les ateliers de maintenance, les bureaux ainsi que le poste de commande et le centre d'information téléphonique.

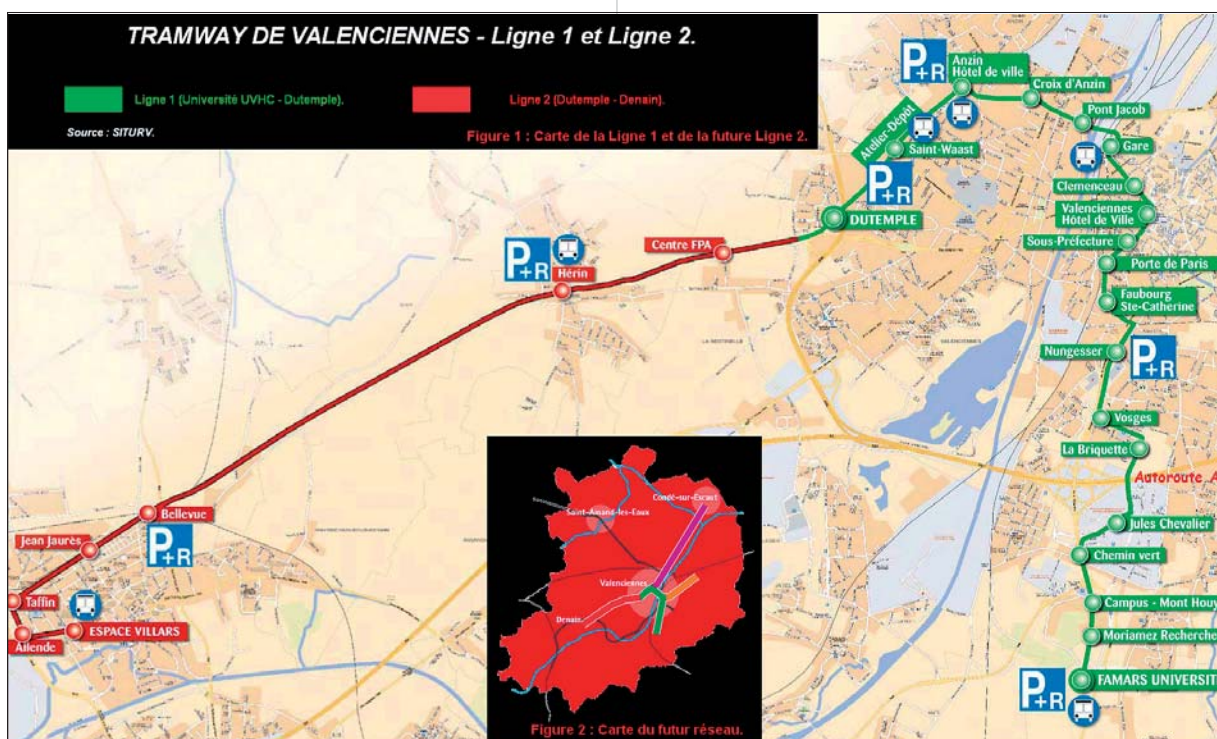
La réalisation du tramway a été pensée comme un outil de requalification urbaine, associée aux travaux du « cœur de ville » : les travaux comprennent en effet la rénovation des axes traversés de façade à façade. Les aménagements urbains ont été confiés à un groupement de maîtrise d'œuvre (Ingérop, Semaly, Seca) dont Ingérop est le mandataire. La partie insertion urbaine est intégrée à ce groupement de maîtrise d'œuvre, elle est composée de Graph (mandataire), Artefac et Wilmotte.

Début 2004, un groupement d'entreprises composé d'Appia Hainaut (filiale d'Eiffage Travaux Publics) et Colas Grands Travaux décroche le marché VRD n° 1 du tramway de Valenciennes : les secteurs ouest et sud du projet (secteur sud : Famars Université à l'autoroute A2 / secteur ouest : Pont Jacob à Dutemple). Un linéaire d'environ 5,3 km pour un montant total de 31 millions d'euros HT. Le marché VRD n° 2 (centre-ville) est quant à lui attribué à un autre groupement d'entreprises (cf. encadré « Les principaux interve-

Figure 1

Carte de la ligne 1 et de la future ligne 2

Map of line 1 and the future line 2



LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage
Syndicat intercommunal pour les transports urbains de la région de Valenciennes (SITURV)

Maître d'œuvre

- Gival (Ingérop, Seca, Semaly) pour l'ensemble du projet et la partie technique
- GWAP (Graph, Wilmotte, Artefac) en charge des études d'insertion urbaines du projet

VRD

- Beugnet Hainaut - Colas Nord-Picardie (lot 1)
- Jean Lefebvre - Screg - Ramery (lot 2)

Ouvrages d'art
Norpac - Quillery

Voie ferrée et signalisation ferroviaire
Vossloh - Eurelec

Courants faibles
Amec Spie Rail - Forclum Ingénierie - Norelec Industrie

Le tramway de Valenciennes

Photo 1

Vue générale des travaux -
Croix d'Anzin
General view of the works -
Croix d'Anzin



Photo 2

Vue générale des travaux -
Site de l'université
General view of the works -
University site



nants »), d'un montant équivalent (cf. encadrés des chiffres « Phase 1 » et « Phases 2 et 3 »).

■ Eiffage et le tramway de Valenciennes : une histoire de synergie

Alors qu'Appia Hainaut décrochait le lot VRD n° 1, en groupement avec Colas Grands Travaux, Quillery une filiale d'Eiffage TP décrochait quant à elle le marché des ouvrages d'art, associée à Norpac.

L'histoire aurait pu s'arrêter là, mais c'était sans compter sur la compétitivité, le savoir-faire, la maîtrise et la connaissance des enjeux locaux que d'autres filiales du groupe ont su prendre le tramway en marche.

En effet, STPV (filiale d'Appia Hainaut) est intervenue dans la réalisation des travaux VRD du lot n° 1 au niveau des terrassements, couche de forme, assainissement, VRD, et au travers de sa filiale voie ferrée, dans la réalisation des plates-formes des voies pour tramway en tant que sous-traitant du mandataire du marché « Voies ». Forclum Côte d'Opale a réalisé les stations de relèvement prévues au marché.

Forclum Réseaux Nord a réalisé l'ensemble de la signalisation de tramway du lot VRD n° 1 et une bonne partie de l'éclairage public. Desquesnes, filiale DLE, est intervenue pour la réalisation des tranchées relatives au marché d'éclairage public en tant que sous-traitant de Forclum.

Enfin, AER (Appia Équipements de la Route) a réalisé la multitubulaire de l'ensemble du lot VRD n° 1, avec une solution innovante et audacieuse qui a permis au groupement de tenir les délais impartis (utilisation d'une machine à coffrage glissant) (photo 3).

Sans oublier toutes les agences d'Eiffage Travaux Publics Nord-Pas-de-Calais qui ont mis à disposition des dizaines de compagnons et l'encadrement nécessaire pour réaliser dans les meilleures conditions ce chantier pharamineux tout en continuant à répondre à leurs clients traditionnels (cf. encadrés « Les principaux intervenants » et « Lot VRD n° 1 »).

■ Réalisation du chantier et spécificités

En mai 2004, les travaux sont lancés simultanément au niveau de l'université, d'Aulnoy-les-Valenciennes et Dutemple (abattage des arbres, défrichage, terrassements, dévoiement des conduites d'assainissement, de gaz, de télécommunication ou d'électricité, n'ayant pas été encore déviées et situées sous l'emprise de la future plate-forme du tramway, en collaboration avec les différents concessionnaires).

Le chantier s'est ensuite poursuivi à un rythme soutenu faisant intervenir différents corps de métiers : terrassements, assainissement, VRD, chaussées, réalisation de multitubulaires en béton, réalisation des massifs pour caténaires, pose de séparateurs en pierre de Chine...

La fin des travaux des plates-formes sur les deux sections a laissé la place à la réfection de voirie et à la pose des équipements. En effet, une fois les rails en

PHASE 1

- Ligne de 9,5 km
- 19 stations
- 5 communes reliées
- Trafic attendu : 30000 à 40000 voyageurs par jour
- 51300 habitants desservis
- 21 rames Citadis 302 (capacité 295 dont 48 assis)
- Vitesse moyenne : 20 à 25 km/h
- 5 pôles d'échanges et 4 parcs-relais
- 25 minutes de trajet entre terminus
- Fréquence : toutes les 4 min (en pointe) et 8 min (heures creuses)
- Coût : 269 millions d'euros (hors matériel roulant) dont 60,5 M€ / 91 M€ d'autofinancement / 152,5 M€ d'emprunts
- Mise en service : juin 2006



Photo 3

Réalisation de la multitubulaire par AER

Construction of the multitube system by AER

place, les travaux de réfection de la voirie, réalisation des revêtements de la plate-forme, VRD, pavage, éclairage public, signalisation de tramway, plantation des arbres, prennent le pas.

Ensuite, les lignes aériennes d'alimentation électrique sont installées sur des mâts prévus à cet effet. Les stations sont ensuite installées, les équipements testés puis le mobilier urbain posé. Une fois cette dernière étape du chantier terminée, la marche à blanc a débuté pour vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble des installations et permettre aux riverains et aux usagers de la route de se familiariser avec le tramway.

Ce chantier, situé pour partie en pleine ville, nécessite de s'entourer de très nombreuses précautions pour limiter au maximum les nuisances occasionnées, notamment sur la circulation des différents usagers (piétons, cyclistes, automobilistes, transports en commun) et vis-à-vis de la gêne liée au bruit de chantier.

Les méthodes de travail et les matériaux utilisés doivent également prendre en compte la spécificité des grands

PHASES 2 ET 3 : QUELQUES CHIFFRES

Phase 2

- Linéaire de 8,5 km
- 7 stations
- 2 pôles d'échanges et 2 parcs-relais
- Coût : 69 millions d'euros (hors matériel roulant)
- Mise en service : septembre 2007

Phase 3

Le SITURV a lancé, début 2007, la concertation pour la future ligne 3 (vers le pays de Condé). Le coût estimé de cette ligne est d'environ 70 millions d'euros (hors matériel roulant). Le tracé partirait de la ligne 1 au niveau de la Croix d'Anzin pour un linéaire total de 12 km

LOT VRD N° 1 - LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Linéaire : 5,3 km
- Délai : 22 mois (fin du délai juin 2006)

Terrassements

- Déblais : 138000 m³
- Remblais : 40000 m³
- CdF : 28400 m³

Assainissement

- Tuyaux PVC Ø 160 : 1000 ml
- Tuyaux PVC Ø 315 : 2100 ml
- Tuyaux béton Ø 1500 : 960 ml
- Tuyaux béton Ø 1200 : 525 ml
- Tuyaux béton < Ø 1000 : 1500 ml
- Bordures et caniveaux : 40000 ml
- Bordures en pierre naturelle : 2000 ml
- Séparateur en pierre rouge : 9000 ml
- Pavages : 10000 m²
- Réseaux multitubulaires : 10000 ml

Chaussées

- EME : 20000 t
- Autres enrobés : 6092 t
- Enrobés trottoirs : 35000 m²

Espaces verts

- Arbres : 1100 unités plantées
- Espaces verts : 14000 m²

travaux urbains : utilisation modérée ou proscrite de matériel de compactage usuel (afin d'éviter les soucis liés aux vibrations des engins pour les immeubles anciens notamment), adapter ou utiliser des matériaux performants vis-à-vis de la remise en circulation, utilisation de dispositifs de sécurité particuliers (balisage, cheminements des piétons, etc.) (photos 1 et 2).

■ Rappel des principales étapes de réalisation de la plate-forme de tramway

La bonne exécution de la plate-forme de tramway est l'étape clé de la réussite de ce type de chantier. Les principales étapes comprennent :

- étape n° 1 : la plate-forme est excavée sur une largeur d'environ 6 m et une profondeur d'environ 90 cm, à l'emplacement de la future voie de tramway pour la réalisation des terrassements et de la couche de forme. Le réseau de multitubulaires est réalisé (il sera utilisé par les réseaux secs : énergie, caméras, fibre optique, billettique);
- étape n° 2 : un béton de ciment (BC3 dosé à 200 kg/m³) est coulé sur environ 20-30 cm d'épaisseur selon le niveau de portance de la plate-forme;
- étape n° 3 : les traverses en béton, servant à positionner et à fixer les rails, sont mises en place et réglées en plan et en altitude. Les rails sont ensuite posés, soudés et fixés aux traverses par l'intermédiaire d'attaches élastiques. Les éléments de drainage et appareillage de voie sont enfin intégrés dans la voie;
- étape n° 4 : une deuxième couche de béton de ciment (BC5 dosé à 350 kg/m³) est coulée pour maintenir définitivement les traverses. Cette couche s'arrête à 17 ou 18 cm du plan de roulement, maté-

Le tramway de Valenciennes

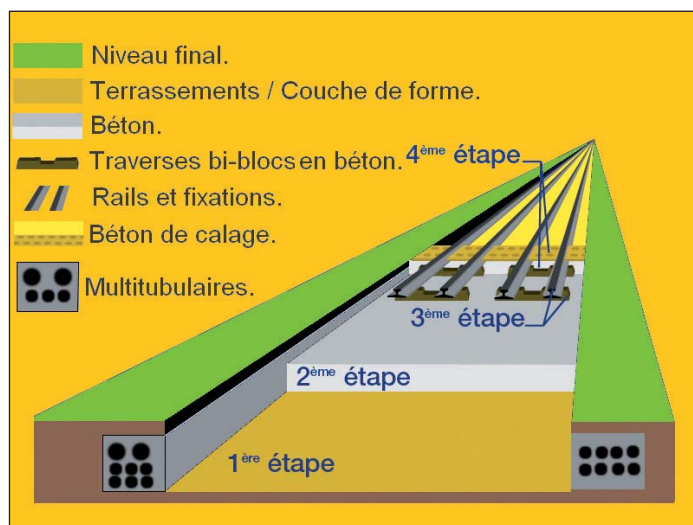


Figure 2

Les principales étapes de la réalisation
The main stages in construction



Photo 4

Fixation et habillage du rail
Rail fastening and lining

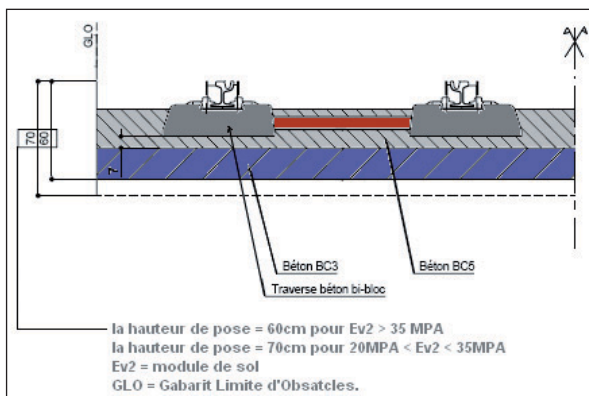
Photo 5

Pose de voie classique
Laying conventional track



Figure 3

Pose classique sur traverses bi-blocs
Conventional laying on dual-block ties



rialisé par le rail : cet espace de 17 à 18 cm va être occupé par les revêtements de la voie (béton, gazon, pavage, enrobés). Puis c'est autour de l'habillage final du rail (capots de protection des attaches et chambres d'éclissage) avant la réalisation des revêtements de la plate-forme et du joint rail-revêtement. L'espace réservé aux revêtements est compris entre la surface du BC5 et le plan de roulement, matérialisé par le rail : soit une épaisseur comprise entre 17 et 18 cm. Les revêtements de la voie peuvent être de différentes natures : béton, gazon, pavage, enrobés, etc. (cf. infra « Les revêtements de plate-forme ») (figure 2 et photos 3 et 4).

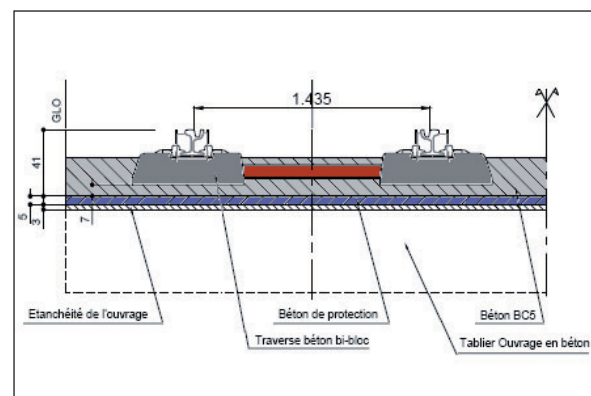
Pour les entreprises générales de travaux publics spécialistes des infrastructures de transport, comprendre aujourd'hui les techniques de pose de voies pour tramways et leurs spécificités est devenue plus qu'une curiosité intellectuelle, une nécessité : celle d'offrir des solutions techniques adaptées à nos clients, en adéquation avec le type de pose de voie en présence. Avec l'allotissement des marchés de travaux de tramways, la réalisation des terrassements, couche de forme et revêtements de la voie est généralement attribuée au mandataire du marché de VRD.

De plus, la géométrie, les matériaux en présence, le fonctionnement mécanique d'une plate-forme de tramway diffèrent significativement d'une structure de chaussée classique et nous imposent d'adapter notre perception et nos méthodes de travail. On distingue deux grandes familles de système de pose de voies :

- les systèmes à pose continue : le rail repose continuellement sur le matériau de fondation (généralement du béton de ciment). Un système de fixation rigide permet de maintenir le rail sur son support. Un matériau est interposé entre le rail et le béton afin de minimiser la propagation du bruit et des

Figure 4

Pose classique sur traverses bi-blocs sur OA
Conventional laying on dual-block ties on bridge



vibrations (asphalte, produit bitumineux, résine). On peut citer par exemple la pose dite « noyée » de type Edilon Cokerlast, utilisée notamment sur deux ouvrages d'art à Valenciennes (cf. paragraphe suivant : Les techniques de pose);

- les systèmes de pose discontinue : le rail repose sur des traverses en béton ou selles métalliques. L'espacement entre les traverses (ou selles) est de 0,75 m en ligne droite et plus étroit en courbe. Le rail est ensuite fixé aux traverses (qui assurent également l'écartement régulier des rails) par des attaches; les traverses sont ensuite noyées dans un béton de calage. Il s'agit du type de pose le plus courant en France. Parmi les systèmes de pose discontinue, les techniques les plus utilisées sont la pose sur traverses en béton bi-blocs, la pose sur selles métalliques ancrées sur dalle et leurs variantes en pose antivibratoires.

■ Les techniques de pose

Trois techniques ont été utilisées à Valenciennes :

- la pose sur traverses en béton bi-blocs : aussi appelée pose type Semaly (du nom du bureau d'études et d'ingénierie). Cette pose est issue de l'expérience acquise par ce bureau d'études au fil des différents projets (photos 3 et 5).

Cette pose peut également être réalisée avec des traverses monoblocs ou avec des traverses sur épingles, ces dernières, munies d'un léger ferrailage, permettent de réduire l'épaisseur de pose (pose sur ouvrages d'art par exemple) (figures 3 et 4);

- la pose de voie scellée à la résine (type Edilon Cokerlast®) : le rail est posé et mis en place dans une engravure béton puis noyé dans une résine pour être définitivement fixé. Elle est peu utilisée du fait de son coût élevé. Elle est adaptée pour la pose sur ouvrage d'art ou pour reprendre un défaut d'altimétrie du tracé : cette pose permet en effet, un réglage altimétrique du rail aisé à l'aide de cales à interposer sous le rail (figure 5);

- les poses antivibratoires : les techniques les plus utilisées sont la pose ASP (Antivibratile Sylomer Précontraint) pour les poses de type 1 et la dalle flottante sur tapis de sylomer pour les poses de type 2 (cf. paragraphe suivant « Traitement du bruit et des vibrations »).

Le choix du procédé ou de la technique utilisée varie en fonction de la configuration de la voie, de considérations techniques, des maîtrises d'œuvre (Ingérop, Semaly, Systra) et leur sensibilité pour une technique de pose particulière. Le choix des techniques de poses est également dicté par des paramètres de réduction de bruit et de vibrations.

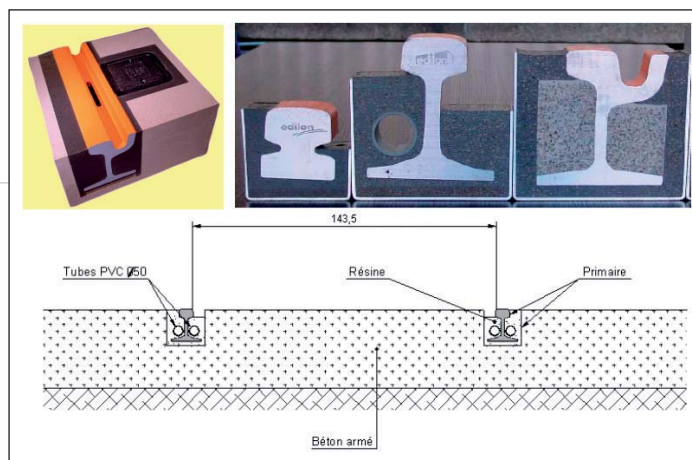


Figure 5

Pose de voie noyée (Edilon) avec plusieurs types de rails

Laying an embedded track (Edilon) with several types of rails

■ Le traitement du bruit et des vibrations à Valenciennes

Le bruit constitue une source de gêne fortement ressentie par la population dont les effets sur la santé publique ne sont plus à démontrer.

Le tramway dans la mémoire collective a gardé cette image de « faiseur de bruit », à juste titre si on parle des tramways de l'ancienne génération. Cependant, il n'est rien aujourd'hui grâce à divers facteurs comme l'évolution du matériel roulant, l'utilisation de matériaux résilients, la pose de voie adaptée, la limitation de la vitesse d'exploitation, et la réglementation en vigueur. Le bruit émis par le tramway est essentiellement lié au contact roue-rail (présence de rugosités sur les roues ou/et sur les rails). Cependant, il existe d'autres sources de bruit moins connues par le grand public :

- sources propres au matériel roulant : caisses, bogies, compresseur, climatisation, moteur, avertisseurs, réducteur...;
- sources liées à la configuration de la voie : géométrie du tracé (courbes de faibles rayons, montées, descentes), présence d'appareillage de voie, présence d'un croisement de voie... sources de crissements très gênants;

- sources extérieures à l'infrastructure : configuration de la voie, état des façades, sensibilité des gens, et la vitesse d'exploitation retenue : au-delà de 10 km/h le niveau de bruit émis évolue selon une loi logarithmique et lié principalement au contact roue-rail. C'est pour cette raison que les vitesses d'exploitation en milieu urbain sont généralement limitées à 30 km/h pour occasionner le moins de gêne possible.

Certains matériaux de revêtement de la voie vont, a contrario, participer à la réduction du bruit de part leur porosité élevée : ballast (jusqu'à - 3 dB) et gazon (jusqu'à - 5 dB).

Il faut signaler enfin qu'il existe des solutions pour réduire les bruits de crissement : la lubrification des rails, le traitement des rails, l'arrosage des rails, la pose en dévers... et l'entretien courant des rails et des roues de tramway. Certaines situations peuvent exiger une solution extrême, lorsque cela est possible : la pose d'un mur antibruit, ce cas ne s'est pas posé à Valenciennes.

La réglementation actuelle concernant le bruit des

Le tramway de Valenciennes

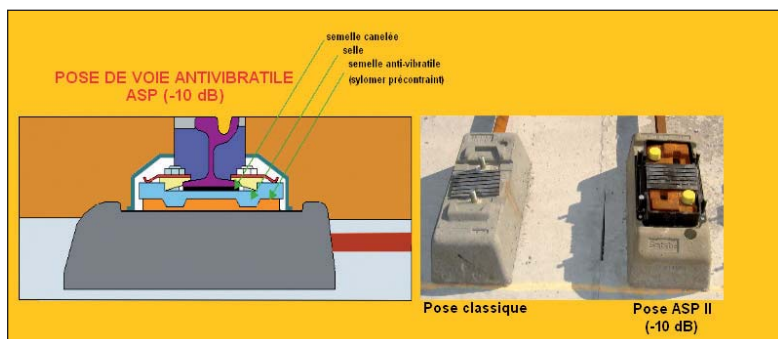


Figure 6
Détail de la pose ASP II
Detail of laying ASP II

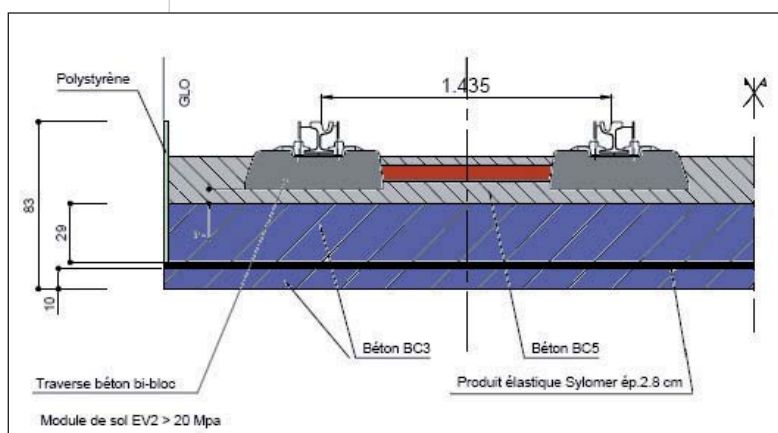


Figure 7
Pose en dalle flottante
Laying on floating slab

infrastructures de transport s'appuie sur la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit, sur le décret d'application n° 95-22 du 9 janvier 1995 et sur l'arrêté du 5 mai 1995 relatif à la protection contre le bruit aux abords des infrastructures routières. La circulation de tramways sur la voie entraîne, outre l'émission de bruits acoustiques (bruit aérien), la génération de vibrations (bruit solidien) produites par l'excitation dynamique de la roue sur le rail : ceci induit des mouvements de la structure de la voie à des fréquences très variables. La transmission des sollicitations se propage dans le sous-sol, par l'intermédiaire des traverses, des revêtements, aux fondations des immeubles - ouvrages environnants et peuvent provoquer des nuisances aux riverains.

La technique de pose adoptée est liée à la proximité des bâtis, à l'axe de la voie la plus proche (D). Avec l'expérience, il est d'usage d'adopter la règle suivante :

- D supérieure à 12 m : pose « classique » (dite type 0). (cf. supra « Les techniques de pose »);
- D comprise entre 7 et 12 m : pose « intermédiaire » (dite type 1 : gain mini exigé de - 10 dB vibratoire). À Valenciennes, c'est la pose dite ASP (Antivibratile Sylomer Précontraint) (figure 6) dont le brevet est détenu par la société Sateba qui a été utilisée : la traverse classique est doublée d'un deuxième étage anti-

Photo 6

Plaquage du gazon dans le secteur de l'université
Turfing in the university sector



vibratoire composé par un matériau résilient précontraint (le sylomer);

- D comprise entre 4 et 7 m : pose en « dalle flottante » (dite de type 2 : gain mini exigé de - 20 dB vibratoires). La figure 7 présente le détail de cette pose. Si pour la pose à - 10 dB les solutions de proximité dont le principe est d'agir avec des matériaux résilient entre le rail et les traverses ou directement sous la traverse sont adaptées, pour obtenir un affaiblissement vibratoire de l'ordre de - 20 dB, la technique de la dalle flottante est ici obligatoire : elle consiste à « séparer mécaniquement » la voie de son milieu environnant à l'aide de matériaux résilients.

Notons enfin, que les poses de voies antivibratiles augmentent l'amortissement mais elles augmentent également la longueur du rail en vibration. Une pose classique ne présente pas cet inconvénient mais provoque une augmentation de l'amplitude locale de la vibration : ce qui est gagné d'un côté est perdu de l'autre : le concepteur et l'exploitant doivent trouver la position de moindre gêne entre ces deux critères.

■ Les revêtements de plate-forme

La réalisation du revêtement de la plate-forme est une des phases les plus délicates, le plus souvent confiée aux entreprises de VRD. Elle consiste à combler les derniers 18 cm d'épaisseur entre le béton de calage et le haut du rail pour que la plate-forme s'intègre totalement dans l'espace urbain. Le revêtement est sélectionné à partir de plusieurs critères : la fonction de la plate-forme (site propre, banalisé, traversée de tramway...), aspects techniques (pour les poses antivibratoires, certains matériaux modulaires sont à proscrire par exemple), architectural et intégration urbaine, facilité d'intervention ultérieure, etc.

Les techniques actuelles offrent un panel complet de matériaux de revêtement : matériaux modulaires, béton, enrobés, asphalte, bois, gazon...

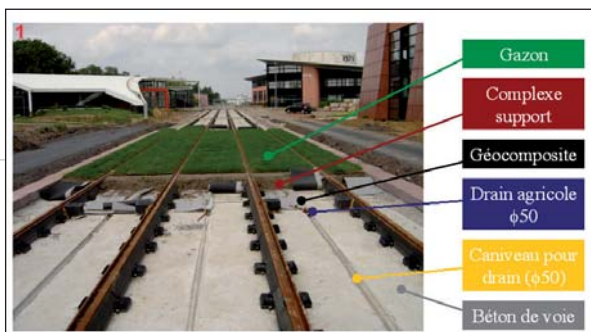


Photo 7
 Vue de la structure complète
 View of the complete structure

Pour le tramway de Valenciennes, trois types de revêtements ont été utilisés : le gazon, les pavés en béton et l'enrobé associé au béton. Pour le marché VRD n° 1, réalisé par Appia Hainaut - Colas Grands Travaux, la répartition des revêtements est la suivante : 72 % du linéaire a été réalisé en gazon, 23,5 % en pavés béton et 4,5 % en enrobés (tous les croisements entre la plate-forme du tramway et les voies urbaines).

Le gazon

C'est le matériau en vogue aujourd'hui. Toutes les agglomérations qui se lancent dans un projet de tramway veulent avoir du gazon sur leur tramway. Ceci s'explique par plusieurs avantages : il est assimilable à un ruban de verdure et permet d'y associer des aménagements extérieurs à la plate-forme (espaces verts) favorisant les piétons et les vélos. De plus le coût à la réalisation est nettement inférieur à celui des autres revêtements classiques (pavés en pierre naturelle ou en béton, enrobés et béton par exemple).

La structure usuelle du revêtement est assez simple : mise en place d'un drain dans l'emplacement réservé à cet effet, ensuite c'est au tour du géocomposite servant à drainer le complexe et empêcher les fines de passer, vient ensuite la mise en place du complexe terre-pierres destiné à supporter le futur gazon ainsi que le circuit d'arrosage, et enfin mise en place du gazon souvent par plaquage (photo 6). Une dernière étape consiste à brancher le circuit d'arrosage au réseau de distribution d'eau.

Les photos 7, 8, 9 et 10 illustrent les propos précédents et montrent les principales étapes de la mise en place du gazon.

À Valenciennes, le choix d'un mélange terre-pierres a été retenu pour répondre à une demande spécifique de la maîtrise d'œuvre : la plate-forme engazonnée doit pouvoir supporter une circulation occasionnelle de véhicules d'urgences (pompiers, ambulances...). Notre sous-traitant a alors effectué plusieurs essais de mélanges avant d'aboutir à un complexe acceptable. La



Photo 8
 Alimentation en eau
 Water supply



Photo 9 et 10
 Circuit d'arrosage et vue d'une tête d'arrosage
 Sprinkling circuit and view of a sprinkler head



Photo 11
 Sédum sur ouvrage d'art
 Sedum on bridge



Photo 12
 Gazon en section courante
 Grass on continuous section

définition du complexe support de gazon, le choix du gazon et des éléments d'arrosage ainsi que leur mise en place doivent être confiés à des entreprises spécialisées en espaces verts afin d'éviter les mauvaises surprises. La mise en place de pluviomètres le long du tracé peut aider l'exploitant dans la gestion de l'arrosage et permettre des économies d'eau non négligeables.

Pour les ouvrages d'art, le sédum se substitue au gazon car il nécessite moins d'entretien et pratiquement pas d'arrosage (photo 11). Plusieurs maîtres d'ouvrage ou bureaux d'études spécialisés s'intéressent actuellement de près à ce type de végétaux moins consommateurs d'eau et nécessitant peu d'entretien pour remplacer à terme le gazon (photo 12).

Les années à venir permettront de suivre le comporte-



Le tramway de Valenciennes

Photo 13

Aperçu d'un secteur fini
Glimpse of a finished sector



Figure 8

Détail de la pose classique avec revêtement en béton
Detail of conventional laying with concrete coating

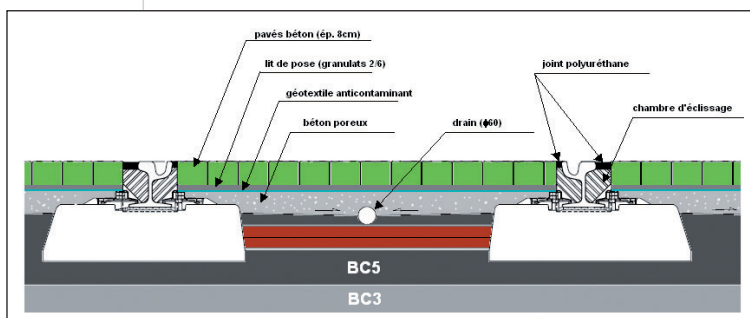


Photo 14

Vue du joint prêt à être comblé
View of joint ready to be filled



Photo 15

Mise en place manuelle de l'enrobé
Manual laying of the bituminous mix



ment de tous les végétaux utilisés dans le cadre des plates-formes de tramway et d'avoir des données plus complètes sur leur évolution dans le temps et dans leur environnement.

Les pavés en béton

L'utilisation des pavés s'est généralisée chez les architectes car il permet de réaliser des aménagements urbains subtils, des placettes par exemple (photo 13), et de varier les nuances de couleurs sans changer de revêtement. Cependant son utilisation en section circulée est à éviter : les premières utilisations n'ont pas donné entière satisfaction car leur conception et leur réalisation n'ont pas pris en compte la spécificité des plates-formes de tramway. Néanmoins, si le concepteur souhaite à tout prix utiliser ce type de matériaux, certaines précautions et dispositions constructives sont à intégrer lors de la conception et de la réalisation. Le choix de la nature du matériau, de l'épaisseur du pavé ou de la dalle, de la nature du matériau de lit de pose, de l'épaisseur du lit de pose, des mesures d'évacuation des eaux infiltrées, de la nature du matériau de jointement, de la nature du matériau de la chambre d'éclissage sont autant de paramètres à prendre en compte.

De plus, la spécificité française de pose de voie (traverses bi-blocs noyées dans le béton) ne facilite pas la mise en œuvre de revêtements modulaires sans dispositions constructives spécifiques; on peut citer quelques exemples pour illustrer ces propos :

- la présence des capots et des blochets le long du rail ne permettant pas d'avoir une épaisseur de lit de pose constante;
- la qualité du matériau de la chambre d'éclissage (si celui-ci est trop « mou », le pavé risque de ne pas être correctement épaulé);
- la nature et la dimension du drain généralement utilisé se révèlent insuffisantes...

La présence d'éléments singuliers comme les appareils de voies, les éléments de drainage, constituent autant d'obstacles à prendre en compte lors de la conception et de la réalisation.

À Valenciennes, aucune zone circulée par les véhicules routiers n'a été réalisée en pavés. Les pavés en béton ont été utilisés uniquement pour la réalisation des stations de tramway et certaines zones d'aménagement particulier comme les placettes.

De plus, une réflexion a été menée de front entre l'entreprise, le maître d'œuvre, le vendeur de pavés d'origine allemande et des remontées d'expériences de chantiers français, nous a conduits à une solution (figure 8), qui tient compte des points évoqués auparavant et notamment par la régularité du lit de pose et le principe d'éviter la stagnation des eaux.

Enfin, la nature du matériau de la chambre d'éclissage,

à base de recyclés de pneumatique d'une densité voisine de 1000 kg/m³, constitue un épaulement suffisamment efficace.

L'enrobé - Le béton

Il s'agit généralement d'enrobés classiques de type BBSG ou BBM utilisés en combinaison avec une sous-couche en béton (l'emploi d'enrobés aux liants modifiés ou d'autres techniques spécifiques peuvent être envisagés). Une épaisseur de 5 cm semble être un compromis acceptable pour éviter les phénomènes d'arrachement ou de fissuration surtout en configuration « giratoire ».

Le béton de par ses qualités anti-ornières, de facilité de mise en œuvre et les possibilités de traitement de surface qu'il offre peut s'adapter à toutes les configurations (sections courantes ou traversées de voiries). Lorsqu'il est utilisé comme matériau de revêtement en carrefour, il est souhaitable d'utiliser des granulats concassés et un traitement simple (désactivation, stries) pour obtenir l'adhérence recherchée. L'utilisation d'un béton routier (résistant aux sels de déverglaçage) peut s'avérer nécessaire dans certaines régions.

Une attention particulière doit être apportée à la mise en œuvre du matériau et notamment au niveau des interfaces : interface avec le rail, interface avec les autres revêtements, interface avec les voiries transversales, (cf. infra « Le traitement des carrefours »).

■ Le traitement des carrefours

Dans les carrefours, la structure doit pouvoir reprendre les efforts latéraux et verticaux générés par le tramway et les efforts appliqués par les véhicules routiers coupant la voie. Le choix du revêtement en carrefour doit être issu essentiellement d'une réflexion technique. Cette réflexion doit néanmoins prendre en compte des critères esthétiques, de politique d'entretien et d'intervention ultérieure en cours d'exploitation.

Une attention particulière doit être observée pour le traitement des arêtes le long du rail : les efforts provoqués par le passage des véhicules sur ces arêtes, talon d'Achille des revêtements compacts (béton, enrobés) finissent par amorcer et provoquer des dégradations plus ou moins importantes (cf. encadré « L'interface rail-revêtement »). À cet effet, il sera nécessaire d'incorporer un plat ou une cornière métallique pour renforcer l'arête, ou d'adapter géométriquement le profil de l'arête (photo 14).

À Valenciennes, un compromis entre durabilité de la structure et facilité d'interventions ultérieures a abouti à la structure suivante pour tous les carrefours : une

L'interface rail-revêtement

La spécificité des plates-formes de tramways est qu'elles sont à considérer comme deux systèmes mécaniques distincts :

- le rail : système mécanique « souple », subissant des mouvements horizontaux et verticaux importants au passage des rames de tramways. En présence d'eau et avec un drainage insuffisant, ce mouvement peut être à l'origine du phénomène de « pompage » et vecteur de dégradations;
- la plate-forme : système mécanique plus ou moins rigide, assimilable à une structure de chaussée classique dont les limites tolérées en déflexion (1 à 2 mm maxi) sont en totale opposition avec celles du rail. D'où la nécessité de séparer mécaniquement les rails de la plate-forme : ce rôle revient à la chambre d'éclissage constituée par un matériau souple capable d'absorber les mouvements du rail et la réalisation d'un joint longitudinal entre le rail et le revêtement (figure 9).

Le rôle de l'ensemble « joint-chambre d'éclissage » est multiple : en plus d'absorber les mouvements du rail, il a pour missions d'éviter l'infiltration verticale d'eau entre le rail et les revêtements, de participer à l'atténuation des vibrations et enfin d'isoler électriquement le rail du revêtement et éviter les problèmes liés aux courants vagabonds (le tramway, pour simplifier, est assimilable à un circuit électrique et le rail sert de conducteur pour le retour du courant vers le générateur de courant, la sous-station).

La nature des matériaux composant le joint ou la chambre d'éclissage est choisie en fonction de plusieurs critères dont les principaux sont : plate-forme en alignement droit ou en courbe, zone circulée ou non par les véhicules routiers et selon le type de revêtement retenu. En carrefour et en courbe, le matériau de la chambre d'éclissage doit être suffisamment incompressible pour éviter une trop grande sollicitation des revêtements en participant à « l'épaulement » des matériaux de revêtement (par exemple, les matériaux en mousse de polyéthylène ne conviennent pas pour ces cas). Les autres interfaces, revêtement/plate-forme, revêtement/revêtement ou encore revêtement/chaussée transversale doivent également être prises en compte et des mesures spécifiques doivent être adoptées. Les poses antivibratoires doivent faire l'objet d'une attention toute particulière par l'utilisation de matériaux ou d'équipements spécifiques.

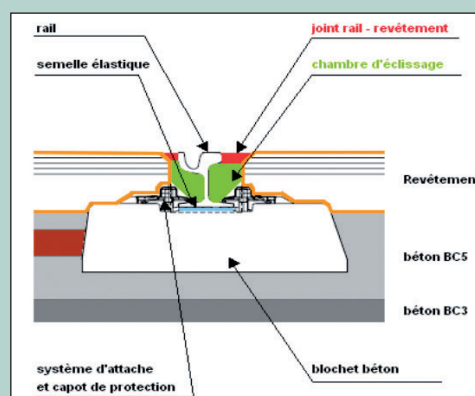


Figure 9

Détail de l'environnement direct du rail
Detail of the direct environment of the rail

couche de béton de 13 cm sur laquelle est mise en œuvre une couche d'enrobés classique (BBSG 0/10) d'environ 5 cm. Suite à un premier essai et aux remontées d'informations émanant d'autres chantiers en cours ou réalisés, nous sommes arrivés aux résultats suivants :

- la mise en place de plat ne facilite pas le compactage de l'enrobé le long du rail (zone sensible) (photo 15);
- un sciage à 45° environ de l'enrobé le long du rail va dans le sens d'augmenter sa résistance aux dégradations (on enlève préventivement la partie qui a la plus grande probabilité de se dégrader);
- arrêter le niveau final du joint, en polyuréthane, quelques millimètres avant le plan de roulement afin d'éviter le contact entre la roue du tramway et le

Le tramway de Valenciennes

Photo 16

Mise en œuvre du joint
Installation of the joint



Photo 18

Drainage par boîtes à eaux
Drainage by water boxes

joint en tenant compte de l'usure naturelle du rail (photo 16);

- l'utilisation d'un primaire d'accrochage spécifique aux enrobés;
- enlever le séparateur et le remplacer par une résine synthétique colorée, pour une meilleure réalisation des revêtements contre la voirie transversale.

La solution « tout béton » a été écartée compte tenu des délais de remise en circulation lors d'éventuelles interventions ultérieures d'entretien ou de réparation : le béton nécessite une durée d'immobilisation de la plate-forme plus longue que l'enrobé. Celle du « tout enrobé » a, elle aussi, été abandonnée pour des raisons de difficultés de mise en œuvre : l'inclusion de rails, de blochets saillants, appareils de voie, ne facilitent pas le compactage des couches de fond faute de matériel lourd permettant une exécution correcte en faible largeur. Quand on connaît l'influence de la compacité sur la durabilité des structures de chaussées, le compromis entre béton et enrobé s'est naturellement imposé.

Pour conclure, on peut dire que contrairement aux sites propres, peu sollicités par des véhicules autres que



Photo 17

Drainage par caniveaux
Drainage by gutters

le tramway, les carrefours sont continuellement soumis à des efforts de toutes origines (tramway, voiture, camion et bus). Il faut donc traiter ces points singuliers de manière spécifique et veiller à une qualité d'exécution irréprochable : c'est ici qu'il faut faire cohabiter la technique routière et celle de la voie ferrée. L'entretien ultérieur de ces zones doit également être très strict : toute amorce de dégradation doit faire l'objet d'une reprise rapide sous peine de voir s'étendre et s'aggraver le problème jusqu'à la ruine complète de la structure.

■ Le drainage de la plate-forme

L'évacuation des eaux de surface de la plate-forme se fait par le biais de la plate-forme ou par l'assainissement des voiries jouxtant la plate-forme, en carrefour par exemple.

Le système de drainage utilisé à Valenciennes est composé de boîtes de drainage (photo 17) et de caniveaux de drainage (photo 18).

L'eau infiltrée ou l'eau stagnante est le vecteur principal des pathologies observées ces dernières années, c'est pourquoi elle doit être intégrée dès la conception de l'ouvrage et pour tous les types de revêtements. D'une manière générale, il faut éviter au maximum son infiltration par des dispositifs d'imperméabilisation en surface (surtout le long du rail) et prévoir un système de drainage efficace à l'interface avec le béton de calage pour évacuer les eaux infiltrées.

■ La ligne 2 : les travaux avancent à grands pas...

La réalisation de la ligne 2 reliant la station de Dutemple (Valenciennes) à l'Espace Villars (Denain) a été attribuée (hors pose de voie et énergie) à un groupement constitué d'Appia Hainaut (Eiffage), Sogea Nord (Vinci) et Colas Grands Travaux (Bouygues). Il s'agit de réaliser la liaison entre Valenciennes et

Denain. La réalisation de la voie et de l'énergie de traction est confiée à un groupement constitué de Vossloh VIS et de STPV Voie ferrée. La mise en service est prévue pour septembre 2007.

Actuellement, les travaux de terrassements, d'assainissement, de couche de forme sont terminés faisant place à la pose de voie et aux travaux de revêtements, d'éclairage public, d'espaces verts, de signalisation de tramway.

La spécificité de la ligne 2 tient à son tracé, à 80 % extra-urbain, qui empreinte sur la quasi-totalité du linéaire l'ancienne voie des houillères. La technique de pose adoptée en extra-urbain est une pose sur ballast à l'identique des voies classiques SNCF (pose très économique). Le principe de pose de voie en milieu urbain est identique à celui adopté à Valenciennes.

Une fois la liaison réalisée, une autre phase de travaux débutera : l'aménagement urbain de la ville de Denain pour rénover le centre-ville. Là aussi, Appia Hainaut prendra part à la réalisation de ces travaux avec ses partenaires (photos 19 et 20).

■ Conclusion

La réalisation des plates-formes de tramways fait appel généralement à des techniques classiques largement éprouvées. Le choix de la technique de pose découle d'une analyse fine prenant en compte un ensemble de critères techniques, économiques, ainsi que la proximité de la voie aux habitations. Le choix du revêtement de la plate-forme est quant à lui plus délicat car il dépend de considérations techniques, économiques, urbanistiques, architecturales, etc.

La réalisation des revêtements de la plate-forme de tramway, où cohabitent la technique ferroviaire et la technique routière, constitue la pierre angulaire de la réussite du projet surtout pour les carrefours et les zones ouvertes à la circulation subissant les effets conjugués de la circulation des tramways et des véhicules routiers. Les interfaces entre les revêtements consécutifs de la plate-forme d'une part, et entre les revêtements de la plate-forme et l'environnement extérieur d'autre part, doivent faire l'objet d'une attention particulière lors de la construction car ils constituent le lieu privilégié des départs de dégradations et notamment l'interface rail-revêtement.

Suite aux nombreuses pathologies observées ces dernières années sur les différents sites de tramways en France et les coûts des sinistres en découlant ont poussé certaines administrations, des entreprises spécialisées et quelques bureaux d'études à engager des recherches pour faire évoluer les techniques et les pratiques actuelles. Les axes de recherche concernent aussi bien les matériaux (résines, techniques préfabriquées...)



Photo 19

Terminus du tramway à Denain

Tramway terminus in Denain



Photo 20

Réalisation des travaux de terrassements

Performance of earth moving work

que le matériel de mise en œuvre permettant d'améliorer la productivité des techniques de pose (pose mécanisée, utilisation de machines à coffrage glissant...). Pour ce deuxième point, Eiffage Travaux Publics au travers de sa filiale AER peut jouer un rôle de premier ordre comme il l'a démontré à Valenciennes en proposant des solutions innovantes et audacieuses permettant au groupement de tenir les délais impartis.

Pour Eiffage Travaux Publics, qui a participé ces dernières années à plusieurs projets de tramway, la capitalisation et le retour d'expériences constituent un axe d'amélioration afin de proposer à nos clients des solutions techniques et économiques adéquates et innovantes répondant ainsi au mieux à leurs attentes.

Le tramway de Valenciennes



Photo 21

Essai du tramway secteur St-Waast
Tramway test in St-Waast sector

► Mais il s'agit aussi de capitaliser en matière d'organisation et de conduite de projet : les structures traditionnelles (agences locales) ne sont pas dimensionnées pour répondre seules à ce type de projet. L'importance des travaux et les délais courts imposent la mise en place d'une cellule spécifique pendant la durée de chantier alliant l'organisation d'une structure de type « Grands travaux » et l'expérience locale d'une agence, tout en continuant à répondre aux clients de proximité. ■

ABSTRACT Valenciennes tramway

A. Triche, S. Potin, G. Gillioq

Recent years have been seen a strong comeback by the tramway in leading French cities : Nantes, Grenoble, Lyons... and Valenciennes.

Through its highway engineering, civil engineering and electrical engineering subsidiaries, Eiffage has taken part in all these projects either directly or indirectly.

Valenciennes is a special project for Eiffage because the contractor took part in all phases of infrastructure construction (main services, civil engineering structures, roads, etc.).

This article discusses the special work involved in the Valenciennes tramway project, namely construction of the tramway lanes.

The interest is twofold : the subject is examined from both a "road" viewpoint and a "railway line" viewpoint and the special technical features of these lanes are emphasised.

Finally, the article sheds light on the experience and expertise acquired by Eiffage Travaux Publics in recent years in the area of public transport subgrades.

RESUMEN ESPAÑOL El tranvía de Valenciennes

A. Triche, S. Potin y G. Gillioq

Estos últimos años fueron marcados por la importante reaparición del tranvía en las principales aglomeraciones urbanas de Francia : Nantes, Grenoble, Lyon, etc. y Valenciennes.

Eiffage por mediación de sus filiales viales, de ingeniería civil o de electricidad participó de forma directa o indirecta en todos estos proyectos.

Valenciennes representa un proyecto particular para Eiffage debido a que actuó en todas las etapas de construcción de la infraestructura (VRD, obras de fábrica, vías, etc.).

El proyecto del tranvía de Valenciennes, a través de este artículo ofrece la ocasión de abordar los trabajos particulares como son la ejecución de las plataformas de tranvía.

El interés es doble : abordar el tema tanto desde el punto de vista « vial » como desde el punto de vista « vía férrea » y haciendo hincapié a las particularidades técnicas de semejantes plataformas.

Finalmente, el presente artículo permite esclarecer la experiencia y el saber-hacer adquirido por Eiffage Travaux Publics durante estos últimos años en el campo de las plataformas para los transportes públicos.

Couvertures du RER A en exploitation : un projet sensible au cœur des villes

Philippe Moyal
Chef de projet
RATP

Jérémy Poteau
Maître d'œuvre
RATP

En 2006, la RATP a achevé la réalisation de quatre couvertures au-dessus des zones d'aiguillage les plus bruyantes de la tranchée ouverte du RER A, entre les communes de Saint-Mandé, Vincennes et Fontenay-sous-Bois. Le chantier consistait à réaliser des ouvrages de couverture, de plus de 100 m de longueur chacun. L'enjeu principal était de réaliser ces travaux sans incidence et en toute sécurité pour l'exploitation des 670 trains qui passent quotidiennement.

Pour couvrir les talus latéraux et la plateforme de voies ferroviaires, les quatre ont été adaptés aux contraintes imposées par le système de transport du RER tout en tenant compte d'un milieu urbain très dense et d'emprises de chantier restreintes pour minimiser la gêne occasionnée aux riverains.

La première tranche des travaux a duré environ 22 mois et a consisté à couvrir totalement les talus et les voies de quatre zones d'aiguillages de plus de 100 m sur la partie à ciel ouvert du tronçon central de la ligne A du RER. Le niveau sonore moyen en façade des immeubles est la plupart du temps compris entre 70 et 75 dB en journée. L'objectif des trois phases du projet est de le ramener à 65 dB, ce qui correspond aux normes en vigueur pour des infrastructures nouvelles. Les travaux de la première phase de l'opération de la protection phonique des voies de la ligne A du RER prévue au contrat de plan 2000-2006 sont terminés en surface. Les quatre zones de couverture ont été réalisées au-dessus des zones d'appareil de voies les plus bruyantes. Les communes interviennent actuellement pour embellir et rendre accessible ces nouvelles surfaces qui supportent jusqu'à 2 t/m² de charges d'exploitation.

■ Les enjeux

L'enjeu principal pour cette opération était de faire ces travaux sans incidence et en toute sécurité pour l'exploitation des 670 trains qui passent quotidiennement. Un plan de management des risques a été mis en place dans le cadre des dossiers de sécurité, avec une analyse des risques et un plan de suivi des risques pendant la phase de réalisation.

Afin de limiter les nuisances sur l'environnement du chantier, les méthodes d'exécution et le phasage du chantier ont été adaptés pour permettre la réalisation du chantier en journée et pour réduire les perturba-

tions, autant pour les riverains que pour l'exploitation. Seuls les travaux présentant un risque vis-à-vis de l'exploitation de la ligne A du RER ont été exécutés de nuit, hors service voyageurs, de 1h30 à 4h30 du matin, ou, de jour, à l'abri de protections de chantier. Dans le cas des travaux de nuit, le recours massif aux éléments préfabriqués a permis de réduire significativement la durée des nuisances. Les opérations de démolition ont été réalisées de jour. L'utilisation de matériels homologués récents a été demandée aux entreprises. Les techniques utilisées ont pour objectif de limiter les nuisances : équipement électrique plutôt que pneumatique et limitation de l'utilisation des compresseurs.

Parallèlement, l'équipe projet a mis en place des outils de communication afin d'informer régulièrement les riverains de l'avancement des travaux et des nuisances sur leur environnement (photo 1).



■ Les principes techniques

Pour couvrir les talus latéraux et la plateforme de voies ferroviaires, les quatre ouvrages ont été adaptés aux contraintes imposées par le système de transport du RER tout en tenant compte d'un milieu urbain très dense et d'emprises de chantier restreintes pour minimiser la gêne occasionnée aux riverains.

Les choix techniques des différentes parties d'ouvrage et de leur implantation reposent sur :

- la réduction du risque de chute d'objet sur les voies;
- la réduction du risque d'engagement du gabarit;
- l'interdiction d'implanter des ouvrages à moins 1,5 m des voies et à moins de 3 m des éléments caténaux sous tension;
- l'obligation de conserver les cheminements d'évacuation d'urgence le long des voies;
- la nécessité de délimiter les zones de chantier vis-à-vis des personnels d'exploitation du RER et de maintenance.

Photo 1

Protections chantier
de la couverture D
*Worksite protection
for covering D*

Couvertures du RER A en exploitation : un projet sensible au cœur des villes

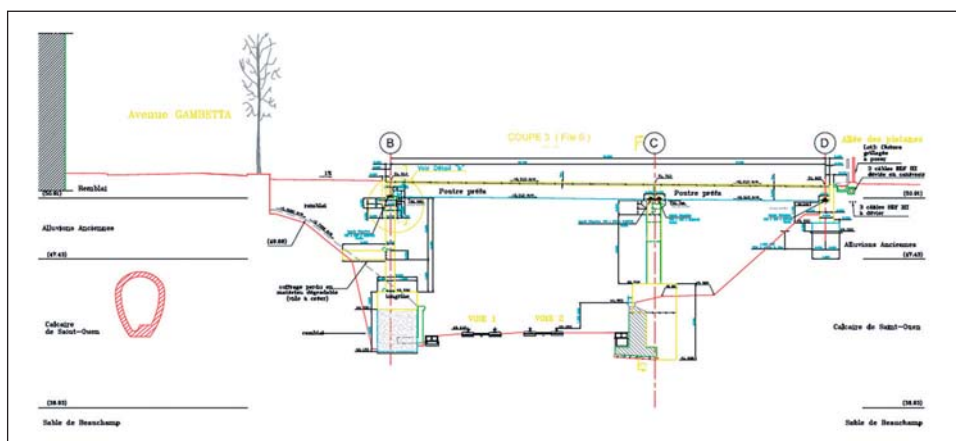


Figure 1

Coupe type de la couverture A

Typical cross section of covering A

Photo 2

Poteaux et chevêtres préfabriqués de la couverture A
Prefabricated columns and joists of covering A

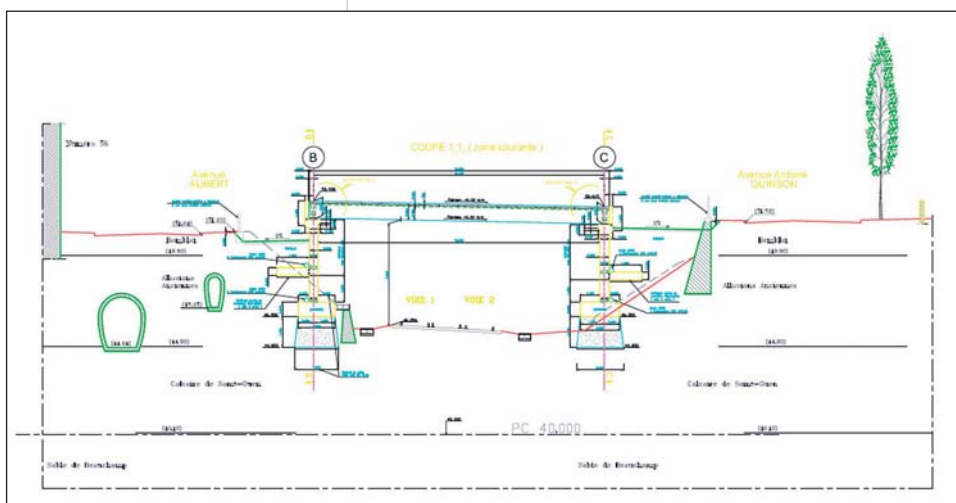


Figure 2

Coupe type de la couverture B

Typical cross section of covering B

Dès les études de conception, les orientations techniques ont donc été :

- la réalisation d'écrans verticaux de 2,5 m de hauteur en bois et grillage le long des voies;
- l'isolement électrique de certains feeders et d'ancrages caténaires trop proches des positions de travail et des engins de chantier;
- la réalisation de terrassements faiblement mécanisés pour les fondations en pied de talus;
- le recours pour les parties d'ouvrage en élévation et les poutres de couverture à des éléments préfabriqués en béton mis en place en dehors des horaires d'exploitation de la ligne.

Une coordination spécifique a permis de planifier à l'année, au trimestre puis au mois, avec l'exploitation

de la ligne et ses chantiers de maintenance, les nuits de consignation des voies et des caténaires nécessaires.

Le principe des couvertures repose sur :

- une file d'appui en tête de chaque talus avec fondations superficielles ou profondes suivant la nature des sols reconnus;
- une file d'appui en pied de chaque talus avec massifs isolés ou longrine de répartition des charges sur les murs-poids existants, supportant des portiques longitudinaux, ou des voiles;
- une travée centrale isostatique, au-dessus des voies;
- des travées latérales hyperstatiques, encadrées aux appuis ou des remblais derrière les voiles.

Le niveau des travées latérales diffère de celui de la travée centrale imposée par le gabarit ferroviaire. Leur niveau est ajusté pour permettre les aménagements paysagers ultérieurs de plain-pied avec les voiries adjacentes.

■ Couverture de Saint-Mandé (A)

Longue de 110 m et large de 24 m, elle est formée d'une travée centrale et d'une travée latérale isostatiques. Une travée latérale a été remplacée par un remblai jusqu'au niveau de la voirie en remplaçant un portique longitudinal par un voile de soutènement proposé en variante d'appel d'offres par Eiffage TP (figure 1).

Le long des voies, les fondations sont des massifs en béton armé permettant d'atteindre l'horizon des calcaires de Saint-Ouen. Ils sont réalisés dans des puits isolés terrassés manuellement dans les alluvions anciennes. Leur blindage est assuré par des cadres métalliques de type HEA avec blindage traditionnel en bois par passes de 1,60 m. La profondeur maximale est de 5 m. Ces massifs sont ferrailés par des cages d'armatures préfabriquées.

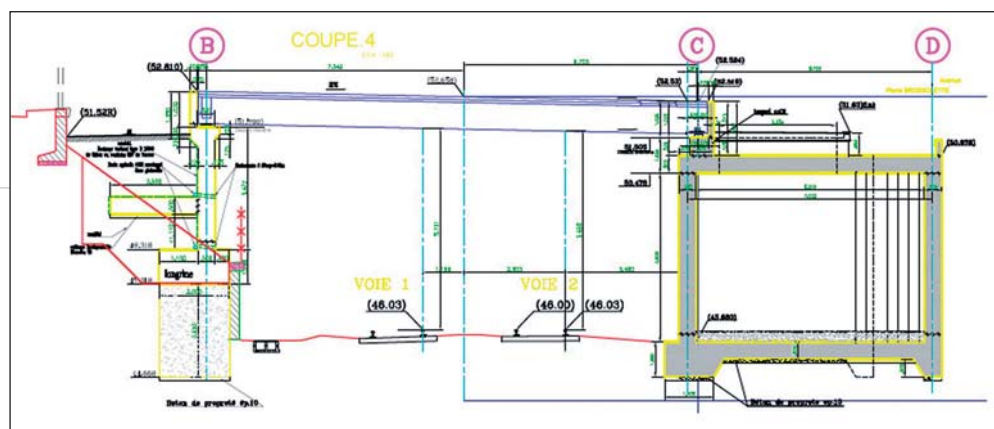
La première ligne d'appui latérale est un voile de soutènement (voile - chaise) réalisé sur une longrine filante fondée sur les massifs de fondations précités. Ce voile comporte au tiers de sa hauteur une semelle arrière bétonnée sur un coffrage biodégradable permettant la création d'un vide. Celui-ci autorise les déformations nécessaires au fonctionnement du voile après remblai.

La deuxième ligne d'appui centrale est formée de portiques longitudinaux de 16 à 20 m de longueur constitués de poteaux préfabriqués (200 kg HA/m³) encadrés en pied dans les massifs de fondation (100 kg HA/m³) et liaisons en tête par des chevêtres (380 kg HA/m³). Les éléments préfabriqués ont été mis en place, pendant les interruptions de circulation ferroviaire, en nuits courtes, à l'aide de grues mobiles routières de 200 et 300 t pour des charges de 8 à 39 t.

La troisième ligne d'appui latérale est une semelle

Figure 3

Coupe type de la couverture C
Typical cross section of covering C



superficielle réalisée en tête de talus (photo 2). Chaque file est munie de bossages recevant un appui en Néoprène. Les deux travées sont constituées de poutres dalles de type TT, de 8 à 25 t, en béton précontraint par fils adhérents, et positionnées par les mêmes moyens de levage que les poteaux et chevêtres. Au raccordement avec l'ouvrage de franchissement biais existant de la RN34, une poutre spécifique de 55 t a été préfabriquée sur site, levée par deux grues routières de 200 t et positionnée pour être ancrée directement à deux poteaux.

Les poutres TT sont liaisonnées en surface par une dalle de compression coulée pendant l'exploitation ferroviaire. Les joints de dilatation sont positionnés tous les 20 m. Le complexe d'étanchéité retenu est une étanchéité semi-adhérente de type Terrasphalte et les joints d'étanchéité sont traités par le procédé Néodyl. L'ensemble a été recouvert d'une chape de protection en enrobé pour faciliter les chantiers d'aménagement ultérieurs.

■ Couverture de Vincennes ouest (B)

Longue de 110 m et large de 15 m, elle est constituée d'une travée centrale isostatique tandis que les deux travées latérales ont été traitées avec voile chaise et remblayées.

L'un des talus comportait un mur de soutènement existant non reconnu qui a fait l'objet de mesures de confortement et d'une auscultation en continu pour vérifier son non-basculement. Cette instrumentation réalisée au moyen de clinomètres et d'une centrale d'acquisition a permis un suivi en temps réel dans toutes les phases du chantier.

L'autre talus a été terrassé avec une paroi semi-berlinoise tirantée pour permettre l'implantation et la réalisation des massifs isolés et de la longrine d'appui du voile chaise (figure 2).

■ Couverture de Vincennes est (C)

Longue de 120 m et large de 15 à 17 m, elle diffère de la couverture de Vincennes ouest par l'intégration en travée latérale d'un ouvrage de désenfumage de 45 m de longueur (cadre de 4,5 m x 5 m). En effet, l'implantation de cette couverture dans la continuité d'un tunnel existant a rendu obligatoire la mise à niveau des équipements de sécurité de l'ensemble au titre de l'instruction tunnel n° 98300. Le tunnel et la couverture ont donc été équipés de colonnes sèches, d'éclairage de sécurité, d'un accès pompiers depuis la surface avec sas. L'ouvrage de désenfumage est muni de deux ventila-



Photo 3
Portiques de ferrillage au premier plan, et de bétonnage de la couverture C
Gantry cranes for steel reinforcements in the foreground, and for concreting of covering C

teurs et de deux alimentations indépendantes. Pour réaliser le talus celui-ci a été terrassé mécaniquement à l'aide d'une paroi berlinoise tirantée. Son radier a été ferrillé et coulé en place. Le voile contre la paroi berlinoise a été ferrillé en place et coffré au moyen de banches prenant appui sur des chevalets ancrés en pied dans la bêche du radier (figure 3).

Le long des voies, les voiles chaises ont été exécutés au moyen de deux portiques spécifiques, l'un pour le ferrillage, l'autre pour le bétonnage. Guidés en pied et en tête de talus par des rails de roulement et sécurisés par des dispositifs anti-déraillement, ces outils modulables en hauteur et en portée ont fourni les plates-formes de travail nécessaires aux ferrillages et les capacités de manutention des banches d'une longueur de 10 m. Des écrans d'isolement en grillage empêchaient la chute d'objet vers les voies et l'électrification des personnels. Ce recours aux portiques a réduit le nombre de nuits de levage d'éléments préfabriqués et il a permis le bétonnage des voiles sur une base de 10 m par jour, cadence de travail rapide, adaptée à l'environnement du chantier (photo 3).

Hors ouvrage, un accès aux voies depuis la voirie pour personnel technique a nécessité la réalisation d'un point de pénétration à travers un mur-poids. Celle-ci a été réalisée par sciage au câble depuis une fouille en puits blindée, la zone de circulation des trains ayant été préalablement protégée au droit des plans de sciage par un platelage métallique vertical.

Couvertures du RER A en exploitation : un projet sensible au cœur des villes

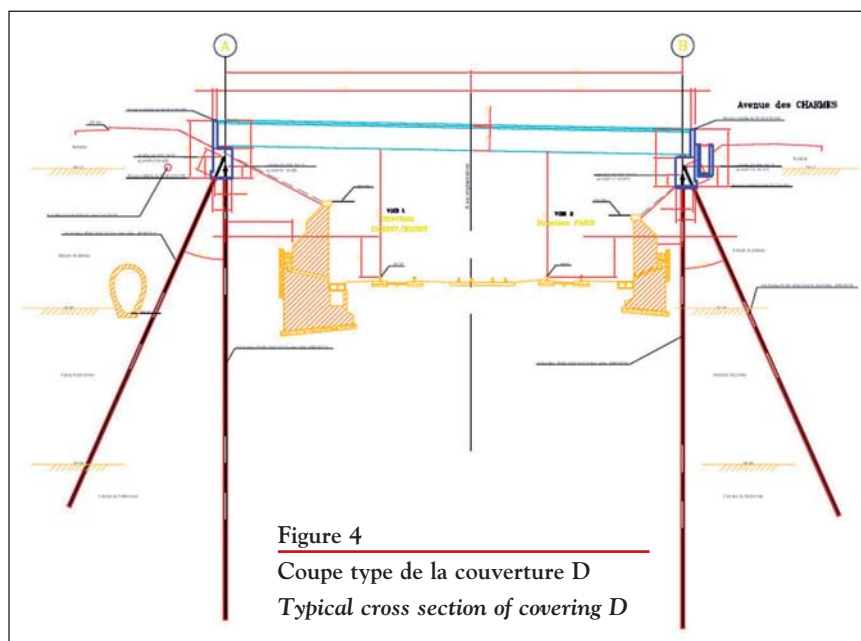


Figure 4
Coupe type de la couverture D
Typical cross section of covering D



Photo 4
Appuis Néoprène en attente de pose des poutres TT
Neoprene supports pending placing of TT girders

Photo 5
Poutre TT posée en travée centrale avec rail Halfen pour accrochage caténaire
TT girder placed in centre span with Halfen rail for catenary system attachment



■ Couverture de Vincennes – Fontenay-sous-Bois (D)

Longue de 110 m et large de 22 m en travée centrale, en section courante, la couverture comporte une travée centrale seule dont les poutres TT atteignent 22 m et 45 t. Les deux files d'appuis sont constituées d'une longrine sur micropieux de type II implantés dans les talus existants. Pour les forer, des talutages provisoires et des pistes en béton ont été réalisés. Cette couverture comporte des travées latérales pour son raccordement au pont de la Pépinière, ouvrage maçonné en voûte franchissant la tranchée RER.

La complexité du raccordement réside dans une structure existante rapportée pour élargir le pont pour des surcharges piétonnes et dans la présence d'un tunnel du métro ligne 1 passant transversalement sous la tranchée RER en limite du pont élargi. Pour fonder l'ouvrage de couverture, il a été nécessaire de ponter le tunnel de

métro et de descendre le niveau de fondation au niveau bas du tunnel. À cet effet, des fouilles en puits dits « marocains » de 11 m de profondeur ont été exécutées à travers les structures d'élargissement du pont. Ces fondations ont permis la descente de charge depuis des chevêtres de 39 t reprenant les efforts de la travée centrale (figure 4 et photo 4).

■ Zoom sur la poutre TT

Ces poutres en béton précontraint par fils adhérents ont été préfabriquées en Hollande et acheminées par convoi routier exceptionnel au moyen de remorques télescopiques.

Avec une largeur de 2,22 m, la poutre TT présente un ratio « surface de couverture »/« nombre de poutres posées par poste de travail » particulièrement élevé et avantageux compte tenu du délai de 2h30 de travail

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

RATP - Département RER

Conduite de projet et maîtrise d'œuvre

RATP - Département des Projets et de l'Ingénierie des lieux

Entrepreneurs

- Lot génie civil : Eiffage TP
- Lot étanchéité : groupement Appia - Eiffage TP
- Lot caténaires : Amec Spie
- Lots métallerie - serrurerie : Eurotechnologies
- Principaux sous-traitants : Spie Fondations, Soleffi, TFL Les creuseurs, Hardy KDI/TGA, Ponticelli, Asten
- Bureaux d'études d'exécution : BIEP, Seti



Photo 6

Les équipes travaillent de nuit pour poser les poutres sur l'ensemble des couvertures

The teams work by night to place the girders on all the coverings

effectif imposé par la consignation électrique de la caténaire (photo 5).

De plus, une fois posées, les poutres constituent un coffrage de protection pour travailler au-dessus du domaine ferroviaire, diminuant là encore les opérations à exécuter de nuit. En contrepartie, leur pose a nécessité des grues routières de capacité d'autant plus forte (200, 300, 650 t) que les portées imposées par les conditions d'accès et les avoisinants étaient élevées. Ce choix technique a permis de poser en moyenne huit poutres chaque nuit et ce sont près de 250 poutres qui constituent les quatre couvertures.

■ Zoom sur le phasage général

- Étape 1 : mise en place des protections provisoires de nuit le long des voies. Ces écrans verticaux légers implantés en limite de plate-forme ferroviaire isolent le chantier du domaine en exploitation pour les personnels et ils limitent les risques de chute d'objet vers les voies lors de la réalisation des fondations.
- Étape 2 : reprofilage des talus et/ou réalisation des écrans de soutènement de jour.
- Étape 3 : réalisation des fondations de jour.
- Étape 4 : réalisation des ouvrages en élévation de jour pour les voiles, de nuit pour les portiques (poteaux et chevêtres préfabriqués).
- Étape 5 : abaissement localisé des suspentes caténaïres.
- Étape 6 : pose de nuit de la première partie des poutres TT avec réservations pour accrochage des caténaïres.
- Étape 7 : fixation de nuit des caténaïres sous les nouvelles poutres.
- Étape 8 : dépose de nuit des anciens supports caténaïres et pose de nuit des poutres TT restantes (photo 6).
- Étape 9 : coulage des dalles de jour et réglage de la caténaire de nuit.
- Étape 10 : réalisation de l'étanchéité. ■

ABSTRACT

Covering of rapid transit line "RER A" in service : a sensitive project in urban centres

Ph. Moyal, J. Poteau

In 2006, Paris public transport organisation RATP completed construction of four roof coverings above the noisiest switch areas of the open cut on the RER A line, between the Saint-Mandé, Vincennes and Fontenay-sous-Bois districts. The project involved building covering structures each more than 100 m long. The main challenge was to perform this work without creating any nuisances and in complete safety for operation of the 670 trains running each day.

To cover the side embankments and the subgrade of railway tracks, the four structures were adapted to the constraints imposed by the "RER" transport system while taking into account a very dense urban environment and restricted site land area to minimise the nuisance caused to the frontage residents.

RESUMEN ESPAÑOL
Coberturas del RER A en explotación : un proyecto delicado en pleno centro de las ciudades

Ph. Moyal y J. Poteau

En 2006, la RATP ha finalizado la ejecución de cuatro coberturas por encima de las zonas de agujas que origina la mayor contaminación acústica del falso túnel del RER A, entre los municipios de Saint-Mandé, Vincennes y Fontenay-sous-Bois. La obra ha consistido en la ejecución de las estructuras de cobertura, de más de 100 m de longitud cada una. El principal reto ha sido la ejecución de los trabajos sin perturbar el tráfico y con toda seguridad para la explotación de los 670 trenes que circulan a diario.

Para cubrir los taludes laterales y la plataforma de las vías ferroviarias, las cuatro estructuras fueron adaptadas a los imperativos requisitos impuestos por el sistema de transporte del RER teniendo siempre en cuenta el entorno urbano sumamente denso y zonas de dominio de obras restringidas para reducir al mínimo las molestias derivadas que sufre el vecindario.

Le Palais de Tokyo abritera de Climespace

La société Climespace, concessionnaire de la Ville de Paris pour la production et la distribution d'eau glacée en réseau, a décidé de construire une usine frigorifique dans une partie du sous-sol inexploité du Palais de Tokyo. Cette implantation réduit les nuisances sonores et visuelles la future installation tout en tirant profit de la proximité de la Seine. Le Palais de Tokyo, construit pour l'Exposition Universelle de 1937, abrite le musée d'Art moderne. Le projet a requis d'importants travaux de soutènement et de reprise en sous-œuvre pour permettre l'approfondissement du sous-sol existant : les techniques retenues ont été choisies pour permettre à la fois de

travailler sous hauteur limitée et se protéger de la nappe phréatique alimentée par la Seine toute proche, tout en maintenant l'activité du musée.

Les techniques utilisées sont variées : paroi microberloinoise jointive pour le soutènement provisoire, micropieux pour la reprise des poteaux existants et l'ancrage du futur radier pour résister à la sous-pression, paroi moulée pour le soutènement provisoire et définitif du bac de pompage, microtunnelier pour la réalisation des conduites d'amenée et de rejet en Seine en passant sous l'avenue de New York. Les travaux spéciaux se sont déroulés fin 2005, pour une mise en service à l'été 2007.

Figure 1

Coupe générale sur le projet

General cross section of the project

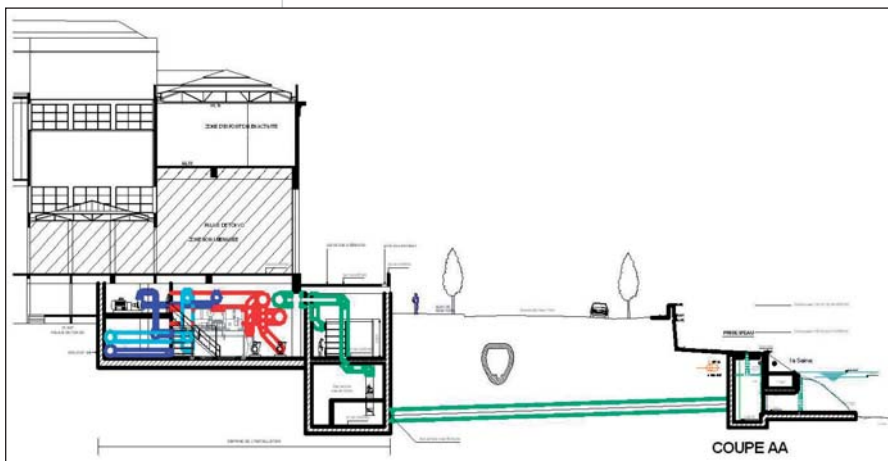
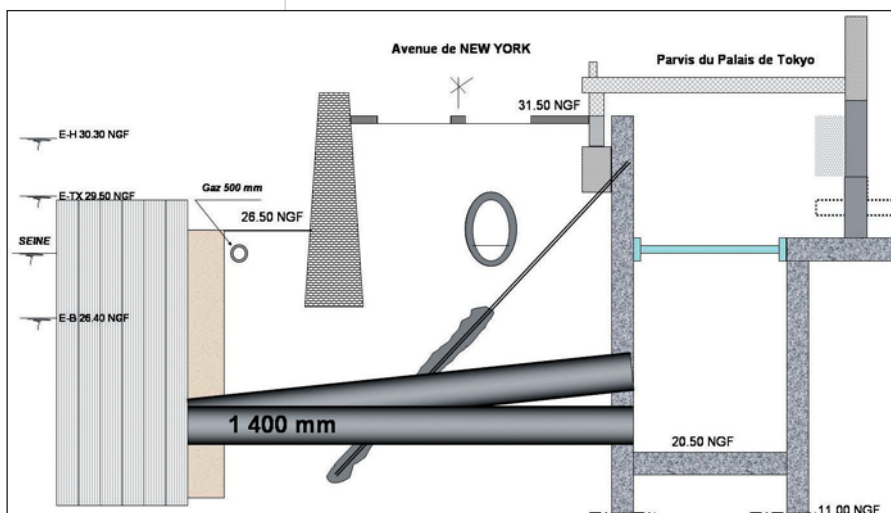


Figure 2

Coupe sur le bac de pompage

Cross section of the pumping tank



■ Le projet

La société Climespace construit et exploite des usines frigorifiques et des réseaux pour distribuer le froid nécessaire à la climatisation des habitations et des bureaux. Elle a décidé de construire une nouvelle unité frigorifique en utilisant une partie du sous-sol inexploité du Palais de Tokyo qui abrite le musée d'Art moderne de Paris dans le XVI^e arrondissement. Ce site présente en effet des caractéristiques favorables à l'implantation d'une usine frigorifique :

- proximité de bureaux et logements pour la distribution;
- surface disponible de 2200 m² au centre de Paris;
- proximité de la Seine pour le pompage et le rejet de l'eau nécessaire au fonctionnement de l'usine.

Une centrale frigorifique va donc être créée dans les sous-sols approfondis du Palais de Tokyo, ce qui permettra de réduire les nuisances sonores et visuelles en enterrant les installations.

Cette centrale comporte plusieurs ouvrages liés entre eux (figures 1 et 2) :

- l'ouvrage de prise d'eau en Seine et l'ouvrage de rejet situé sur le quai;
- deux conduites d'amenée d'eau Ø 1400 mm jusqu'au bac de pompage;
- la conduite de rejet Ø 1400 mm vers l'ouvrage de rejet;
- le bac de pompage situé sous le déambulatoire du Palais de Tokyo parallèle à l'avenue de New York;
- la centrale proprement dite située sous l'emprise partielle du sous-sol existant.

Le projet qui nécessite un approfondissement du sous-sol existant conduit à des travaux de soutènement et de reprise des fondations existantes, d'autant plus déli-

une usine frigorifique



Mireille Doucerain
Ingénieur principal
Service Projets
Solétanche Bachy



Jean-Noël Lasfargue
Directeur commercial
CSM Bessac

cats que l'activité du Palais de Tokyo doit être maintenue pendant toute la durée du chantier. Solétanche Bachy intervient pour réaliser les fondations spéciales nécessaires à l'ouvrage et sa filiale CSM Bessac réalise les trois conduites Ø 1 400 mm.

La géologie

Le terrain est constitué de la succession des couches suivantes :

- remblais;
- alluvions modernes;
- alluvions anciennes;
- fausses glaises;
- sables d'Auteuil;
- argile plastique.

Les particularités géotechniques résident dans la faiblesse des caractéristiques mécaniques des remblais et surtout des alluvions modernes présentes sur une grande hauteur, la présence à faible profondeur de la nappe phréatique, la profondeur relativement importante du toit de l'horizon de faible perméabilité (fausses glaises puis argile plastique).

La méthode de réalisation de l'ouvrage doit donc tenir compte d'une série de facteurs :

- alluvions modernes et anciennes de qualité plutôt médiocre en tête;
- une nappe dont le niveau est très proche de celui de la Seine donc très haute dans le sol;
- travail sous hauteur limitée dans le sous-sol existant;
- exigüité du sous-sol existant rendant délicats les déplacements et le stockage du matériel.

Les travaux de soutènement et de reprise en sous-œuvre

L'approfondissement de 4 m du sous-sol existant pour y installer la centrale a nécessité des travaux de soutènement et des travaux de reprise en sous-œuvre des fondations existantes sous hauteur limitée.

La fouille nécessaire à la réalisation du bac de pompage sous le déambulatoire démolé du Palais de Tokyo le long de l'avenue de New York, donc à l'extérieur du Palais, a nécessité un soutènement, mais sans la contrainte de hauteur limitée.

Les solutions ont donc été adaptées à chaque partie de l'ouvrage, en fonction de la méthodologie et de l'outillage utilisé :

- bac de pompage : paroi moulée de soutènement provisoire et définitif descendue dans l'argile plastique, avec tirants et butons provisoires, permettant un terrassement de 11,50 m;
- centrale frigorifique : soutènement provisoire par la méthode de la microberlinoise jointive adaptée au travail sous hauteur limitée, ancrée par des clous

- forés provisoires et descendue dans les fausses glaises, permettant la réalisation d'un voile en béton armé de soutènement définitif relié au nouveau radier;
- fondations existantes : reprise par micropieux avec massifs de liaison;
- ancrage du nouveau radier vis-à-vis des sous-pressions par des micropieux de traction.

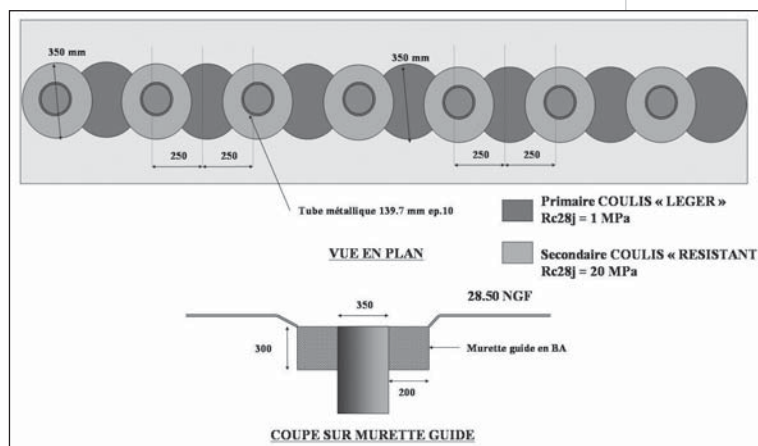


Figure 3
L'enceinte étanche par microberlinoise
Watertight chamber
by micropile Berlin wall



Photo 1
Microberlinoise périphérique
Peripheral micropile Berlin wall

Soutènement provisoire de la centrale par microberlinoise jointive

Ce soutènement consiste à réaliser des forages dits primaires Ø 350 mm espacés de 500 mm, remplis de coulis de ciment, puis de forages dits secondaires dans l'espace entre les primaires et les recoupant équipés de tubes métalliques constituant l'élément de résistance du soutènement (figure 3 et photo 1).

L'ensemble ainsi réalisé assure une continuité d'étanchéité permettant de se prémunir de la nappe phréatique extérieure, les tubes métalliques étant calculés pour reprendre les efforts de flexion verticale du soutènement ainsi créé.

Au fur et à mesure des terrassements des clous forés scellés dans le terrain sont réalisés avec une lierre de

Le Palais de Tokyo abritera une usine frigorifique de Climespace

LES PRINCIPALES QUANTITÉS DE TRAVAUX SPÉCIAUX

- Microberlinoise : 800 forages sous boue au tricône 350 mm de 10 m et 12 m dont 400 équipés de tubes métalliques 139,7 mm ép. 11 mm, ou 177,8 mm ép. 8,8 mm
- Clous autoforants : 206 forages sous coulis avec taillant perdu de 8 m à 13 m et armatures de type MAI RN 32 mm
- Micropieux de reprise en sous-œuvre et d'ancrage du radier : 483 forages sous boue au tricône perdu 200 mm équipés de tubes 139,7 mm ép. 10 mm (poteaux), ou 73 mm ép. 8,8 mm (radier)
- Paroi moulée de 0,80 m à la benne : 13 panneaux - 1600 m² d'excavation
- Tirants provisoires : 10 tirants de capacité 60 t à 90 t de 25 m

Géologie

Sable graveleux, limons vaseux pollués par la présence d'un collecteur, argiles, alluvions sous la nappe (niveau de la Seine)

Matériels

Les collecteurs ont été creusés à l'aide d'un microtunnelier Herrenknecht AVN 1200 TC avec une roue de coupe mixte équipée d'outils spéciaux pour forer dans les pieux et de molettes pour creuser dans les murs de quais



Photo 2

Réalisation des clous de la microberlinoise
Nailing for the micropile Berlin wall

Figure 4
La reprise en sous-œuvre par micropieux
Underpinning by micropiles

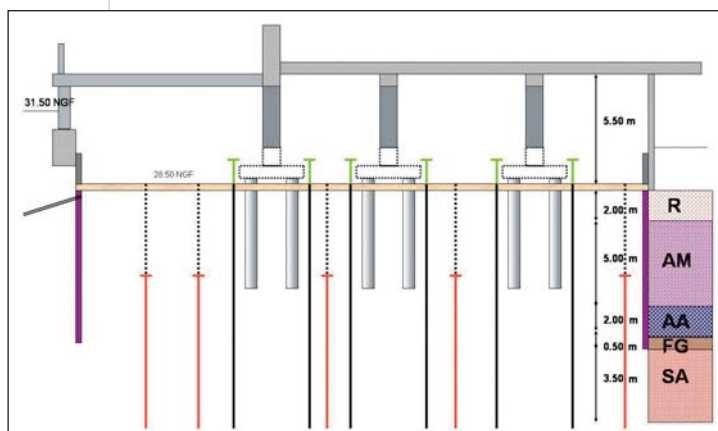


Photo 3

Micropieux de reprise des poteaux
Micropiles for column underpinning



Photo 4

Poteau définitif réalisé
Completed permanent column



répartition horizontale sur la microberlinoise (photo 2). Cette solution de microberlinoise a permis, en temps réel, d'adapter le projet à la découverte des fondations existantes du palais, au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Reprise en sous-œuvre des fondations existantes et ancrage du radier

Les 50 poteaux existants du Palais de Tokyo ont été repris en sous-œuvre par des micropieux réalisés depuis le sous-sol existant, vérinés puis complétés par des poteaux béton définitifs sur la hauteur du sous-sol créé (figure 4, photos 3 et 4), de façon à reporter les charges sous le nouveau radier dans le sol.

L'ancrage du nouveau radier étanche de l'usine soumis aux sous-pressions de la nappe phréatique est réalisé par des micropieux travaillant en traction (figure 4 et photo 5).

Soutènement provisoire et définitif du bac de pompage

Ce soutènement est réalisé par une « boîte » en paroi moulée de 0,80 m d'épaisseur ancrée par des tirants forés précontraints provisoires du côté du quai, complétés par des butons métalliques provisoires, puis appuyée sur le radier et la dalle définitifs.

La paroi moulée ainsi constituée, ancrée dans l'horizon de l'argile plastique, assure également un rôle d'étanchéité vis-à-vis de la nappe phréatique. La fouille ainsi créée sert en phase travaux de départ au microtunnelier pour le fonçage des conduites Ø 1400 mm d'amenée et de rejet : le microtunnelier s'appuie sur la paroi moulée d'un côté et la traverse de l'autre côté au droit de réservations mises en place dans la cage d'armature de paroi à cet effet (photo 6).



Photo 5
Micropieux d'ancrage du radier
Micropiles for foundation raft anchoring

Ce bac est relié à la station de pompage et de rejet par les conduites qui vont passer sous le quai.

Le chantier

Trois foreuses ont été mobilisées au démarrage, deux travaillant sur la microberlinoise, la troisième sur les micropieux; puis une quatrième a été mobilisée pour réaliser les clous.

En parallèle, la paroi moulée a été réalisée sur une emprise de 8 m de largeur.

Une soixantaine de personnes a travaillé sur ce chantier avec, en régime de croisière, un effectif de quarante personnes en deux postes : huit foreurs, des centralistes, des spécialistes pour équipement de forages.

■ Les travaux de réalisation des conduites

La réalisation des conduites d'amenée et de rejet a été menée en souterrain sous l'avenue de New York sur 40 m environ jusqu'à la Seine, à cause de la forte circulation sur l'avenue et de la présence du collecteur Debilly et d'un feeder gaz.

Les travaux de fonçage au microtunnelier se sont avérés très complexes à cause de ces contraintes environnementales, mais aussi à cause de la présence imprévue d'anciens pieux en bois sur le tracé des conduites et sous les fondations du mur de quai haut.

Les trois conduites ont été réalisées à partir de la fouille en paroi moulée du bac de pompage située sous le déambulateur du palais (photo 7). Cette fouille,



Photo 6
Réservations dans la paroi moulée pour passage du tunnelier
Reserved spaces in the diaphragm wall for TBM passage

prise entre l'avenue de New York plantée d'arbres, et le palais lui-même, ne laissait aucune possibilité pour l'installation des matériels. Il a donc fallu installer les matériels de chantier sur des platelages au-dessus de la fouille dans laquelle était disposée la station de poussée nécessaire au fonçage.

La sortie du tunnelier s'est faite dans deux puits de récupération en palplanches, en bord de Seine (photos 8 et 9). Ces puits ont servi à la réalisation du génie civil des ouvrages de prise et de rejet.

Outre l'avenue de New York, une voie à forte circulation, les trois conduites passaient sous d'autres ouvrages sensibles :

- le collecteur Debilly de section 3,70 m x 2,50 m sous l'avenue de New York avec 1,00 m de recouvrement;



Photo 7
Descente du tunnelier
TBM lowering



Photo 9
Vue générale de la sortie du tunnelier
General view of TBM exit



Photo 8
Sortie du tunnelier
TBM exit

LES PRINCIPALES QUANTITÉS DES CONDUITES AU MICROTUNNELIER

- Diamètre intérieur des conduites : 1400 mm

Type de tuyau

- PRV Hobas
- Longueur 3 m
- Épaisseur 60 mm
- Øext 1499 mm

Longueurs

- Conduite de rejet : 39 m
- Conduites de prise : 33 m

Pentes du projet (attaque ascendante)

- Conduite de rejet : 43 mm/m
- Conduite de prise inférieure : 82 mm/m
- Conduite de prise supérieure : 6 mm/m

Profondeur au fil d'air
1,5 m sous les quais et 5,5 m sous l'avenue de New York

Le Palais de Tokyo abritera une usine frigorifique de Climespace

- le feeder gaz Ø 600 mm sous les quais avec 0,60 m de recouvrement.

Pour des raisons hydrauliques, la position des deux galeries de prise est assez particulière : elles sont positionnées l'une au-dessus de l'autre au départ et côte à côte à l'arrivée. Leur croisement réserve seulement 40 cm de distance entre extrados.

Promenade dans les bois

Il n'est pas rare de rencontrer des obstacles imprévus lors de la réalisation d'ouvrages souterrains sous les quais de Seine. CSM Bessac en a une longue expérience : 48 tirants découpés sous le quai de la Râpée, un arbre sous le quai du président Roosevelt à Issy-les-Moulineaux lors de la réalisation des galeries de l'usine Isséane, pour ne citer que ces exemples.

Passer au travers de tels obstacles est réalisable avec un tunnelier à attaque ponctuelle alors que c'est difficile, voire impossible, avec un tunnelier à roue.

Dans le cas d'espèce, ce sont des pieux en bois, placés en quinconce qui ont été découverts sur la trajectoire du microtunnelier, pendant le creusement des fouilles de réception. À ce stade des travaux, il était impossible de changer de technique, à cause notamment du faible diamètre des conduites. Ceci a conduit à mettre en œuvre des outils spéciaux sur la roue du microtunnelier et à procéder à des traitements spécifiques pour assurer le passage du microtunnelier à travers ces obstacles au nombre d'une quinzaine de pieux rencontrés au total sur les trois tirs.

Les dispositions prises ont permis de réussir le franchissement, mais au prix de pertes de rendement importantes.

Pour corser l'exercice, le tracé des trois galeries recoupait également les fondations du mur de quai. Ces fondations constituées de blocs ont dû être découpées par la roue à molettes du microtunnelier. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Climespace

Maître d'œuvre

Ingevalor (mandataire) - Safège - Delta Génie Acoustique

Bureau de contrôle

Socotec

Groupement d'entreprises lot 1 génie civil et travaux spéciaux

- Darras & Jouanin (mandataire)
- Chantiers Modernes
- Solétanche Bachy France
- CSM Bessac

ABSTRACT

The "Palais de Tokyo" will house a Climespace refrigeration plant

M. Doucerain, J.-N. Lasfargue

Climespace, a franchise operator for the City of Paris for the production and network distribution of chilled water, has decided to build a refrigeration plant in part of the unused basement of the "Palais de Tokyo" (Tokyo Palace building). This location reduces noise and visual pollution by the future system while profiting from the closeness of the Seine River.

The "Palais de Tokyo", built for the Universal Exhibition of 1937, houses the Modern Art Museum. The project required extensive supporting and underpinning work to deepen the existing basement. The techniques adopted were chosen to allow work to be performed within the limited height while being protected from the aquifer fed by the nearby Seine, and maintaining activity in the museum.

A variety of techniques are used : close-jointed micropile Berlin wall for temporary support, micropiles for underpinning of the existing columns and anchoring of the future foundation raft to resist uplift force, diaphragm wall for temporary and permanent support of the pumping tank, microtunnel boring machine for execution of the conduits for delivery and discharge into the Seine passing under avenue de New York. The special works were carried out at end 2005, for commissioning in the summer of 2007.

RESUMEN ESPAÑOL

El Palacio de Tokio integrará una usina refrigeradora de Climespace

M. Doucerain y J.-N. Lasfargue

La empresa Climespace, concesionaria de la Ciudad de París para la producción y la distribución por red de agua helada, tomó la decisión de construir una planta refrigeradora en una parte del sótano no aprovechado del Palacio de Tokio. Esta implantación permite reducir las contaminaciones acústicas y visuales de la futura instalación aprovechando debidamente la proximidad del río Sena.

El palacio de Tokio, construido para la Exposición Universal de 1937, alberga el museo de Artes modernas. El proyecto ha requerido importantes trabajos de consolidación y de obras en recalce para permitir el profundizamiento del sótano existente : las técnicas aplicadas fueron seleccionadas para permitir simultáneamente el trabajo en altura limitada y protegerse de la capa freática alimentada por el río Sena que se encuentra muy cerca, manteniendo siempre el museo abierto.

Las técnicas utilizadas son variadas : pantalla microberlinesa ajustable para la consolidación provisional, micropilotes para el recalce de los postes existentes y el anclaje de la futura solera para resistir a la subpresión, pantalla continua para la consolidación provisional y definitiva del recipiente de bombeo, microtunneladora para la ejecución de los conductos de transporte y de vertido en el río Sena que pasan por debajo de la avenida de Nueva York.

Los trabajos especiales se llevaron a cabo a finales de 2005, para una entrada en servicio durante el verano de 2007.

Un record d'Europe établi à Mantes-la-Jolie (78) : mise en œuvre de 3 138 détonateurs électroniques, en rénovation urbaine

Jean-Louis
Schreiber
Ingénieur
Nobel Explosifs France

En rénovation urbaine, le réaménagement d'anciennes zones d'habitation ou d'activités commerciales requiert dans certains cas la démolition intégrale à l'explosif de grandes tours vétustes devenues encombrantes.

Compte tenu du contexte urbain particulièrement coercitif, ces travaux de démolition à l'explosif doivent être réalisés dans les meilleures conditions à la fois pyrotechniques et sécuritaires, afin de limiter au maximum les nuisances de l'abattage.

La mise en œuvre, par les entreprises de démolition à l'explosif, de détonateurs électroniques au lieu des détonateurs électriques classiques se révèle d'une grande efficacité pour réduire ces nuisances.

C'est ainsi que le 2 juillet 2006, un record d'Europe a été établi à Mantes-la-Jolie (78), avec la mise en œuvre de 3 138 détonateurs électroniques, en rénovation urbaine.

■ Préambule

Le 2 juillet 2006, les tours K, K2, K3 situées dans le quartier des Peintres au Val Fourré, commune de Mantes-la-Jolie (78) ont été foudroyées à l'explosif. L'initiation, qui a duré plus de 7 secondes a été réalisée par Nobel Explosifs France avec 3 138 détonateurs électroniques i-kon™, de fabrication Orica.

L'espace ainsi libéré par les trois bâtiments d'habitation de 19 niveaux (R + 18), d'une hauteur de 52 m et de surfaces au sol respectives de 573 m² pour les tours K - K3 et 430 m² pour la tour K2, construits dans les années 1960 et qui abritaient 113 logements pour les plus grands (K - K3) et 76 logements pour la plus petite (K2), sera occupé par un parc d'attraction aquatique.

Le foudroyage des trois tours a nécessité 508 kg d'explosif type Cisalex 13 et 17 répartis en 3 078 charges. Par ailleurs, 60 détonateurs électroniques ont été mis en œuvre pour initier le dispositif d'atténuation des poussières réalisé par des boudins d'eau dont l'explosion intervenait 2 à 3 secondes après l'abattage des bâtiments (photo 1).

■ Pourquoi des détonateurs électroniques

La maîtrise de l'impact au sol des bâtiments pour minimiser la vibration, le décalage des abattages de chacune des tours tout en conservant une sécurité totale



de l'initiation, la bonne adéquation de l'amorçage des dispositifs d'atténuation des poussières, par rapport « à la descente » des tours situées à proximité du dispositif rideau d'eau, ont plaidé pour la mise en œuvre de détonateurs électroniques au lieu des détonateurs électriques à retards pyrotechniques habituels, pilotés par des exploseurs séquentiels maître-esclaves.

Outre la sécurité totale apportée par les détonateurs électroniques puisque ceux-ci reçoivent un ordre de départ dès la mise à feu, la plage d'utilisation des détonateurs i-kon™ qui s'échelonne de 0 à 15 000 millisecondes par pas de 1 milliseconde, offre de nombreuses possibilités tant pour la bonne maîtrise de la cinématique de chute, que pour la maîtrise des nuisances (surpressions aériennes et vibrations solidiennes réduites grâce à la précision et aux nombreuses possibilités des retards électroniques).

■ Le système d'amorçage électronique i-kon™

Le système d'amorçage électronique i-kon™, mis au point en 2000, a profité du vaste champ d'applications que lui a procuré le groupe Orica dans le monde entier. Ce système comporte quatre éléments :

- le détonateur i-kon™ ;
- le logger i-kon™ (routeur ou programmeur) ;
- le blaster i-kon™ (console de mise à feu ou exploseur) ;
- la ligne bus.

Le détonateur i-kon™ (photo 2)

Le détonateur électronique i-kon™ se présente comme un détonateur électrique classique. Il comporte :

- un embouti en alliage cuivre qui contient :
 - > un condensateur (exploseur élémentaire),
 - > une puce (horloge numérique), qui permet de

Photo 1

Les tours K, K2 et K3 avant le tir

High-rise buildings K, K2 and K3 before blasting



Photo 2

Le détonateur i-kon™

The i-kon™ detonator

Un record d'Europe établi à Mantes-la-Jolie (78) : mise en œuvre de 3 138 détonateurs électroniques, en rénovation urbaine



Photo 3
Le programmeur i-kon™
The i-kon™ programmer



Photo 4
Le blaster i-kon™
The i-kon™ blaster



Photo 5
La ligne bus
i-kon™
The i-kon™ bus
line

déterminer le retard affecté au détonateur, (cette puce remplace ainsi le retard pyrotechnique des détonateurs électriques),
> deux fils électriques sertis sur l'embouti aluminium, destinés à permettre la communication avec le logger (programmeur) ou avec le blaster (console de tir) à travers le logger.

L'extrémité libre des fils du détonateur est équipée d'un connecteur rapide assurant un raccordement aisé du détonateur à la ligne de bus, l'étanchéité de la connexion étant obtenue par la graisse contenue à l'intérieur du connecteur.

Les détonateurs électroniques i-kon™ ne sont pas classés ou conditionnés suivant leurs dates de départ; ils sont tous identiques, ce qui en facilite le stockage et la gestion. En revanche, ils sont repérés par un numéro d'identification qui leur est affecté en usine. Cela permet un repérage facile dans le schéma de tir et garantit ainsi, par leur marquage individuel, leur traçabilité.

Le logger i-kon™ (ou routeur ou programmeur) (photo 3)

Le logger i-kon™ est une console de programmation capable de mémoriser les numéros d'identification de 200 détonateurs maximum et d'assigner également à chaque détonateur un retard pendant le processus de programmation des détonateurs.

Le système i-kon™ permet de programmer les détonateurs i-kon™ de 0 à 15000 millisecondes par incréments de 1 milliseconde et de tester soit chaque détonateur séparément, soit la totalité du circuit, et de mesurer également les fuites éventuelles de l'ensemble du circuit (courant de fuite).

Le blaster i-kon™ (ou explosEUR) (photo 4)

Le blaster i-kon™ est le matériel de commande qui confirme via le logger sa date de départ à chaque déto-

nateur et qui, après une procédure de contrôle rigoureuse, déclenche le tir.

Dans sa version de base, le blaster 400 peut commander jusqu'à deux loggers (routeurs) soit 400 détonateurs maximum, ce qui est largement suffisant pour les tirs en carrières ou terrassements de travaux publics.

Pour les tirs plus importants, il existe un blaster 2400 pouvant commander jusqu'à 12 loggers (routeurs) soit 2400 détonateurs. Associés avec un deuxième blaster 2400, il est possible de commander jusqu'à 24 loggers soit 4800 détonateurs électroniques i-kon™.

C'est ce type de matériel que l'on utilise généralement lors des opérations de rénovation urbaine et qui a été mis en œuvre à Mantes-la-Jolie.

La ligne bus i-kon™ (photo 5)

La ligne bus assure la liaison électrique entre les détonateurs et le logger (routeur). Elle est constituée de deux conducteurs monobrins en cuivre de diamètre 0,6 mm isolés séparément et légèrement torsadés. La ligne de bus a une résistance de 13 ohms aux 100 m. La bobine de ligne bus (200 m) est contenue dans un étui qui se porte en bandoulière et elle est déroulée au fur et à mesure du raccordement des détonateurs.

■ La programmation

La programmation des détonateurs électroniques i-kon™ peut se faire :

- **manuellement** : détonateur par détonateur en indiquant la date de départ au moment de la connexion à la ligne bus;
- **automatiquement** : en affectant un intervalle donné, si celui-ci est répétitif, à partir d'une date de départ d'origine et en respectant scrupuleusement, au moment de la connexion, l'ordre de branchement du détonateur sur la ligne bus, déterminé par le plan d'amorçage;
- **à partir du logiciel de raccordement SHOT-PLUS I d'Orica** : ce logiciel mis au point pour la programmation des tirs en carrières, peut être adapté au tir en démolition en assimilant chaque voile ou chaque poteau à un trou de mine comprenant plusieurs charges : 1, 2, 3 ou 4 charges.

Les 3 138 détonateurs i-kon™ mis en œuvre à Mantes-la-Jolie ont été programmés à partir du logiciel SHOT-PLUS I décrit ci-après.

Comment utiliser SHOT-PLUS I ?

Repérage des parties minées

Le repérage des voiles ou poteaux à miner, le nombre de trous et la chronologie de raccordement doivent



Photo 6

Connexion et programmation des détonateurs i-kon™
Connection and programming of i-kon™ detonators

être soigneusement préparés afin d'introduire ces informations dans SHOT-PLUS I.

L'ordonnancement de ces données doit être affecté à chacun des loggers (routeurs) qui seront nécessaires à l'opération et les cheminements des différentes lignes bus doivent être reportés sur le plan. Les dates de départ des détonateurs sont introduites dans le logiciel dans l'ordre de raccordement choisi par les opérateurs.

Transfert des données SHOT-PLUS I dans les loggers (routeurs)

Après identification et marquage des loggers, le transfert des données de SHOT-PLUS I dans chacun des loggers concernés est réalisé très rapidement.

Mise en œuvre sur le terrain

La connexion des détonateurs i-kon™ sur la ligne bus doit se faire dans l'ordre préétabli.

Les dates de départ des détonateurs sont attribuées automatiquement au moment de leur raccordement à la ligne bus.

Seul s'affiche sur le cadran du logger, le numéro d'ordre de raccordement du détonateur sur la ligne bus et son identité (photo 6).

Le « bip-bip » lors du raccordement du détonateur sur la ligne bus confirme la bonne connexion sans qu'il soit nécessaire de valider. Aussitôt, le numéro d'ordre du détonateur suivant à connecter s'affiche sur le cadran du logger. Il est important de noter également que la mesure du courant de fuite peut être effectuée après chaque branchement d'un nouveau détonateur sur la ligne bus.

À titre indicatif, la mise en œuvre de SHOT-PLUS I dans ces conditions permet de connecter, donc de programmer, 200 détonateurs à l'heure par logger.

Le repérage du cheminement sur le terrain doit être fait à l'avance, par des marquages sur les voiles ou les poteaux à miner, afin de contrôler au fur et à mesure



Photo 7

Contrôle et programmation du détonateur i-kon™ sur la ligne bus

Checking and programming the i-kon™ detonator on the bus line

que la chronologie des connexions est bien respectée.

Le contrôle de la programmation (photo 7)

Une fois les programmations terminées, l'impression sur papier de l'ensemble des informations stockées dans les différents loggers permet de contrôler avec les plans si les données enregistrées sont conformes au plan d'amorçage établi.

Les détonateurs connectés apparaissent chronologiquement par leur numéro d'ordre de branchement dans chacun des loggers, sont repérés par leur identifiant et pour chacun d'entre eux, figure la date de départ qui lui a été attribuée.

La mesure des courants de fuite fournit des indications précieuses pour la qualité des connexions et garantit la qualité de l'initiation du tir, car une sécurité liée au blaster interdit la mise à feu au-delà d'un seuil de courant de fuite de 16 mA.

La procédure de tir et le tir (photos 8 et 9)

L'ensemble des circuits de tir correspondant aux différents loggers repérés est centralisé au poste de tir.

Chaque logger est relié en parallèle au blaster ou aux blasters en prenant soin de ne pas intervertir l'ordre des loggers entre le blaster-maître et le blaster-esclave, et le contrôle de l'ensemble des détonateurs peut être effectué.

Lorsque la procédure de tir est engagée, des communications bi-directionnelles s'installent entre les blasters, les loggers et les détonateurs permettant de vérifier chaque fonction avant le sautage.

La durée de cette procédure dépend du nombre de log-



Photo 8

Poste de tir. Programmation des 3 138 détonateurs
Blasting station. Programming the 3,138 detonators



Photo 9

Blaster i-kon™ 2400 : procédure de contrôle avant tir
i-kon™ 2400 blaster : checking procedure before blasting

Un record d'Europe établi à Mantes-la-Jolie (78) : mise en œuvre de 3 138 détonateurs électroniques, en rénovation urbaine



gers mis en œuvre et du nombre de détonateurs par logger.

Dès que cette procédure est terminée et que le système a repéré tous les détonateurs, la fenêtre de tir de 10 minutes commence à se dérouler. Si le tir n'a pas pu être réalisé dans cette fenêtre, la procédure de contrôle doit être recommencée.

Au moment du déclenchement du tir, un nouveau contrôle qui peut durer plusieurs secondes (une dizaine de secondes pour 3 138 détonateurs) n'autorise la mise à feu que si tous les détonateurs ont bien été repérés.

À la fin du tir, une information indique sur le cadran du blaster que tous les détonateurs ont été initiés et ont détoné.

Photo 10

Après le tir...
After the blast...



■ Le contrôle du tir

Après tir, l'impression sur papier des informations stockées dans le blaster et le ou les logger(s) donne une photographie de l'ensemble des détonateurs, des dates de départ, et confirme leur détonation correcte.

La valeur du courant de fuite mesurée figure également sur ce relevé qui offre aussi bien à l'opérateur qu'aux organismes de contrôle, une traçabilité parfaite de l'opération (photo 10).

■ Les avantages de la mise en œuvre du système d'amorçage électronique i-kon™ en démolition

La mise en œuvre du système d'amorçage électronique i-kon™ présente des avantages incontournables, tant sur le plan technique que sur les plans sécurité et surtout sûreté.

Du point de vue technique on peut citer les avantages suivants :

- la précision des retards, de l'ordre de la milliseconde, qui garantit les dates de départs affichées et supprime l'incertitude due à la dispersion des détonateurs électroniques avec retards pyrotechniques, dispersions qui peuvent atteindre 8 ms pour des détonateurs courts retards et plusieurs dizaines de millisecondes pour des retards 500 millisecondes. Cette précision est importante pour les calculs de simulation de vibrations et surpressions aériennes;
- la grande plage de possibilité d'amorçage puisque la programmation peut s'échelonner de 0 à 15 000 millisecondes par incréments de 1 milliseconde d'où un éventail très large pour gérer au mieux la cinématique de chute tout en travaillant en sécurité totale ce qui n'est pas toujours facile lorsqu'on utilise les explosifs séquentiels dans les opérations importantes;
- le contrôle permanent de la programmation et des courants de fuite qui confortent l'opérateur lors du raccordement des détonateurs à la ligne bus et des circuits en général, lorsque les connexions sont terminées. Le fait de pouvoir contrôler depuis le poste de tir chaque détonateur et d'identifier et localiser ainsi avec précision un détonateur i-kon™ présentant une anomalie ou un courant de fuite anormal, apporte une souplesse qu'aucun autre dispositif n'est en mesure de fournir à l'heure actuelle.

Du point de vue de la sécurité on citera :

- le contrôle après tir que tous les détonateurs ont bien détoné avec leur bonne date de départ et l'édition sur papier de ce rapport apporte une garantie de bonne fin du tir;
- la mesure du courant de fuite et l'interdiction de tir si le courant de fuite atteint 16 mA garantissent la qualité du tir et suppriment ainsi le risque de défaillance due à une mise à la masse des circuits de tir;
- l'impossibilité de mise à feu accidentelle du fait de courants vagabonds ou d'autres sources d'énergie, puisque seul le blaster I-kon peut initier les détonateurs i-kon™.

Du point de vue de sûreté publique :

- impossibilité de le mettre à feu autrement qu'avec un blaster i-kon™ d'où le manque d'intérêt qu'offre ce produit en vue d'une utilisation malveillante, en cas de vol par exemple.

■ Conclusion

Le système d'amorçage électronique i-kon™ est parfaitement adapté aux opérations de rénovations urbaines à l'explosif par :

- la précision qu'il apporte à l'initiation du tir;
- le grand nombre de possibilités d'échelonnement des retards de 0 à 15 000 millisecondes;

- la maîtrise des vibrations et des surpressions aériennes;
- la maîtrise de la programmation et du contrôle;
- le confort certain vis-à-vis des courants vagabonds ou des courants induits;
- la bonne connaissance des éventuels courants de fuite qui sont mesurés;
- la traçabilité des détonateurs mise en œuvre et le contrôle de leur bonne initiation;
- la rapidité de mise en œuvre (200 détonateurs connectés et programmés pour un logger, à l'heure);
- l'aspect sûreté qui interdit toute mise à feu par les moyens habituels, puisque seul le blaster du système i-kon™ est reconnu par le dispositif.

En contrepartie, la mise en œuvre de ce type de détonateur avec programmation à partir du logiciel SHOT-PLUS I, nécessite un travail préparatoire de repérage du cheminement sur le terrain avec raccordement suivant une chronologie rigoureuse et une programmation minutieuse de chacun des loggers affectés aux étages minés.

Le tir du 2 juillet 2006 à Mantes-la-Jolie, a été de ce point de vue une réussite parfaite à la satisfaction de tous les intervenants. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Ville de Mantes-la-Jolie

Maîtrise d'œuvre exécution

CEBTP Démolition

Coordinateur sécurité

Corbice Sarl

Entreprises

- Cardem Démolition
- Melchiorre
- Société Méditerranéenne de démolition
- ATD Dispositif d'atténuation de poussières

Fournitures d'explosifs

Nobel Explosifs France

Contrôle qualité

Nobel Explosifs France

Réalisation du tir I-kon™

Nobel Explosifs France assisté d'Orica Allemagne

ABSTRACT

A European record set in Mantes-la-Jolie : use of 3,138 electronic detonators in an urban renovation project

J.-L. Schreiber

In urban renovation, the rehabilitation of former residential and commercial areas in some cases requires the complete demolition by explosive of ancient high-rise buildings that have become a nuisance.

In view of the extremely coercive urban context, this explosive demolition work must be carried out in optimum conditions, from both the pyrotechnic and safety viewpoints, so as to limit blasting nuisances insofar as possible.

The use of electronic detonators instead of conventional electric detonators by explosive demolition contractors proves highly effective for reducing such nuisances.

Accordingly, on 2 July 2006, a European record was set in Mantes-la-Jolie, with 3,138 electronic detonators being used for an urban renovation project.

RESUMEN ESPAÑOL

Un récord de Europa establecido en Mantes-la-Jolie (78) : implementación de 3138 detonadores electrónicos, en renovación urbana

J.-L. Schreiber

En renovación urbana, la reordenación de antiguas zonas de vivienda o de actividades comerciales requiere en ciertos casos la demolición integral mediante explosivo de grandes edificios vetustos que han llegado a ser inadecuados.

Habida cuenta del contexto urbano particularmente coercitivo, estos trabajos de demolición mediante explosivos se deben ejecutar según las mejores condiciones, simultáneamente pirotécnicas y seguridades, con objeto de limitar al máximo las molestias derivadas del arranque.

La puesta en aplicación, por parte de las empresas de demolición mediante explosivos, de detonadores electrónicos en lugar de los detonadores eléctricos convencionales demuestra una gran eficacia para reducir estas molestias.

Así, el 2 de julio de 2006, se ha establecido un récord de Europa en Mantes-la-Jolie (78), con la implementación de 3138 detonadores electrónicos, en renovación urbana.

Un parking royal

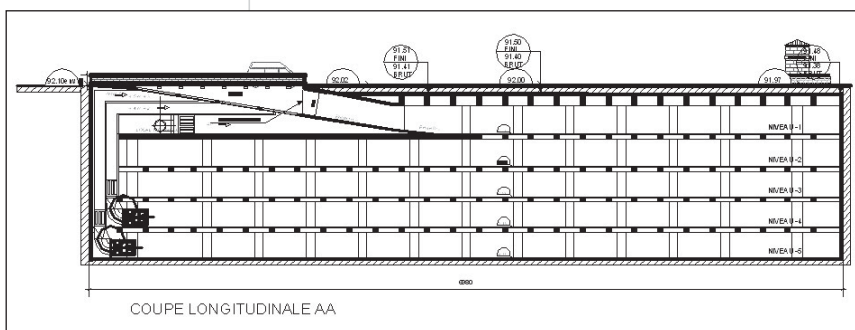
En 2004, la Ville de Saint-Germain-en-Laye prend la décision de créer un nouveau parking souterrain de 411 places sur cinq niveaux en plein cœur de la ville, sous la place du Marché neuf, dans le secteur sauvegardé. Dans ce contexte cumulant les contraintes, la construction de l'ouvrage nécessite des méthodes permettant de construire rapidement en générant peu de nuisances.

Comme il n'y a pas d'eau dans le terrain, le soutènement périmétrique est réalisé par la technique de la paroi clouée. De conception simple mais très efficace, la structure intérieure se compose de poteaux, poutres et dalles alvéolaires dégageant des portées de 15 m libres de tout obstacle. La dalle de couverture, sur laquelle est réalisé le nouvel aménagement de la place du Marché, se distingue par une structure en poutres jumelées et pré-dalles précontraintes.

Le parking est réalisé par Solétanche Bachy dans le cadre d'un marché d'entreprise générale pour le compte de Q-Park France, délégataire de service public pour une durée de 35 ans. Il est inauguré début février 2007 après un peu plus de 18 mois de travaux menés à une cadence soutenue dans le strict respect d'un environnement exceptionnellement sensible.

Photo 1

La place du Marché neuf avant les travaux
The new Market Square before the work



Depuis plus d'un siècle, la place du Marché neuf est l'un des lieux où s'expriment le dynamisme et la vitalité de la commune de Saint-Germain-en-Laye. Il est situé dans le secteur sauvegardé créé autour du château où naquit Louis XIV. Depuis plusieurs années, le constat s'est imposé que la circulation et le stationnement des automobiles, sous l'effet d'une attractivité commerçante exceptionnelle, ont progressivement saturé et étouffé le quartier (photo 1). C'est pourquoi la municipalité décidait en 2004, au terme d'une réflexion de plus de trente ans, la construction d'un parking souterrain de cinq niveaux sous la place, offrant 411 places (figures 1 et 2). En supprimant l'ancien stationnement de surface qui encombrait la place on allait ainsi permettre de restituer l'espace aux piétons, de remodeler l'aspect architectural de la place et de développer une nouvelle fonctionnalité pour le déroulement du marché forain qui se tient trois jours par semaine.

Environnement urbain

La place du Marché neuf est bordée sur ses quatre côtés de bâtis anciens parmi lesquels figure un bâtiment dénommé « Les Arcades », répertorié à l'inventaire des monuments historiques, ou encore, de l'autre côté de la place, la très belle façade de la Poste. Distants de seulement 7 et 10 m du projet, ces avoisinants ont dû être placés sous étroite surveillance topographique afin de veiller au respect du tassement maximal autorisé fixé à 10 mm.

Géologie

Le profil stratigraphique établi d'après les études préliminaires aux travaux est assez typique du sous-sol que l'on trouve en région parisienne à l'exception de l'absence remarquable d'eau souterraine. Ainsi, depuis le terrain naturel localisé à la cote altimétrique moyenne de 92,00 NGF jusqu'au fond de fouille situé 16 m plus bas, on rencontre 1 m de remblais, 8 m de calcaires de Saint-Ouen divisés en deux couches dont les caractéristiques varient sensiblement, 3,50 m de sables de Beauchamp (sables fins) et enfin la couche d'assise du projet constituée de marnes et caillasses.

Ce sont ces conditions géotechniques qui ont rendu possible la technique de la paroi clouée en béton projeté choisie pour le soutènement périmétrique.

La capacité portante suffisante du sol d'assise a permis de recourir à des fondations superficielles en fond de fouille pour supporter les charges apportées par l'ouvrage et les aménagements de surface.

Figure 1

Vue en plan du projet
Plan views of the project

à Saint-Germain-en-Laye



Julien Guillemain
Ingénieur Travaux
Pôle Projets Intégrés
Solétanche Bachy
France



Patrice Divet
Directeur du Pôle
Projets Intégrés
Solétanche Bachy
France



Jean-Pierre David
Directeur Construction
QSE
Q-Park



Thierry Beaulieu
Architecte
Cabinet Thierry Beaulieu

■ Les grandes lignes du projet

Conception de l'ouvrage

Pour répondre à l'appel d'offres de délégation de service public lancé par la Ville de Saint-Germain-en-Laye, le concessionnaire Q-Park France a constitué une équipe composée de Q-Park - Thierry Beaulieu Architecte - BET Beaulieu et AC Ingénierie - Solétanche Bachy France.

Le projet conçu par l'architecte est constitué de cinq plateaux comportant deux trames intérieures de 15 m. Les circulations verticales sont constituées de rotondes pour la descente et la montée. La rampe d'entrée de l'ouvrage est implantée rue de Passy, la sortie s'effectue rue de Pologne. L'ensemble de l'ouvrage est intégralement contenu dans l'emprise du marché qui se tient trois fois par semaine sur cette place.

C'est ce projet audacieux sur le plan technique et d'une grande fluidité intérieure qui a été retenu par le conseil municipal de Saint-Germain-en-Laye.

La réalisation du projet se divise en trois étapes majeures que sont respectivement le soutènement, le génie civil de la structure intérieure et les travaux des corps d'états techniques et secondaires.

La technique de la paroi clouée en béton projeté, rendue possible par les conditions hydrogéologiques, a été retenue pour minimiser les nuisances générées par les travaux et respecter le délai imparti. Il est à noter qu'en raison de la présence de réseaux enterrés à faible profondeur autour de l'ouvrage, un soutènement par paroi berlinoise a été réalisé sur les premiers mètres, le clouage n'étant pas possible. Au-dessous, le voile définitif de soutènement est réalisé en béton projeté par passes alternées dont les dimensions varient selon la stabilité des différentes couches de terrain. Ce voile est maintenu provisoirement par des ancrages passifs, encore appelés clous, constitués de barres HA de diamètre 32 mm ou 40 mm et dont la longueur n'empiète pas au-delà de l'aplomb des façades des bâtiments situées à une distance comprise entre 7 m et 10 m environ. Les clous sont inclinés à 20° ou 25° par rapport à l'horizontale. Le voile est ainsi réalisé jusqu'au fond de fouille (figure 3). La réalisation de la totalité du soutènement aura duré 6 mois.

La seconde étape, d'une durée de 9 mois, est celle qui consiste à construire la structure intérieure du parking, depuis le fond de fouille jusqu'à la surface. L'ouvrage est coiffé par la dalle de couverture prête à recevoir le futur aménagement de la place. De conception simple mais très efficace, la structure intérieure des niveaux courants se compose de poteaux et poutres en béton armé alignés sur une file centrale ainsi que de dalles alvéolaires appuyées d'une part sur cette file centrale et d'autre part sur le voile périmétrique. Elle dégage des

portées intérieures de 15 m entièrement libres qui permettent un stationnement aisé des véhicules. Les deux rampes hélicoïdales de desserte des niveaux, soit une rampe de montée et une rampe de descente, toutes deux de 4,00 m de large, sont constituées de poteaux, poutres et dalles en béton armé réalisés de manière traditionnelle. La dalle de couverture se distingue par une structure en poutres jumelées et prédalles précontraintes dimensionnées selon les charges supportées. Le projet comporte également des ouvrages annexes tels que les rampes d'entrée et de sortie du parking, les cages d'escaliers et d'ascenseurs, et encore les locaux techniques, ces derniers étant principalement réalisés en maçonnerie.

Enfin, la réalisation du projet s'est achevée en une troisième et dernière étape d'une durée d'un peu plus de 3 mois dédiée aux travaux des corps d'états techniques et secondaires. L'électricité, la ventilation-désenfumage

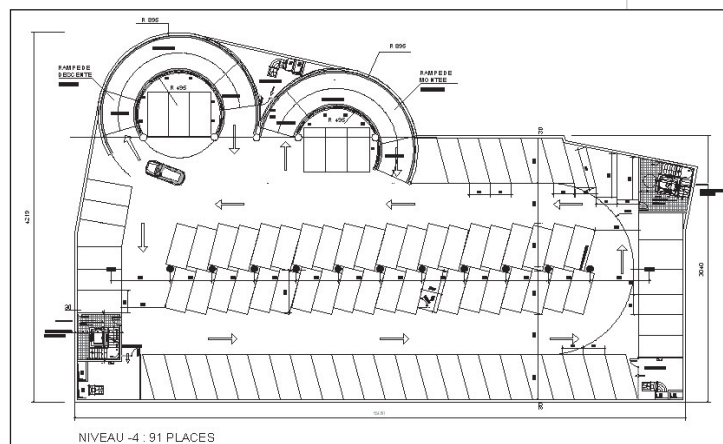


Figure 2

Vue en coupe du projet

Cross-section views of the project

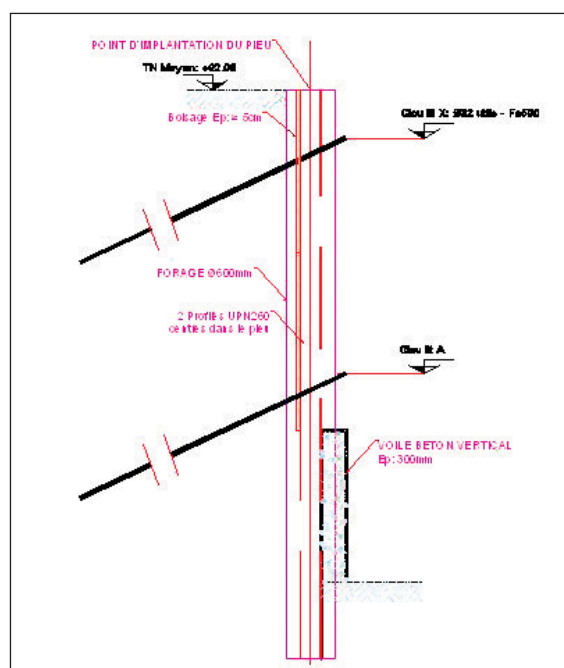


Figure 3

Principe de la paroi clouée en béton projeté

Shotcreted soil-nailed wall technique

Un parking royal à Saint-Germain-en-Laye

Figure 4

Principe de blocage des clous
Nail fastening technique

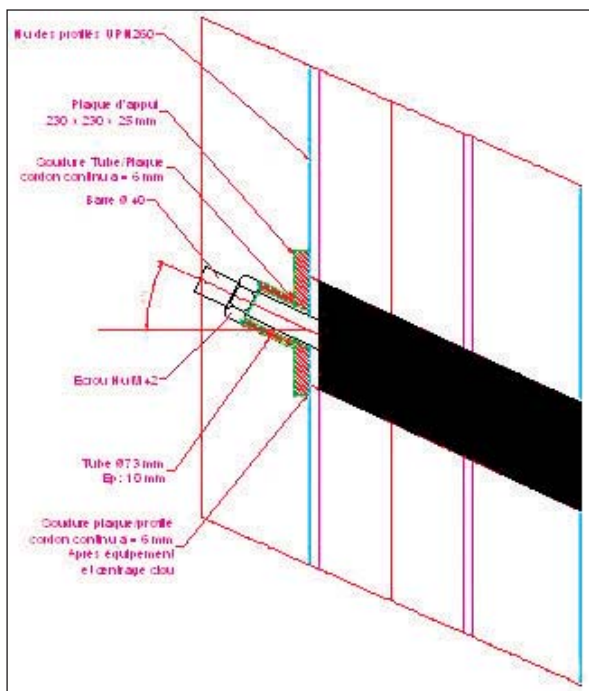


Figure 5

Liaisons d'appui des dalles alvéolaires côté paroi
Cellular slab support links on the wall side

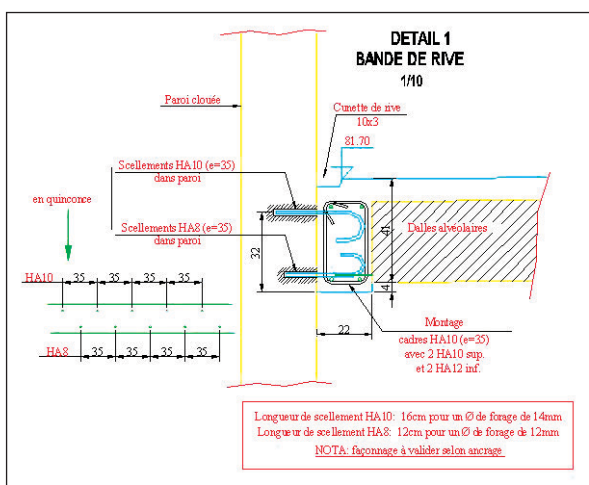
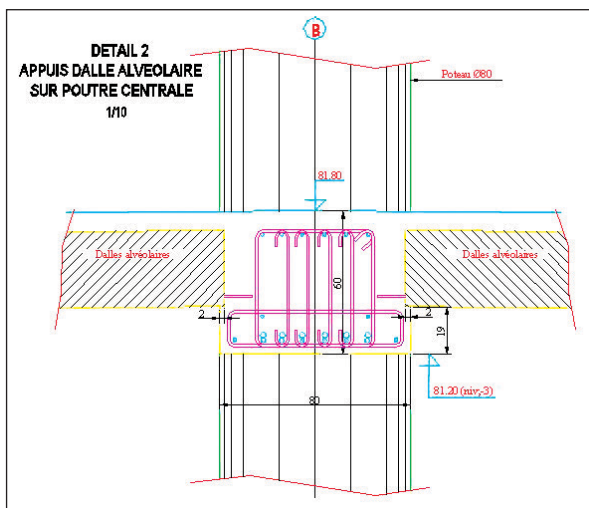


Figure 6

Liaisons d'appui des dalles alvéolaires côté file centrale
Cellular slab support links on the centre lane side



et la sécurité incendie obéissent aux normes et règlements garantissant la sécurité des utilisateurs. D'autres, tels que la métallerie, la menuiserie, la peinture et les divers revêtements sont réalisés selon les spécifications du contrat, dans le cadre de la charte graphique définie par le groupe hollandais Q-Park.

Conception du soutènement

La paroi de soutènement est une paroi mince de 0,30 m d'épaisseur qui se développe sur une longueur d'environ 210 m et dont la profondeur atteint 16 m par rapport à la surface du terrain naturel. Le ferrailage est constitué principalement de nappes de treillis soudé sur les deux faces accompagnées de renforts ponctuels lorsque c'est nécessaire. Le béton est de type B30. Celui-ci arrive par toupies et est déversé dans une trémie où il est repris par une pompe et envoyé jusqu'à la lance de projection. Le béton est projeté juste après la mise en place du ferrailage sur une bande de terrain excavée peu de temps avant. La projection se fait en général en deux passes. Les réservations en tube PVC pour les clous sont disposées au moment du ferrailage. L'opération se termine par un talochage manuel fin, le voile devant recevoir directement la peinture de finition.

Le soutènement est stabilisé horizontalement par clouage dans le terrain. Le rôle de ces clous est provisoire, la poussée sur la paroi étant reprise en phase permanente par les planchers et la dalle de couverture du parking.

Les clous sont au nombre de 850 répartis selon un maillage de 2 m x 2 m et positionnés dans la hauteur intercalaire entre les planchers afin de permettre leur dépose. Ce sont des barres HA de longueur variable et filetées aux extrémités en vue d'un manchonnage. Ces barres, munies d'écarteurs, sont enfilées au travers des réservations laissées dans le voile périmétrique après perforation puis scellés au coulis de mortier. Après durcissement du scellement, les plaques d'appuis en têtes des clous sont disposées en appui sur le voile. Un écrou est alors mis en place à l'extrémité filetée de la barre

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Terrassements : 39 000 m³
- Paroi en béton projeté : épaisseur 0,30 m, profondeur 16 m, surface 3350 m²
- Ferrailage : 50 t
- Clouage : 850 unités de 7 à 10 m de long
- Planchers en dalles alvéolaires : 10500 m² scellés en rive dans la paroi clouée, représentant plus de 5000 scellements

dépassant de plusieurs dizaines de centimètres du voile, puis un blocage sous une tension de quelques tonnes est effectué à la clé dynamométrique (figure 4).

Conception des planchers

Les planchers courants sont réalisés en dalles alvéolaires. Toute la difficulté est concentrée dans l'appui de ces dalles sur la paroi clouée. En effet, les niveaux de planchers n'étant pas définitivement connus lors de l'exécution de voile périmétrique, l'option de laisser des aciers en attente ou à déplier n'est pas retenue. Deux options sont alors étudiées : soit réaliser un corbeau filant scellé dans la paroi sur lequel viendraient s'appuyer les dalles alvéolaires, soit sceller les planchers directement dans le voile périmétrique au moyen d'une bande de rive coulée en place dans l'épaisseur du plancher. Les études confirment la faisabilité des deux méthodes. La seconde est alors choisie car elle offre un avantage esthétique et une meilleure rapidité d'exécution en contrepartie de la nécessité de réaliser quelque 5 000 scellements dans la paroi périmétrique. Côté file centrale, la liaison est réalisée par clavage au droit de la poutre centrale réalisée en préfabrication foraine de la poutre ferrillée munie d'une talonnette en partie inférieure pour l'appui des dalles (figures 5 et 6). L'opération se résume donc en : étaieusement des rives, pose des dalles, coffrage de la bande de rive côté paroi et coffrage de la poutre centrale, bétonnage de la dalle de compression et des zones de clavage.

■ Déroulement des travaux

Réalisation du soutènement

En mai et juin 2005, une campagne de reconnaissance complémentaire avait été effectuée par Solétanche Bachy afin d'affiner les méthodes de construction et de réaliser les études d'exécution. Les déviations de réseaux étaient réalisées dans le même temps.

Entre juillet et août 2005, les premières opérations débutaient avec notamment les forages, la mise en place et le scellement de la centaine de pieux berlinois du soutènement de tête. Peu de temps après, les premiers engins de terrassements faisaient leur apparition accompagnés de la noria des camions d'évacuation des déblais. Simultanément, le blindage en bois entre les profilés était réalisé.

En septembre 2005, l'exécution de la paroi clouée en béton projeté commençait avec un atelier de projection et deux ateliers de clous. Un matériel de forage compact et maniable a été utilisé pour tenir compte de la place disponible dans la fouille. La méthode de forage utilisée a été la rotopercussion au taillant trilame

de diamètre 127 mm avec injection d'eau. Le phasage d'exécution était le suivant : terrassement d'une passe de voile, ferrailage et mise en place des réservations, bétonnage par projection en deux passes puis talochage, forage des clous au travers des réservations, équipement et scellement des forages et, après un délai de séchage, mise en place des têtes de clous et blocage. L'opération était répétée par passes alternées afin de ne pas déstabiliser le terrain en place. Une passe inférieure ou adjacente n'était jamais réalisée avant blocage des clous de la passe immédiatement supérieure ou adjacente.

La longueur de forage était particulièrement surveillée en raison de l'interdiction de passer sous les bâtiments mitoyens.

En janvier 2006 la fouille était entièrement terrassée et les 850 clous répartis sur huit lits maintenaient les parois en place (photo 2).



Réalisation de la structure intérieure

La grue à tour a été installée au milieu de l'ouvrage en raison du manque de place à l'extérieur. Le phasage de construction est le suivant : réalisation des semelles isolées sous poteaux et des semelles filantes sous les voiles, suivie de l'exécution des réseaux sous dallage destinés à collecter les différentes eaux du parking (EU, EV, EP) et à les acheminer vers une fosse enterrée et équipée de pompes de relevage sur le réseau communal d'assainissement. Le dallage a été coulé immédiatement après, suivi par les poteaux circulaires de diamètre 800 mm de la file centrale du dernier sous-sol réalisés en béton armé à l'aide de coffrages réutilisables. Les poteaux de dimensions inférieures ont été réalisés simultanément à l'aide de coffrages en carton. Les poutres de la file centrale servant d'assise aux

Photo 2

Le chantier en fin de phase de soutènement

The site at the end of the supporting structure stage

Un parking royal à Saint-Germain-en-Laye

Photo 3

La dalle de couverture en cours de réalisation

The cover slab undergoing construction



Photo 4

Vue d'un niveau fini

View of a finished level



▶ dalles alvéolaires des planchers sont mises en place entre les poteaux. Il s'agit de poutres en T inversé, la partie horizontale du T étant préfabriquée sur site avec les aciers de la partie verticale. Les dalles alvéolaires sont ensuite mises en place sur un étaie-ment de rive provisoire. La bande de rive côté paroi est coffrée puis ferrillée y compris les scellements de liaison. Le bétonnage de la dalle de compression et des zones de clavage en extrémités est exécuté en dernier lieu. Les ouvrages annexes que sont les cages d'escaliers, rampes, gaines techniques, etc. ont été réalisés en parallèle de manière traditionnelle. L'ensemble de ces opérations a été répété sur les cinq niveaux que comporte le parking. La dalle de couverture, de conception spécifique a été réalisée en structure poutres jumelées et prédalles pré-contraintes. Les poutres mises en place à la grue reposent d'une part sur la file centrale de poteaux et

poutres et d'autre part sur la paroi périmétrique, dans des engravures réservées dans l'épaisseur du voile (photo 3).

Réalisation des corps d'état technique et secondaire

Une fois l'ouvrage clos et couvert, les travaux des corps d'état technique et secondaire ont pu commencer. Il s'agit principalement des installations techniques parmi lesquelles l'électricité, dont le câblage et la mise en place dans les chemins de câbles suspendus est longue et fastidieuse, ainsi que les installations de ventilation-désenfumage dans les gaines techniques ou encore de plomberie-sanitaires avec les passages des premiers réseaux dans les réservations. L'installation des ascenseurs attendra que l'intégralité des gaines techniques soit réalisée.

Pour ce qui est des lots architecturaux, les premières interventions surviennent un peu avant la fin des travaux de génie civil, d'autant plus qu'une grande partie est concentrée au premier sous-sol dans les locaux d'exploitation du parking. Les équipes de gros œuvre laissent alors peu à peu place aux peintres, carrelers et autres menuisiers qui ont en charge d'habiller l'ouvrage aux couleurs du client. Les dernières touches fonctionnelles telles que la signalisation, le contrôle d'accès ou encore la signalétique conservés par le client à sa charge, viennent parachever le travail (photo 4).

■ Conclusion

Cette réalisation est exemplaire à trois titres au moins. Elle illustre l'efficacité d'une équipe pluridisciplinaire composée d'un exploitant, d'un architecte, d'un bureau d'études et d'une entreprise pour proposer une offre cohérente relevant le défi de conditions assez particulières.

Elle démontre la performance d'une entreprise générale de travaux et technologies du sol capable de réaliser un ouvrage complet clés en main en optimisant les travaux géotechniques qui sont les plus délicats tant du point de vue de la conception que de la réalisation et en gérant leur coordination avec les travaux de génie civil et de terrassement, sans conflits puisqu'elle réalise l'ensemble.

Enfin, elle récompense par un succès total quant à la qualité technique, au respect des délais et des contraintes environnementales draconiennes, la maîtrise parfaite de chaque intervenant de son domaine d'excellence. L'équipe a gagné parce qu'elle ne comportait pas de maillon faible.

Le parking a été inauguré et ouvert au public début



Photo 5

La place du Marché neuf après les travaux
The new Market Square after the work

février après 18 mois de travaux seulement. La place désormais libérée des voitures en stationnement, ornée de magnifiques aménagements architecturaux (photo 5), a été inaugurée le 4 avril 2007. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Donneur d'ordre général : Ville de Saint-Germain-en-Laye
- Maître d'ouvrage délégué : Q-Park France Concessionnaire
- Architecte : Thierry Beaulieu
- BET : Beaulieu Ingénierie (structure) - AC Ingénierie (fluides)
- Entreprise générale : Solétanche Bachy France - Pôle Projets Intégrés

ABSTRACT

A royal car park in Saint-Germain-en-Laye

J. Guillemin, P. Divet, J.-P. David,
Th. Beaulieu

In 2004, the town of Saint-Germain-en-Laye took the decision to create a new underground car park with 411 parking spaces on five levels right in the heart of the town, under the new Market Square, in the protected historic area. In this context where there are numerous constraints, the structure must be built using methods allowing building to be done quickly while generating few nuisances.

As there is no water in the ground, the perimeter supporting structure is executed by the soil-nailed wall technique. Of simple but highly effective design, the inner structure is formed of columns, girders and cellular slabs giving 15-metre span lengths free of any obstacle. The cover slab, on which the new Market Square is developed, features a structure of twin girders and prestressed formwork slabs.

The car park was constructed by Solétanche Bachy under a prime contract on behalf of Q-Park France, delegated public service operator for a period of 35 years. It was inaugurated in early February 2007 after slightly more than 18 months' work carried out at a sustained pace while strictly protecting this extremely sensitive environment.

RESUMEN ESPAÑOL

Un aparcamiento real en Saint-Germain-en-Laye

J. Guillemin, P. Divet, J.-P. David
y Th. Beaulieu

En 2004, la ciudad de Saint-Germain-en-Laye tomó la decisión de crear un nuevo aparcamiento subterráneo de 411 plazas sobre cinco plantas en pleno centro de la ciudad, debajo la plaza del Mercado nuevo, en el sector salvaguardado. En este contexto que acumula las limitaciones, la construcción de la obra precisa el empleo de métodos que permiten la construcción rápida y generando además poca molestia.

Dado que no hay agua en el terreno, la contención perimétrica se ejecuta mediante la técnica de la pared enclavada. De diseño simple pero sumamente eficaz, la estructura interior se compone de postes, vigas y losas celulares que pueden alcanzar luces de 15 m libres de cualquier obstáculo. La placa de cubierta, en la que se ejecuta la reestructuración de la plaza del Mercado, se destaca por una estructura en vigas gemelas y losas prefabricadas.

La construcción del aparcamiento se lleva a cabo por Solétanche Bachy en el marco de un contrato de empresa general por cuenta de Q-Park France, delegatario de servicio público por un plazo de 35 años. Este aparcamiento se inauguró a principio de febrero de 2007 tras un poco más de 18 meses de trabajos llevados a cabo según una cadencia sostenida con el estricto respeto de un entorno extraordinariamente sensible.

Une berlinoise de Industria Minerve

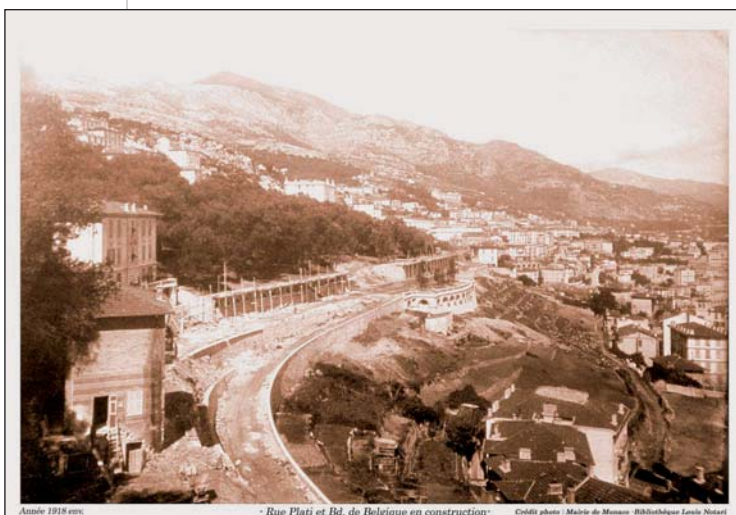
Berlin est une bien belle ville, au passé glorieux et mouvementé, célèbre entre autres par son mur dit « de Berlin » de sinistre mémoire et aussi par sa paroi dite « berlinoise » dont la renommée, plus étroite que celle du mur, touche le milieu savant des travaux géotechniques.

Les connaisseurs savent que la famille des parois de soutènement composites compte aussi la parisienne, la lutétienne et la moscovite.

Monaco n'a certainement rien à envier à Berlin, à bien des égards. Dans le domaine de la géotechnique, la berlinoise y a fait florès et donne lieu à des applications de plus en plus exceptionnelles par leur audace, à tel point qu'on peut s'attendre à ce qu'elles soient un jour consacrées – pourquoi pas – par l'appellation de « paroi monégasque ».

Cet article décrit un soutènement en paroi berlinoise sur une hauteur record de 26 m et autres pieux de fondation. Les travaux spéciaux ont été réalisés par Solétanche SAM pour le projet immobilier de Samegi à l'emplacement des anciens ateliers Industria et Minerve à Monaco.

La conception et les calculs sont du bureau d'études de Solétanche Bachy. Dans une zone où la longueur des tirants pour l'ancrage du soutènement était réduite à cause des contraintes d'emprise, un véritable défi technique a été relevé en toute sécurité en appliquant la méthode observationnelle.



Atteint 1918 env.

Rue Plati et Bd. de Belgique en construction

Cédité photo : Musée de Monaco - Bibliothèque Lucien Nézet

Photo 1

Le site en 1928

The site in 1928



Photo 2

Le site en 2005

The site in 2005

Après des décennies d'urbanisation croissante, le visage de la Principauté a bien changé. L'extrême rareté des terrains en général et des surfaces planes en particulier font de Monaco un remarquable terrain d'exercice pour les techniques de soutènement.

■ Un peu d'histoire

Une carte postale de 1928 nous montre le boulevard de Belgique et la rue du Plati dans le quartier du Jardin Exotique (photo 1). Ce boulevard, qui mène à l'hôpital Princesse Grâce est bordé côté amont par le parc Princesse Antoinette. On y voit son mur de soutènement aval en cours d'édification. De nombreuses villas se distinguent au loin. Il est bordé de champs en terrasse. La hauteur des bâtiments n'est que de quelques mètres.

En septembre 2005 ce quartier de la Principauté de Monaco a beaucoup évolué (photo 2). Les bâtiments ont maintenant cinq à six niveaux.

La croissance de la Principauté et le souhait d'accompagner ce développement en offrant des logements neufs à une plus grande partie de la population ont conduit le Gouvernement à lancer un plan de construction de mille logements domaniaux. Ces nouveaux ensembles immobiliers se devront d'offrir de nombreuses places de stationnement en sous-sol.

■ Le projet immobilier

Le projet immobilier conçu par Samegi, maître de l'ouvrage, consiste à bâtir, sur un terrain de 4200 m² environ,

26 mètres à Monaco :



Nicolas Pich
Ingénieur Travaux
Solétanche Bachy
France



Christophe Dauchy
Directeur
Solétanche SAM
(Monaco)

quatre immeubles de type R+5 à R+13 comportant 148 logements et 267 places de parking sur deux niveaux de sous-sols. Cet ensemble est construit à l'emplacement des anciens ateliers Industria et Minerve sur le toit desquels – pour la petite histoire – des courts de tennis en terre battue avaient été aménagés. Le Palais Princier n'est pas loin. Les futurs locataires pourront jouir d'une vue imprenable sur le port Hercule et sur le Rocher.

Les travaux de construction sont réalisés par l'entreprise générale Smetra. Celle-ci a sous-traité les démolitions, le soutènement, les fondations profondes et le terrassement au groupement Solétanche SAM/Alberti SAM. Ces travaux sont réalisés au forfait dans un délai global de 14 mois. Le montant des travaux spéciaux est de l'ordre de 15 millions d'euros.

Le projet de travaux spéciaux comporte la réalisation des soutènements définitifs et porteurs, des micro-pieux, des pieux, du béton projeté et des tirants ainsi que des fondations profondes (photo 3). Les travaux de terrassement comprennent la démolition des anciens bâtiments avec le concassage sur place des matériaux (photo 4). Ils comprennent aussi le terrassement de la fouille au fur et à mesure de l'avancement des soutènements et l'évacuation des déblais en décharge.

■ Les contraintes du projet

Les principales contraintes sont celles que l'on retrouve dans de nombreux ouvrages de soutènement monégasques : un site pentu présentant une forte dénivellation, un accès malaisé, un environnement habité, une géologie difficile.

Photo 3

Forage de pieux de fondation
Foundation pile drilling



La complexité géologique nécessite de nombreuses et précises investigations : sondages de reconnaissance réalisés lors de la conception du projet et sondages complémentaires pour affiner le dimensionnement des ouvrages en cours de travaux. La reconnaissance procède par sondages pressiométriques, sondages carottés, sondages manuels pour identifier les fondations des mitoyens.

Les terrains en présence sont des éboulis marno-calcaires surmontant un substratum marno-calcaire avec fort pendage. La position du substratum est très variable avec un dénivelé de près de 50 m sur une fouille de 130 m de longueur.

■ Le soutènement

Le soutènement, dont la hauteur atteint 26 m, se compose d'éléments porteurs métalliques mis en place dans des forages et scellés au terrain. Ce sont, soit des profilés, soit des tubes. Un voile en béton projeté est réalisé entre les éléments porteurs. Plusieurs lits de tirants et de butons soutiennent l'ensemble.

Le terrassement est effectué par passes descendantes, de hauteur variable de 2 à 3 m environ. La largeur des passes est également variable en fonction de la cohésion à court terme des terrains rencontrés. L'épaisseur du voile est de 40 cm en moyenne, réalisée en deux ou

Photo 4

Démolitions
Demolition



Une berlinoise de 26 mètres à Monaco : Industria Minerve



Photo 5
Béton projeté
Shotcrete

trois couches (photo 5). Elle est augmentée à 60 cm dans certaines zones dépourvues de tirants d'ancrage. Le taux de ferrailage atteint 150 kg à 200 kg/m³.

La reprise des efforts verticaux est réalisée par des profilés métalliques de forte inertie type HEB 300 ou HEB 400 mis en place dans des forages de diamètre 800 mm et de profondeur variant de 15 à 38 m. Ces profilés peuvent reprendre une partie ou la totalité des charges verticales de l'ouvrage définitif.

Ces efforts peuvent également être repris par des tubes métalliques de forte section, diamètre 177,8 mm et épaisseur de 20 mm à 25 mm voire plus (photo 6). Dans ce dernier cas on désigne le soutènement sous l'appellation de « microberlinoise ».

Les poussées horizontales du terrain sont reprises par plusieurs lits de tirants inclinés de 15° à 45°. Certaines zones présentent plus de 10 lits de tirants dont la force de précontrainte atteint 120 t. Dans les angles, on remplace les tirants par des butons en métal ou en béton armé et

parfois des bracons appuyés en fond de fouille (photo 7). Les butons en béton armé sont intégrés à la structure définitive.

Le soutènement berlinois, qui ne nécessite que des plates-formes de travail de dimensions réduites, est bien adapté aux travaux à flanc de colline. Il permet d'implanter le projet au plus près des ouvrages mitoyens. Il présente cependant le risque de décompresser le terrain pendant la phase de réalisation du voile de soutènement

et de tassement des constructions mitoyennes, risque que l'on maîtrise par une bonne coordination entre les passes de terrassement et la réalisation du voile béton suivie de son ancrage (photo 8).

■ Tolérance de déplacement des constructions mitoyennes

Les tolérances de déplacement des ouvrages mitoyens sont de 10 mm de tassement maximum absolu et de 5 mm de tassement différentiel. Leur modélisation est délicate en raison de la connaissance imparfaite dont on dispose quant à la configuration de ces fondations existantes, malgré les reconnaissances approfondies (photo 9).

■ Adaptation des méthodes de calcul

On utilise pour le dimensionnement du soutènement des méthodes de calculs à deux dimensions. Les différentes phases de travaux, le terrassement par passes, la mise en tension des tirants, la construction du bâtiment et la détente des tirants sont modélisés. La stabilité générale des ouvrages et le dimensionnement des éléments porteurs, avec prise en compte des effets du séisme sont pris en compte. Ces facteurs sont largement dimensionnants. La vérification de la stabilité des ouvrages mitoyens et le calcul de leur tassement font appel notamment au programme de calcul PARIS de Solélanche Bachy.

En raison de la complexité des conditions et de l'imprécision qui règne quant à la définition des mitoyens, il est indispensable de vérifier pas à pas, pendant les travaux, que les prédictions par le calcul et le comportement réel des ouvrages correspondent : on utilise alors la méthode observationnelle.

■ La méthode observationnelle

Cette méthode de dimensionnement est utilisée sur de nombreux ouvrages construits en Principauté de Monaco où les caractéristiques géotechniques sont difficiles à appréhender, les tolérances de déplacement faibles et les ouvrages mitoyens mal connus.

Le principe est que la conception de l'ouvrage peut être modifiée en cours de travaux selon le comportement observé.

La méthode a cependant les exigences suivantes à satisfaire avant le début de la construction :

- définir les limites du comportement acceptable de l'ouvrage à construire et des ouvrages mitoyens ;

Photo 6

Essai de flexion sur un tube de micropieu
Bending test on a micropile tube



- analyser les comportements possibles et montrer qu'il existe une bonne probabilité que le comportement réel soit compris dans le domaine des comportements acceptables;
- concevoir et mettre en œuvre un plan d'instrumentation et de surveillance;
- définir un plan d'actions de sauvegarde.

Ces exigences sont à remplir par la maîtrise d'œuvre ou l'entreprise.

Elles se poursuivent par d'autres exigences pendant la construction :

- suivre les déplacements de l'ouvrage tels que planifiés;
- analyser le résultat de ces observations à chacune des étapes du projet;
- mettre en œuvre le plan de sauvegarde si on sort des limites autorisées.

Elles prennent concrètement les formes suivantes :

- définir avec le maître d'œuvre le plan d'instrumentation et de surveillance;
- calculer les déplacements de l'ouvrage à chaque phase des travaux;
- définir un seuil d'alerte (nécessitant un renforcement des mesures) et un seuil d'intervention nécessitant des mesures correctives;
- installer l'instrumentation prévue et faire les mesures;
- vérifier que les seuils d'alerte définis ne sont pas dépassés.

Ainsi, sur ce projet, près de 200 cibles topographiques sont installées sur les ouvrages environnants et les ouvrages en construction. Près d'une vingtaine d'inclinomètres sont mis en place dans le soutènement ou en arrière du soutènement et relevés à intervalles réguliers. De nombreux tirants sont équipés de cales dynamométriques à lecture déportée. Tous ces moyens de mesure permettent de recouper les informations et d'analyser en temps réel le comportement de l'ouvrage.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Micropieux : 172 unités, 2700 m, 169 t de tube acier
- Pieux Ø 800 mm et profilés pour paroi berlinoise : 68 unités, 1575 m, 230 t de profilés
- Voile en béton projeté d'épaisseur 40 cm et 60 cm : 5 100 m², 250 t d'armature
- Tirants précontraints comportant 5,6,7,9,10 T15 : 387 unités, 6500 m
- Butons et bracons : 67 unités
- Démolition concassée sur place : 8 100 m³
- Terrassement dans les éboulis : 41 000 m³
- Terrassement dans le rocher : 20 000 m³
- Pieux Ø 800 mm et Ø 1000 mm pour fondations : 172 unités



Photo 7
Butons et bracons
côté nord
*Stays and braces
on the northern side*



Photo 8
Terrassements
Earthworks



Photo 9
Fouille en vue
plongeante
*Plunging view
of excavation*

Une berlinoise de 26 mètres à Monaco : Industria Minerve



Photo 10

Vue générale du soutènement de 26 m de haut
General view of the 26-metre-high supporting structure

► Ils permettent également, par rétro-analyse, d'affiner les caractéristiques géotechniques et de renforcer, si nécessaire, l'ouvrage en vue des phases suivantes et de respecter les limites admises pour le déplacement des ouvrages mitoyens (photo 10).

Dans le cas d'espèce, la zone dite « Plati » présentait une difficulté importante en raison de la grande proximité des mitoyens. En effet, les contraintes de limite de propriété ne permettaient pas de réaliser des tirants d'une longueur suffisante pour garantir l'absence de déplacement d'ensemble.

Les limites admissibles n'ont pu être respectées qu'en jouant sur les effets tridimensionnels sous couvert de la méthode observationnelle. ■

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage

Samegi

Maître d'œuvre

Cabinet Cureau et cabinet Notari

Bureau de contrôle

Apave SAM

Bureau d'études géotechniques

Arcadis

Bureau d'études structures

JM Perissol

Entreprise générale

Smetra

Sous-traitant démolitions-terrassement

- Soutènements et fondations spéciales : groupement Solétanche SAM/Alberti SAM
- Sous-sous-traitant pieux : Solétanche Bachy Pieux
- Sous-sous-traitant béton projeté : SIF Groutbor (groupe Solétanche Bachy)

ABSTRACT

A 26-metre Berlin-type retaining wall in Monaco : Industria Minerve

N. Pich, Ch. Dauchy

Berlin is a very beautiful city, with an eventful and glorious past, famous among other things for its ill-famed "Berlin Wall" and also for its so-called "Berlin-type retaining wall", less renowned than the Berlin Wall, and known chiefly to the geotechnical engineering world.

Connoisseurs know that the family of composite retaining walls also includes the Parisian, Lutetian and Moscow type walls.

Monaco certainly has nothing to envy Berlin, in many respects. In the field of geotechnics, the Berlin-type retaining wall has been in vogue there, giving rise to applications that are ever more extraordinary in their boldness, to such an extent that they can be expected one day (why not?) to be called "Monegasque type retaining wall".

This article describes a Berlin-type retaining wall supporting structure to a record height of 26 metres and other foundation piles. The special works were performed by Solétanche SAM for the Samegi real estate project on the location of the former Industria et Minerve workshops in Monaco.

Design and computation was performed by the Solétanche Bachy engineering office. In an area in which the length of the tension members for anchoring the supporting structure was restricted by constraints of available land, a veritable technical challenge was taken up in complete safety by applying the observational method.

RESUMEN ESPAÑOL

Una pantalla de unión entre pilares de 26 metros en Mónaco : Industria Minerva

N. Pich y Ch. Dauchy

Berlín es una bonita ciudad, con un pasado glorioso y perturbado, célebre entre otras por su muro denominado "de Berlín" de recuerdo deplorable y también por su pared denominada "berlinesa" cuyo renombre, más reducido que el muro, atañe al mundo de sabio de los trabajos geotécnicos.

Las personas enteradas saben que la familia de las paredes de contención compuestas incluye además la "parisiense", la "lutétienne" y la "moscovita".

Con toda certeza, Mónaco no parece a Berlín, y eso en muchos aspectos. En el ámbito de la geotécnica, la berlinesa tuvo mucho éxito y ha dado lugar a diversas aplicaciones siempre más extraordinarias por su audaz, y en este caso se puede esperar que se consagren un día – cómo no – por la denominación de "pared monegasca".

El presente artículo describe un muro de contención formadas por pantalla berlinesa sobre una altura récord de 26 m y otros pilotes de cimentación. Los trabajos especiales fueron ejecutados por Solétanche SAM para el proyecto inmobiliario de Samegi en el emplazamiento de los antiguos talleres de Industria y Minerve en Mónaco.

El establecimiento del concepto y los cálculos procedieron de la oficina de estudios de Solétanche Bachy. En una zona en que la longitud de los tirantes estaba reducido con motivo de restricciones de dominio, un verdadero reto técnico que ha aceptado con toda seguridad aplicando el método observacional.

Recycan® et Viagrip®, un procédé et un produit Eurovia pour zones urbaines

Eurovia, un des leaders mondiaux des travaux publics, développe une large gamme de produits et procédés dédiés à la route et à l'aménagement des espaces urbains.

Parmi celle-ci, le Recycan® comme le Viagrip® offrent des caractéristiques particulièrement adaptées aux problématiques de l'aménagement urbain. Rationalisation des espaces et du temps dédiés aux travaux pour minimiser la gêne aux riverains, c'est un des principaux atouts du procédé de remblaiement de tran-

chées Recycan®. Viagrip® permet lui, de sécuriser les zones accidentogènes de façon très efficace. En zone urbaine et à 50 km, Viagrip®, revêtement à haute adhérence, diminue de près de 3 m la distance de freinage, soit la longueur d'un passage piéton.

De la gestion optimisée de ses chantiers au développement de produits et procédés de haute technologie, Eurovia s'engage aux côtés de ses clients pour la sécurité et le confort des usagers.

Avec Recycan®, même la terre est recyclable...

Christophe Jeannon
Directeur
Leschel et Millet TP

Luc Moussu
Directeur Technique
Auvergne-Rhône-Alpes
Eurovia Management

Le traitement des matériaux sur les chantiers de travaux publics est couramment employé et, environnement oblige, constitue une solution le plus souvent incontournable avec à la clé, notamment, la préservation des ressources naturelles et une diminution du flux du trafic routier.

Depuis quelques années, les techniques de recyclage des matériaux issus des tranchées de chantiers de réseaux divers se développent mais sont le plus souvent réalisées sur des plates-formes plus ou moins éloignées des chantiers. De ce fait, les avantages environnementaux liés aux transports sont limités.

Pour la phase de remblaiement des tranchées, le compactage et la sécurité demeurent des points sensibles. C'est dans cette optique que les techniques de

remblais auto-compactants ont apporté des réponses. De ce constat, Eurovia a mis au point, depuis fin 2000, un procédé original : le Recycan®. C'est un coulis élaboré *in situ* par traitement au ciment des déblais extraits de la tranchée et réutilisés pour le remblaiement de celle-ci. La fabrication du produit est réalisée directement sur le chantier à l'aide d'un matériel exclusif.

■ Les principes du procédé

Recycan® est thixotrope, fluide à la mise en œuvre, il ne nécessite pas de compactage. Il assure l'enrobage continu et uniforme des canalisations, ainsi que le remblaiement homogène de la tranchée, et ce, dans ses moindres recoins. Non essorable, il ne restitue pas d'eau lors de sa prise et s'accommode de toutes les géométries de terrain. C'est un matériau incompressible, résistant, mais néanmoins excavable sans matériel spécifique; son excavabilité est « facile » à « moyennement facile » au sens du document du Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les cons-



Photo 1
Machine Recycan®
Recycan® machine

Recycan® et Viagrip®, un procédé et un produit Eurovia pour zones urbaines

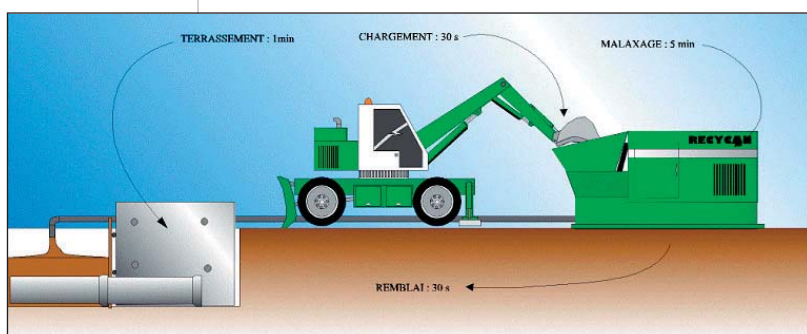


Figure 1
Schéma de principe
Schematic diagram

Libellé	Solution de base	Variante Recycan
Déblais évacués en décharge (m ³)	3800	700
Distance parcourue par les camions (km)	22000	5200
Consommation de carburants (l)	10000	2400
Compactage (en dB)	90	Néant
Vibrations des engins de compactage	importante	Néant

Tableau I
Comparatif d'une solution de base et variante Recycan®
Comparison of a standard technique and Recycan® variant



Photo 2
Vue d'ensemble d'un atelier type
General view of typical equipment



tructions publiques (Certu) « Remblayage des tranchées » de juin 1998.

Recycan® est formulé afin d'être suffisamment fluide pour être pompable et enrober les canalisations. Ses performances mécaniques doivent permettre d'obtenir un matériau sans fissuration ni retrait, et une tenue pérenne sous trafic, tout en restant excavable. Pour cela, à la différence des chantiers traditionnels, une reconnaissance approfondie des matériaux en place est nécessaire pour apprécier les caractéristiques géotechniques (nature, granularité, teneur en eau, argilosité, etc.).

Pour tenir compte de l'environnement urbain, Eurovia a imaginé une machine de fabrication compacte, très mobile, peu encombrante et silencieuse. Le procédé Recycan®, comprend les principales étapes suivantes (figure 1) :

- excavation de la tranchée d'assainissement ;
- alimentation de la station de recyclage ;
- criblage et réduction de la granularité du déblai ;
- malaxage avec un apport de liant hydraulique, d'eau et de fibres permettant d'obtenir un matériau auto-compactant, dont les dosages sont issus de l'étude de laboratoire ;
- pompage du produit directement vers la tranchée par la machine.

■ Les avantages du Recycan®

Recycan® principalement destiné au remblaiement de tranchées peut aussi être employé également sur d'autres configurations comme les élargissements de chaussées par exemple.

Eurovia dispose aujourd'hui de plusieurs machines réparties sur le territoire national au travers de filiales spécialisées en réseaux. La volonté et l'intérêt manifestés par un grand nombre de donneurs d'ordres permettent aujourd'hui de présenter de multiples références de chantiers de toutes natures.

Remblai écologique par nature, Recycan® s'inscrit dans une démarche de développement durable visant à :

- valoriser des matériaux qui jusqu'à présent étaient destinés à être évacués en décharge ;
- économiser les ressources en matériaux naturels ;
- réduire les nuisances liées au transport des matériaux.

Les spécificités de Recycan® en font un produit essentiellement à usage urbain. Comparable à la technique de remblaiement en béton de tranchées son coût reste néanmoins très inférieur.

En fonction de l'éloignement des ressources en matériaux d'apport, du coût de mise en décharge, Recycan® rivalise économiquement avec les méthodes traditionnelles et devient encore plus compétitif en intégrant :

- les coûts directs du chantier y compris la mise en œuvre immédiate d'une couche de roulement définitive (absence de tassement et donc de réfection provisoire en enrobés à froid);
- les coûts indirects tels que la dégradation des voiries utilisées par la diminution du trafic poids lourds de 70 %.

Apprécié par les collectivités, Recycan® est un procédé qui se développe sur l'ensemble du territoire et qui répond parfaitement aux contraintes environnementales.

Vis-à-vis des riverains, Recycan® contribue à :

- diminuer la gêne par l'absence de matériaux sur chantier;
- supprimer les nuisances vibratoires de compactage;
- limiter les nuisances liées à la circulation d'engins;
- améliorer la sécurité par un chantier entièrement fermé;
- il n'y a pas de ré-intervention pour la couche de roulement définitive;

- valoriser l'image des travaux de réseaux qui sont généralement mal perçus.

■ Exemple d'application : traversée d'Unieux

Lors des travaux de rénovation des réseaux (EU, EP et AEP) de la requalification de la rue Pasteur, la commune d'Unieux (maître d'ouvrage) et la DDE de Saint-Étienne (maître d'œuvre) ont confié en 2006, le chantier en variante à la filiale L.M.T.P dont la proposition répondait au mieux aux impératifs fixés dans l'appel d'offres : réduire au maximum la gêne des riverains et des usagers pendant la durée des travaux.

Le comparatif des principales valeurs caractéristiques entre le Recycan® et la solution de base est présenté dans le tableau I.

Ce chantier a reçu le prix du concours environnement FNTP 2006 sur le thème : « Les économies d'énergies et de matériaux sur un chantier de travaux publics »

Viagrip® : un revêtement haute performance

Daniel Lagel
Chef d'agence GTU

Pour sécuriser les zones accidentogènes sur route comme en milieu urbain, Eurovia a développé Viagrip®, un revêtement à haute adhérence. En réduisant fortement les distances de freinage, Viagrip® assure la sécurité des zones sensibles en ville comme les abords de passages piétons.

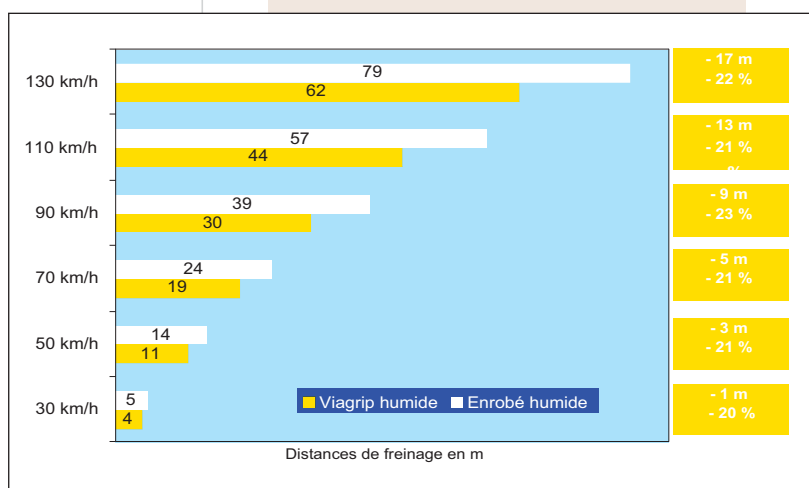
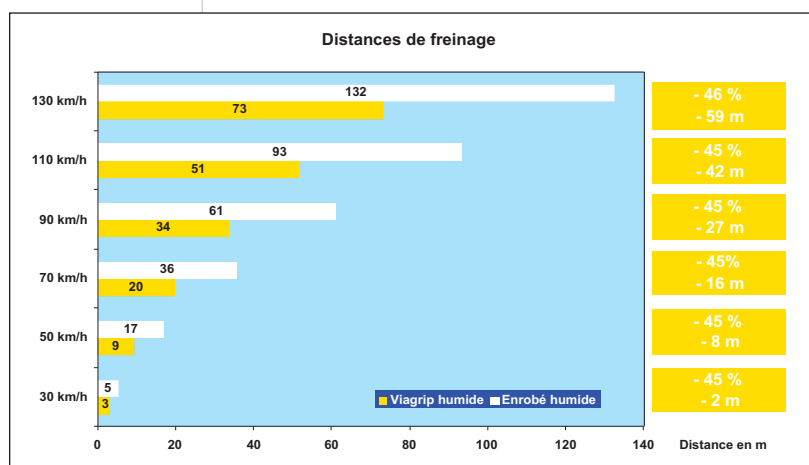
Photo 3

Sécurisation des abords du tram-train de Bondy en Viagrip® scintillant

Improving the safety of tram-train surrounds in Bondy with glittering Viagrip®



Recycan® et Viagrip®, un procédé et un produit Eurovia pour zones urbaines



Figures 2 et 3

Chiffres clés du Viagrip®. Distances de freinage : sans ABS et avec ABS

Key figures concerning Viagrip®. Braking distances : without ABS and with ABS

■ Composition et caractéristiques

Viagrip® est un enduit superficiel monocouche simple gravillonnage à haute performance dans le domaine de la rugosité et de l'adhérence.

Il est constitué d'un liant de type bitume-époxy bi-composant et d'un granulat de synthèse (bauxite calcinée à 1600 °C).

La bauxite est le plus souvent de granulométrie 1/3 mm et présente des qualités mécaniques optimales avec une exceptionnelle tenue au polissage (PSV > 60) et une très grande résistance à l'abrasion (MDE < 10), caractéristiques impossibles à obtenir avec un granulat naturel.

Cette association conduit à un revêtement présentant des performances d'adhérence immédiates et durables,

essentielles pour le traitement pérenne de toutes les zones accidentogènes.

Eurovia a également développé une répandeuse spécifique unique en France, conçue pour stocker les deux composants du liant, les chauffer, les mélanger et les répandre par pulvérisation sur la chaussée.

Ce revêtement permet de traiter tous les types de zones accidentogènes : virages dangereux, pentes à forte déclivité, zones de freinage, abords de feux tricolores, aires de péage, carrefours, approches de giratoire et de passages piétons...

Viagrip® est imperméable, insensible aux sels de déverglaçage et présente une bonne tenue aux hydrocarbures. La nature du liant assure une absence totale de ressuage et la qualité des granulats garantit la durabilité des caractéristiques de surface.

■ Un produit adapté aux zones urbaines

Pour mesurer l'efficacité du produit, Eurovia a réalisé une zone de test en Viagrip® sur le circuit du CERAM à Mortefontaine dans l'Oise.

Cette section permet de recréer artificiellement les conditions de conduite par temps de pluie, et ainsi d'obtenir un comparatif précis entre Viagrip® et un enrobé traditionnel dans les mêmes conditions de conduite.

Les résultats (figures 2 et 3) ont montré une amélioration des distances de freinage entre Viagrip® et enrobés pouvant aller jusqu'à 45 %.

Les valeurs suivantes ont été mesurées sur un revêtement Viagrip® âgé de 6 mois :

- CFL : 0,72 à 70 km sur Viagrip® ;
0,28 à 70 km sur support en enrobé 0/10 ;
- SRT : 0,92 sur Viagrip® ;
0,54 sur enrobé support ;
- PMT : 1,80 mm sur Viagrip® ;
1,08 mm sur enrobé support.

De plus, Viagrip® conserve toutes ses qualités sur chaussée humide, les distances de freinage restant identiques par temps sec ou par temps de pluie.

Depuis 2001, Eurovia a réalisé plus de 200 000 m² de ce type de revêtement en France, notamment sur des bretelles autoroutières en Île-de-France et en région Centre, des sécurisations de virages dangereux en région Bourgogne, des accès aux giratoires et des zones de freinage devant les passages piétons dans toute la France.

Ce procédé est adapté aux zones urbaines car il est peu bruyant grâce à la granulométrie 1/3 mm de la bauxite utilisée et ne dégage aucune odeur ni pendant ni après l'application.

Le liant a été formulé et est fabriqué par la société Interdesco et l'application est réalisée par les équipes de GTU. Ces deux sociétés sont filiales d'Eurovia.

Dans le département de l'Allier où 40000 m² ont été réalisés depuis cinq ans, plus aucun accident n'a été déploré sur les zones accidentogènes traitées avec Viagrip®.

Ainsi, à travers le développement de produits particulièrement performants comme Viagrip®, Eurovia démontre son engagement à faire progresser la route et à la rendre toujours plus sûre. ■

ABSTRACT
Recycan® and Viagrip®,
a Eurovia process
and product for urban areas

Ch. Jeannon, L. Moussu, D. Lagel

Eurovia, one of the world leaders in public works, develops a wide range of products and processes dedicated to highway engineering and urban development. Of these, Recycan® and Viagrip® both offer properties extremely suitable for urban development issues. Rationalisation of the space and time devoted to the work so as to minimise the nuisance for frontage residents is one of the chief advantages of the Recycan® trench back-filling process. Viagrip®, for its part, can be used to improve safety very effectively in accident-prone areas. In urban areas, at 50 km, the high-adhesion surfacing Viagrip® reduces braking distances by almost 3 metres, or the length of a pedestrian crossing. From optimised management of its worksites to the development of high-tech products and processes, Eurovia is committed, together with its clients, to user safety and comfort.

RESUMEN ESPAÑOL
Recycan® y Viagrip®,
un procedimiento
y un producto Eurovia para
zonas urbanas

Ch. Jeannon, L. Moussu, D. Lagel

Eurovia, uno de los líderes mundiales de las obras públicas, desarrolla una amplia gama de productos y procedimientos dedicados a la carretera y la ordenación de los espacios urbanos. Entre estas, el Recycan® como el Viagrip® brindan diversas características particularmente adaptadas a las problemáticas de ordenación urbana. Racionalización de los espacios y del tiempo dedicados a los trabajos para reducir al mínimo la molestia al vecindario, constituye una de las principales bazas del procedimiento de relleno de la zanjas Recycan®. Viagrip® por su parte, permite proteger las zonas accidentógenas de forma sumamente eficaz. En zona urbana y a 50 km, Viagrip®, revestimiento de elevada adherencia, disminuye de casi 3 metros la distancia de frenado, o sea la longitud de un paso para peatones. Desde la gestión optimizada de sus obras hasta el desarrollo de los productos y procedimientos de alta tecnología, Eurovia se compromete junto con sus clientes para la seguridad y el confort de los usuarios.

Paroi lutétienne et pieux

La réalisation du projet immobilier de bureaux « Bois-Colombes Europe Avenue » de Sefri Cime dans le département des Hauts-de-Seine donne lieu à d'importants travaux de fondations spéciales. Solétanche Bachy Pieux est intervenu sur deux grandes fouilles soutenues par des parois lutésiennes tirantées et des pieux de fondation Starsol®.

L'article, en plus de la description des travaux, offre quelques rappels sur la définition des technologies mises en œuvre.

Le chantier de « Bois-Colombes Europe Avenue » s'inscrit dans un projet global de restructuration de la ZAC des Bruyères à Bois-Colombes près de La Défense dans les Hauts-de-Seine. La S.N.C. « Les Bruyères », filiale du groupe Axa, qui est propriétaire de la plupart des terrains, a été choisie par la municipalité en tant qu'aménageur de la ZAC.

Le terrain de 25 000 m² alloué à l'opération est destiné à accueillir un projet immobilier de bureaux dans le cadre du réaménagement de la ZAC des Bruyères. Le promoteur de cette opération est Sefri Cime.

L'ensemble immobilier comprend quatre bâtiments dénommés pour le moment A, B, C et D. Ce sont des R+5 et R+6 à usage de bureaux sur un niveau en rez-de-jardin semi-enterré et de deux niveaux de sous-sol à usage principal de stationnement. La surface de bureaux est de 60 000 m²,

Chaque bâtiment fonctionne indépendamment des autres, toutefois les bâtiments A-C et B-D disposent respectivement d'un sous-sol commun abritant les espaces d'accompagnement de leurs activités.

Deux parkings indépendants pour les bâtiments A-C et B-D d'une capacité respective de 500 et 550 places ainsi que deux aires de livraisons complètent cet ensemble.

Il y a donc deux fouilles distinctes (A+C et B+D) construites sur le même principe.

Chaque fouille représente environ 1 900 m² de soutènement en paroi lutésienne sur trois côtés (figure 1 et photo 1), le quatrième côté étant le merlon entre les deux fouilles, ainsi que 225 pieux de type Starsol® exécutés depuis le fond de fouille.

Stratigraphie

La principale caractéristique du site est son hétérogénéité avec des sols bouillants en tête puis une alternance de zones de faibles caractéristiques mécaniques et de bancs rocheux pluri-décimétriques. Il n'y a pas de nappe phréatique sur la profondeur des fouilles.

En d'autres termes, on trouve d'abord des remblais divers d'épaisseur variable correspondant au comblement d'une ancienne exploitation de sables et graviers à ciel ouvert, puis des sables et graviers. Viennent ensuite les sables de Beauchamp présentant des bancs gréseux puis les marnes et caillasses, avec des alternances de bancs de calcaire rocheux, et enfin le calcaire grossier.

Travaux

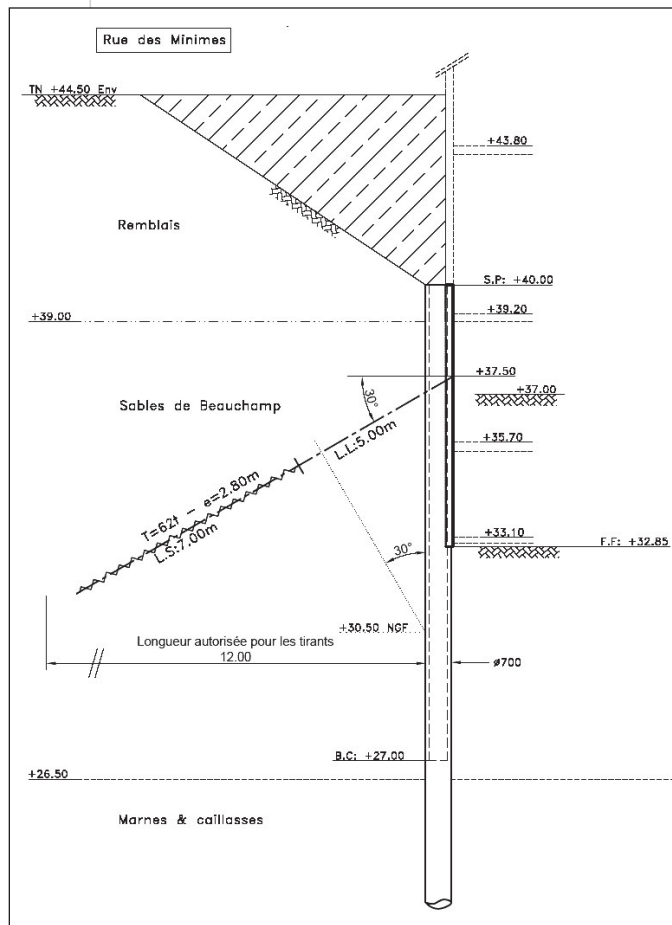
Les pieux de la paroi lutésienne ont été réalisés avec forage au kelly à sec avec des foreuses Soilmec R312, Soilmec R412 et Maît 130.

Les pieux fond de fouille ont été réalisés selon le procédé Starsol® avec des ateliers Starsol® montés sur Llamada P150 et sur Fundex 8000 et 3 500 (photo 2). Du point de vue des pieux, la particularité de cette opération a consisté à réaliser les pieux de fondation avec le procédé Starsol®, malgré la présence de terrains très durs alternant avec des couches de sables bouillants et malgré un ancrage à forer dans le calcaire.

La méthode classique aurait été celle des pieux forés tubés permettant à la fois de s'affranchir des zones bou-

Figure 1

Coupe de la fouille montrant le talus gunité et la paroi lutésienne avec ses pieux et ses tirants
Cross section of the excavation showing the gunited slope and the Lutetian type retaining wall with its piles and tie rods



LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Gunitage de talus : 1 500 m²
- Surface de paroi lutésienne : 3 800 m²
- Pieux forés pour paroi lutésienne : 220 u, Ø 700 mm à 1 000 mm, profondeur 17 m à 28 m
- Tirants pour paroi lutésienne : 148 u, tension de précontrainte 40 t à 100 t
- Pieux forés à l'extérieur de la fouille : 50 u, Ø 800 mm à 1 000 mm
- Pieux Starsol® en fond de fouille : 450 u, Ø 520 mm à 1 020 mm, profondeur 15 m à 17 m

Starsol® à Bois-Colombes



Frédéric Talotte
Responsable
de l'antenne
Ouest-Bretagne
Solétanche Bachy Pieux

lantes et de réaliser l'ancrage au calcaire. C'est une méthode très lourde et très lente.

Le procédé Starsol® avec des foreuses telles que la Fundex F3500 développant un couple de 40 tm a permis une optimisation des diamètres et des longueurs des pieux et un temps de réalisation beaucoup plus court qui permettait de satisfaire le client tant sur le prix que sur le délai.

Trois foreuses Starsol® ont été mises en place pour réaliser les 450 pieux de diamètre compris entre 520 mm et 1020 mm, de mi-décembre 2006 à mi-février 2007.

Et voici les quelques précisions didactiques annoncées.

Parois composites

En écho à la paroi berlinoise qui trouve ses premières applications à Berlin, la paroi parisienne nous vient de Paris, la paroi lutécienne de... Lutèce et la paroi moscovite de Moscou. Toutes s'appliquent à des soutènements de terrains au-dessus de la nappe phréatique.

La paroi berlinoise consiste à placer des profilés métalliques dans des forages espacés de quelques mètres et à blinder progressivement l'espace entre ces poteaux au cours du terrassement. On peut enfiler des planches en bois ou des plaques préfabriquées entre les nervures des profilés, ou réaliser un mur par passes descendantes en béton projeté ou banché.

La paroi parisienne dérive de la paroi berlinoise par remplacement des profilés métalliques par des pieux préfabriqués. Les armatures des pieux comportent des attentes qui sont déployées au fur et à mesure du terrassement sur lesquelles on fixe une armature en treillis soudé.

La paroi lutécienne se distingue de la parisienne par ses éléments verticaux qui sont des pieux forés et moulés dans le sol. Les cages d'armature peuvent comporter des attentes repliées qui sont dégagées en repiquant le béton. On peut aussi effectuer des scellements.

La paroi moscovite est une paroi lutécienne dans laquelle les pieux sont remplacés par des barrettes.

Toutes ces parois composites peuvent être ancrées par des tirants.

Procédés Starsol®, Enbesol® et T.Pile®

Le brevet Starsol® de 1982 a reçu en 1987 le prix de l'Innovation de la Fédération nationale des Travaux publics. La technologie est en constante évolution avec un dernier cahier des charges datant de juillet 2005.

Solétanche Bachy Pieux dispose actuellement d'environ vingt ateliers Starsol®, tous équipés du système Enbesol®.

Des milliers de kilomètres de pieux Starsol® ont été



Photo 1
Vue générale montrant le soutènement par béton projeté de la paroi lutécienne en progression et l'exécution des pieux en fond de fouille
General view showing the shotcreted supporting structure of the Lutetian type retaining wall in progress and execution of the piles in the bottom of excavation

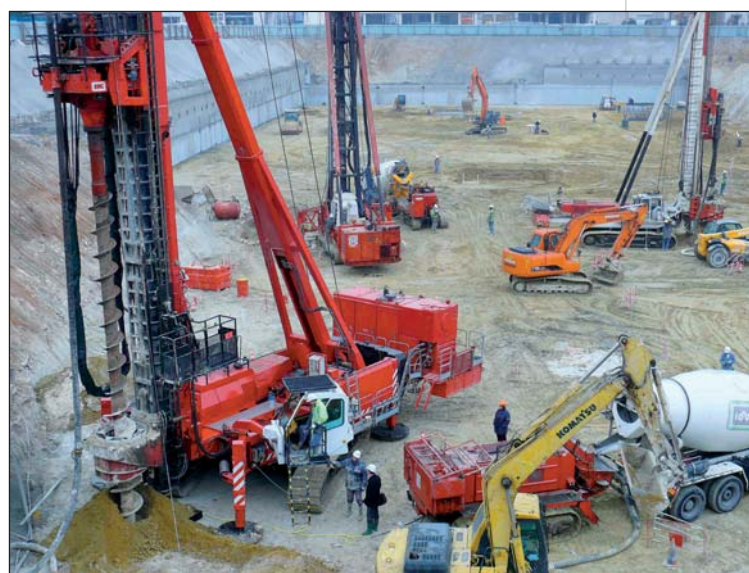


Photo 2
Ateliers Starsol® au travail en fond de fouille
Starsol® equipment at work at bottom of excavation

réalisés dans le monde entier. La technique du pieu Starsol® contrôlé par le système Enbesol® bénéficie de vingt-cinq ans d'expérience sur plusieurs milliers de chantiers répartis dans de nombreux pays. Le procédé jouit de références intéressantes aux États-Unis, en Pologne, en Espagne, en Belgique, au Mexique et bien sûr en France, où il a été appliqué sur de nombreux ouvrages exceptionnels.

Les différents chantiers ont prouvé, à l'occasion de nombreux essais et contrôles d'exécution, les performances remarquables de la technique par rapport aux pieux exécutés avec une tarière creuse classique.

La contribution de Terrasol, en association avec Solétanche Bachy et avec les bureaux de contrôle, a permis de qualifier au plus juste les performances que procure la méthode.

L'outillage Starsol® – l'appellation est la contraction

Paroi lutétienne et pieux Starsol® à Bois-Colombes

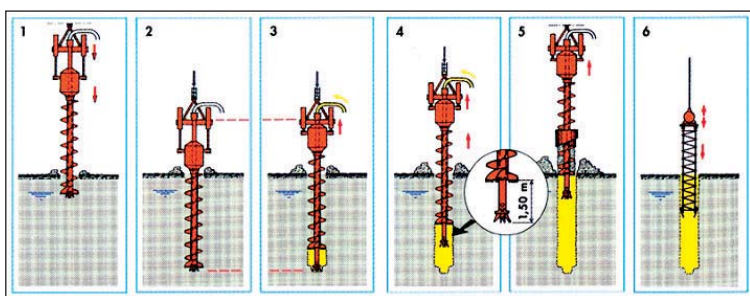
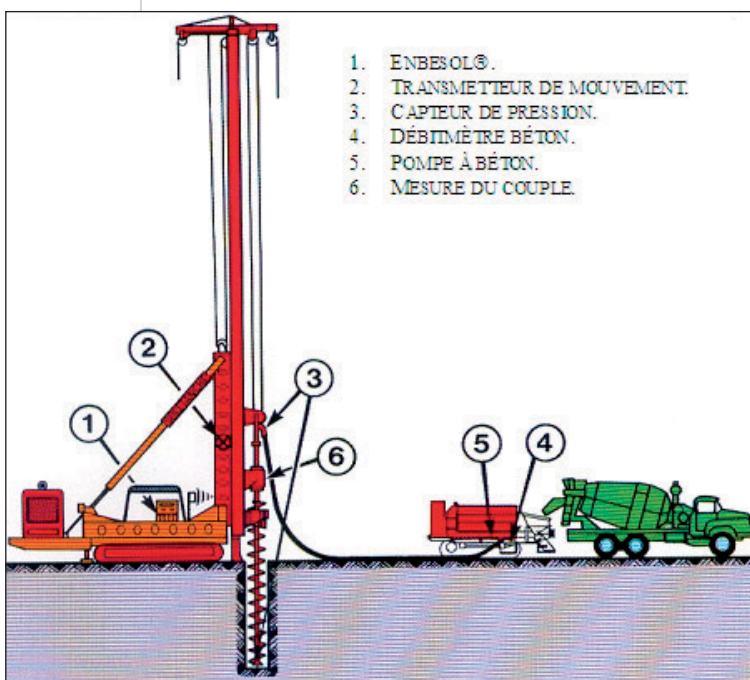


Figure 2
Principe du procédé Starsol® 1/2
Principle of Starsol® process 1/2



Photo 3
La pointe pilote de la tarière Starsol®
Guide tip of Starsol® auger

Figure 3
Principe du procédé Starsol® 2/2
Principle of Starsol® process 2/2



de « Super tarière Solétanche » – renouvelle la technique d'exécution des pieux forés. Une tête de rotation puissante, mue par un moteur hydraulique compact, entraîne simultanément une tarière creuse et un tube plongeur (figure 2). Tarière et tube sont munis d'outils de coupe du terrain à leur base. L'ensemble est vissé dans le sol à forte cadence, avec la possibilité d'ancrage dans des couches dures. Le système de bétonnage, par deux lumières latérales situées à la base du tube plongeur (photo 3), cumule les avantages du bétonnage classique à la colonne et du bétonnage sous pression (figure 3). Un dispositif dégage automatiquement les déblais au fur et à mesure de la remontée de la tarière. Des cages d'armatures complètes peuvent être mises en place après la fin du bétonnage.

Les contrôles sont assurés par l'appareil Enbesol® qui trace automatiquement, et en temps réel, pour chaque pieu, une fiche où sont regroupées les indications suivantes : chantier, numéro du pieu, diamètre, profondeur, vitesse de forage, couple de forage, pression du béton, profil du pieu. Les contrôles par tube sonique, ou par carottage, deviennent superflus (figure 4).

Solétanche Bachy Pieux développe actuellement des techniques visant à améliorer encore ce procédé. Une première étape est le cahier des charges Starsol® de juillet 2005 où apparaît notamment le pieu Starsol® avec ergot T-Pile®.

Le procédé T-Pile®, par la création dans le sol d'une rainure de béton de forme hélicoïdale qui s'entoure avec un pas régulier tout autour du fût du pieu, améliore les caractéristiques du pieu Starsol® et permet de réaliser des pieux en formant une nervure hélicoïdale autour du fût du pieu.

La rainure augmente de façon très significative la capacité portante par rapport aux pieux courants, ce qui permet de limiter les quantités de béton utilisées en fondation et en superstructure (section et profondeur des pieux, volume des têtes de pieux) et aussi de diminuer d'autant les déblais à évacuer, ce qui se traduit en économies d'énergie et de nuisances environnementales.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Aménageur : SNC Les Bruyères
- Maître d'ouvrage : Sefri Cime
- Maître d'œuvre : Atelier 2 M Architectes et Khephren (BET structure)
- Bureau d'études fondations : Solétanche Bachy Pieux
- Bureau de contrôle : Socotec
- Mandataire du lot pieux et parois : Solétanche Bachy Pieux
- Partenaire béton projeté : Génie Civil de l'Est
- Terrassements : TDML
- Gros-œuvre : Léon Grosse

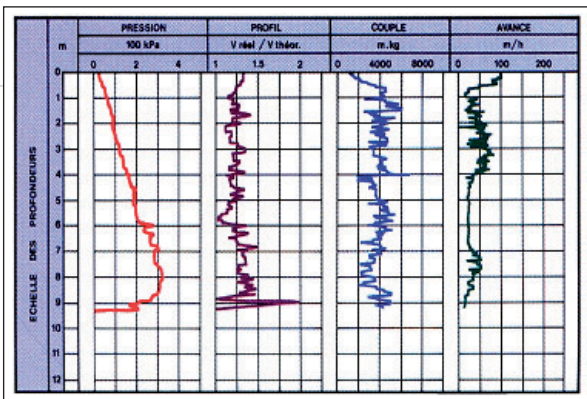


Figure 4
Enregistrement de paramètres à l'Enbesol®
Parameter recording by Enbesol®

Les performances des pieux T-Pile®, ont été validées sur plots d'essais, en France, au Royaume Uni et en Hongrie. Les pieux ont tous été instrumentés au moyen d'extensomètres amovibles, et soumis à des essais de chargement statique. Dans des terrains variés, on a montré que le frottement latéral unitaire mesuré pour le pieu StarT.Pile® était équivalent aux valeurs observées pour les pieux Starsol®, mais appliqué à la surface extérieure à la rainure. On obtient une amélioration de 30 % de la portance pour une consommation supplémentaire de béton inférieure à 10 % (cf. article paru dans la revue *Travaux* n° 821 de juillet 2005). ■

ABSTRACT
Lutetian type retaining wall and Starsol® piles in Bois-Colombes

Fr. Talotte

To perform the "Bois-Colombes Europe Avenue" commercial real estate project for Sefri Cime in the Hauts-de-Seine "département", extensive special foundation works are required. Solétanche Bachy Pieux worked on two major excavations supported by metal-tied Lutetian type retaining walls and Starsol® foundation piles. In addition to a description of the works, the article provides a few reminders concerning the definitions of the technologies applied.

RESUMEN ESPAÑOL
Pared "lutetienne" y pilotes Starsol® en Bois-Colombes

Fr. Talotte

La realización de un proyecto inmobiliario para oficinas "Bois-Colombes Europe Avenue" de Sefri Cime en el departamento de Hauts-de-Seine ha dado lugar a importantes trabajos de cimentaciones especiales. Solétanche Bachy Pieux ha intervenido en dos grandes excavaciones contenidas por paredes de tipo "lutetiennes" atirantadas y pilotes de cimentación Starsol®. El presente artículo, además de la descripción de los trabajos, ofrece algunas nociones acerca de la definición de las tecnologías implementadas.