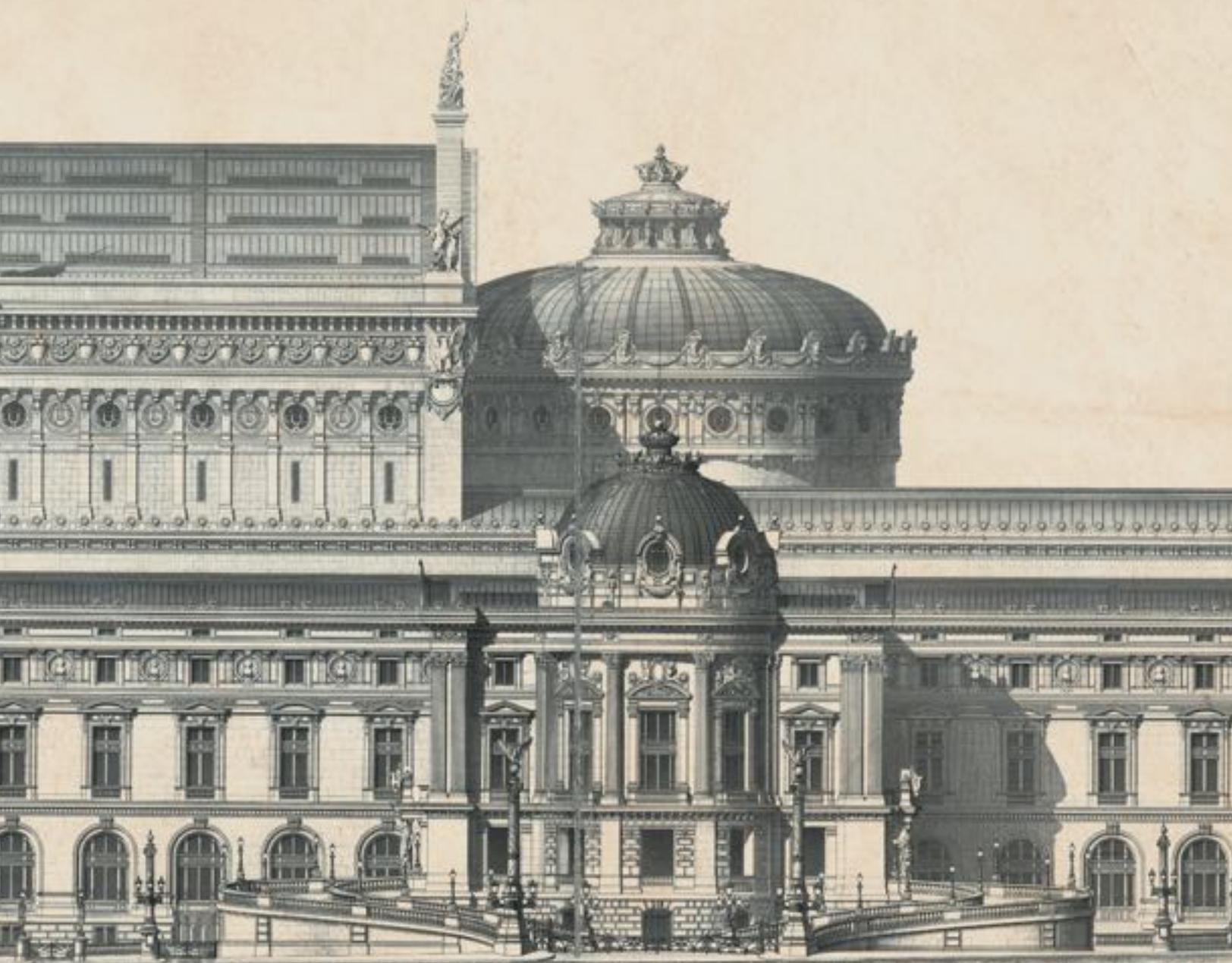


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

VILLE, TRANSPORTS ET PATRIMOINE. CAP AU NORD POUR LE METRO DE MARSEILLE. OPERA GARNIER : RESTAURATION DE LA RAMPE DE L'EMPEREUR. REFECTION PONT DAYDE A BOULOGNE-BILLANCOURT. VOIE NOUVELLE SARTROUVILLE MONTESSON. RENOVATION VIADUC DU VIAUR. RENFORCEMENT DE LA DIGUE DE LA MONTAGNETTE. TOUR TRINITY A LA DEFENSE. CANOPEE DES HALLES / ESPACES CULTURELS ET COMMERCIAUX. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LE METRO DE MILAN - LIGNE 2

N°919 NOVEMBRE 2015



LA RAMPE
DE L'EMPEREUR
À L'OPÉRA GARNIER
© DR



PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 904 x | <input type="checkbox"/> 909 x | <input type="checkbox"/> 914 x |
| <input type="checkbox"/> 905 x | <input type="checkbox"/> 910 x | <input type="checkbox"/> 915 x |
| <input type="checkbox"/> 906 x | <input type="checkbox"/> 911 x | <input type="checkbox"/> 916 x |
| <input type="checkbox"/> 907 x | <input type="checkbox"/> 912 x | <input type="checkbox"/> 917 x |
| <input type="checkbox"/> 908 x | <input type="checkbox"/> 913 x | <input type="checkbox"/> 918 x |

Soit un montant total de :

_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 et hors frais postaux : 4,80€ d'envoi France, 9,00€ d'envoi Europe et 11,00€ d'envoi étranger hors Europe. Conformément à la Loi Informatique et des Libertés du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____

Entreprise _____ Fonction _____

Adresse _____

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____

Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM'1 ÉVIDENCE**

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

- Je réglerai à réception de la facture
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

Directeur de la publication

Bruno Cavagné

Directeur délégué

Rédacteur en chef

Michel Morgenthaler

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. +33 (0)1 44 13 31 03

morgenthalerm@fnfp.fr

Comité de rédaction

Hélène Abel (Ingerop), David Berthier (Vinci Construction France), Sami Bounatirou (Bouygues TP), Jean-Bernard Detry (Setec), Philippe Gotteland (Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fnfp), Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar (Eiffage TP), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro**Rédaction**

Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente**Com et Com****Service Abonnement TRAVAUX**

Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot

92350 Le Plessis-Robinson

Tél. +33 (0)1 40 94 22 22

Fax +33 (0)1 40 94 22 32

revue-travaux@cometcom.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC

International (9 numéros) : 240 €

Enseignants (9 numéros) : 75 €

Étudiants (9 numéros) : 50 €

Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)

Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Publicité****Rive Média**

2, rue du Roule - 75001 Paris

Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44

contact@rive-media.fr

www.rive-media.fr

Directeurs de clientèle

Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04

b.cosson@rive-media.fr

Carine Reiningger - LD 01 42 21 89 05

c.reiningger@rive-media.fr

Site internet : www.revue-travaux.com**Édition déléguée****Com'1 évidence****Siège :**

101, avenue des Champs-Élysées

75008 PARIS

Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52

revuetravaux@com1evidence.com

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

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

Editions Science et Industrie SAS

9, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n°0116 T 80259

ISSN 0041-1906

VILLE DURABLE - LE TEMPS DES SOLUTIONS



© DR

Plus un jour sans reportage, article, colloque, interview... sur le thème de la ville durable. Foisonnement de pensées, inflation de mots et de concepts. Le « durable » est devenu paradigme, désormais la ville ne peut plus être que durable. Selon les uns ou les autres, elle devrait être aussi inclusive, réversible, résiliente, désirable... Elle devrait être plus dense et plus verte en même temps, plus économe des ressources naturelles, faire plus grande place aux modes de transports collectifs, aux modes doux, à l'économie circulaire... Tellement d'ambitions à la fois.

Les mots, même s'ils prêtent parfois à sourire lorsqu'ils confinent à l'ésotérisme, traduisent une vraie prise de conscience et un changement profond des aspirations citoyennes qui suscitent elles-mêmes des évolutions très concrètes dans la manière de penser nos villes, de les construire et de les gérer. Tous les objets et services de la ville sont concernés : bâtiments à énergie positive, développement des énergies renouvelables, réduction des fuites dans les réseaux d'eau, recyclage de l'eau et des déchets, récupération des gaz issus des boues d'épuration ou de la méthanisation des déchets, développement des transports collectifs et des circulations douces, etc. Les éco-quartiers et éco-cités en sont les synthèses les plus emblématiques.

Devant nous, les défis restent immenses et complexes. Car l'enjeu n'est pas tant d'inventer des villes

nouvelles partant de la feuille blanche, mais plutôt de penser le développement, l'extension et la transformation « sur elles-mêmes » de villes existantes. Et ce mouvement doit rester compatible avec l'économie de moyens que nous impose la crise des finances publiques, tout au moins en Europe. Il s'agit donc de faire mieux et plus longtemps avec moins d'argent. Facile à dire, plus difficile à faire. Cette approche dans la durée, sur le cycle de vie des ouvrages - appelons cela gestion patrimoniale - recèle d'importantes marges de progrès, pas seulement au plan technique.

La ville durable sera aussi intelligente, tant le numérique est au cœur des évolutions en marche. Le déploiement de la fibre, les progrès impressionnants de la domotique, la multiplication des applications sur smartphone en sont les signes les plus évidents. La maquette numérique (BIM) est devenue l'outil de référence de la conception des bâtiments, elle va également s'imposer rapidement dans le domaine des infrastructures. À l'échelle d'un quartier voire d'une ville toute entière, les premières maquettes numériques urbaines apparaissent, telles celles portées par Eiffage/Egis sur Astana et par Artelia/Véolia sur Santiago du Chili. Ces outils, imaginés et financés par l'État, avaient d'abord vocation à constituer des « stands numériques » exposant les technologies industrielles françaises en rapport avec la ville durable. Ils sont devenus beaucoup plus que cela et déjà comparés à SimCity, le célèbre jeu vidéo.

C'est que l'État a bien compris les enjeux qui se dessinent autour de la ville durable, particulièrement au plan commercial. Ses initiatives, comme Vivapolis ou l'Institut de la Ville Durable, visent à créer des vitrines, des lieux d'échange, de partage d'expériences et de co-développement. Un appel à projets pour la mise en œuvre de démonstrateurs urbains, grandeur nature, vient également d'être lancé; les majors du BTP et les ingénieries affutent déjà leurs propositions. Car ceux qui auront éprouvé les outils et les technologies dans leur propre pays ont plus de chance de les déployer ailleurs. On ne vendra pas des théories, mais des produits. Semble ainsi venu le temps des solutions.

DENIS BERTEL

DIRECTEUR GÉNÉRAL

ARTELIA - VILLE & TRANSPORT



VILLE TRANSPORTS ET PATRIMOINE

TRAVAUX DE RENFORCEMENT DE LA DIGUE DE LA MONTAGNETTE © COFEX MÉDITERRANÉE



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC
CLAUDE ARNAUD**
UN DOUBLE ENJEU ÉCONOMIQUE
ET ÉCOLOGIQUE

**22 ATELIERS DE CERGY : DES ESPACES DE LIBERTÉ
D'EXPRESSION ET DE PARTAGE DES IDÉES**



28

**LE MÉTRO
DE MARSEILLE**
met le cap au nord



34

**LA RESTAURATION
DE LA RAMPE
DE L'EMPEREUR**
à l'Opéra Garnier



42

**RÉFÉCTION DU PONT
DAYDÉ À BOULOGNE-
BILLANCOURT**
et réalisation d'une rampe
d'accès au pont



48

**VOIE SARTROUVILLE
MONTESSON**
Doublement de la RD121-
Construction d'un pont-route
et d'un pont-rail



56

LE VIADUC DU VIAUR
Rénovation d'envergure



62

**RENFORCEMENT
DE LA DIGEE DE
LA MONTAGNETTE**
Technique du béton projeté
par voie sèche



68

**TOUR TRINITY
À LA DÉFENSE**
Conception structurelle



78

LA CANOPÉE
Des Halles de Paris
au projet de la Canopée



82

LA CANOPÉE
Les espaces culturels
et commerciaux



87

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
MÉTRO DE MILAN -
LIGNE 2 - 4° TRONÇON**
Numéro 477 - 1974



LE PONT DAYDÉ RÉHABILITÉ POUR ACCÉDER À L'ÎLE SEGUIN

Question pour un champion, Daydé est :

- 1- Un opéra de Rameau,
- 2- Une chanteuse techno,
- 3- Un demi-dieu de la mythologie grecque ?

Rien de cela, c'est le nom d'une entreprise de construction métallique fondée par Henri Daydé vers 1870, qui s'est ensuite appelée Lebrun, Pillé et Daydé, puis Daydé et Pillé, puis de nouveau Daydé, a été absorbée en 1964 par la CFEM puis finalement intégrée dans Eiffel constructions métalliques. Son palmarès est impressionnant (Tancarville, etc.). Le pont de l'Île Seguin à Boulogne-Billancourt n'en est pas l'élément le plus emblématique mais c'est le seul à porter le nom de Daydé, son constructeur en 1928. Plusieurs sociétés du groupe Vinci sont acteurs de sa récente réhabilitation.

(voir article page 42).





CAP AU NORD VERS LA STATION CAPITAINE GÈZE

Comme le signale une plaque

à la gare Saint-Charles, le capitaine Gèze est tombé lors des combats pour la libération de Marseille menés par la 3^e division d'infanterie algérienne en août 1944. Il donne aujourd'hui son nom au futur terminus Nord de la ligne 2 du métro de Marseille, qui sera un pôle multimodal majeur. Le prolongement de la ligne 2 vers ce terminus est un chantier complexe caractérisé par un environnement urbain dense et un travail sous hauteurs limitées. Soletanche Bachy a réalisé 430 m de plateforme de voies et une passerelle piétons de 47 m en mettant en œuvre un large éventail de procédés de fondations dont le gabarit était adapté au contexte.

(voir article page 28).



© SOLETANCHE BACHY

INJECTIONS DE BIOMÉTHANE DANS LE RÉSEAU

Du gaz produit à partir de sources renouvelables - ordures, déchets agricoles, boues d'épuration - est transformé en biométhane et injecté dans les réseaux.



Poste d'injection du biométhane à Chagny (Saône-et-Loire). Au fond, les silos d'épuration du biogaz.

Du biométhane issu d'ordures ménagères est injecté dans le réseau de transport de GRTgaz à Chagny (Saône-et-Loire) depuis juillet.

L'installation produira 2,6 millions de mètres cubes, soit 28 giga wattheures (GWh) par an, début 2016.

Quelques 73 000 tonnes de déchets de 300 000 habitants de l'Est du département sont triées pour n'en conserver que la partie organique propre à dégager du méthane. L'usine de tri-méthanisation-compostage, Ecocea, a été construite par le Syndicat mixte d'études et de traitement des déchets ménagers et assimilés de la Saône-et-Loire (Smet71, dix collectivités locales) afin de limiter l'expansion de la décharge voisine, conformément au plan départemental d'élimination des déchets.

Le biométhane s'obtient par épuration du biogaz. À Chagny, il est comprimé afin d'intégrer le réseau de GRTgaz, à un débit de 550 m³/h maximum. Sa composition est contrôlée avant le poste d'injection qui abrite aussi l'odorisation et le comptage des quantités.

→ **Montage complexe**

L'usine Ecocea coûte 44 millions d'euros dont 4 pour le biométhane. Sur ces 4 mil-

lions, le poste d'injection et le branchement au réseau absorbent 980 000 euros.

Cette installation est le fruit de dix ans d'efforts de trois partenaires voisins : le Smet71, GRTgaz dont le réseau passe à 200 m et le fabricant de matériaux en terre cuite Terreal installé depuis 2008 sur la parcelle d'à-côté. Le montage de l'opération, fruit de la libéralisation du marché du gaz, est complexe⁽¹⁾. Par exemple, Terreal est à la fois acheteuse du biogaz et fournisseur de ce gaz en interne.

Terreal cuit ses tuiles à 1 000°C dans des fours. Il s'est engagé à acheter un tiers de son combustible à Ecocea pendant quinze ans trois fois plus cher que le gaz naturel, soit 2 millions d'euros par an. La Caisse des dépôts et consignations lui en rembourse une partie. Par cet achat, il réduit ses émissions de CO₂ de 5 000 tonnes, d'où un non versement de quotas de CO₂ d'environ 35 000 euros⁽²⁾.

En effet, le biométhane est considéré comme ayant un bilan carbone nul, les émissions de CO₂ à la combustion étant

compensées par la récupération de biogaz sur les ordures.

« *Il nous reste un surcoût*, reconnaît François Amzulesco, directeur innovation, projets industriels et international de Terreal. *Mais nous voulons réduire notre empreinte carbone et participer à la transition énergétique.* »

→ **1 000 GWh en 2020**

Grâce à cette injection de biométhane, GRTgaz contribue à porter à 10 % la part d'énergie renouvelable dans la consommation de gaz, objectif de la loi de transition énergétique (août 2015). De plus, la production locale de gaz contribue à l'indépendance énergétique.

GRTgaz a huit projets d'injection au stade de l'étude de faisabilité. Il espère accueillir dans son réseau 1 000 GWh de biométhane en 2020 au rythme de trois à cinq projets par an. ■

⁽¹⁾ Cf. décret n°2011-1597 du 21 novembre 2011 relatif aux conditions de contractualisation entre producteurs de biométhane et fournisseurs de ce gaz naturel et textes l'ayant modifié en 2013 et 2014.

⁽²⁾ Les quotas de CO₂ s'achètent sur un marché aux enchères. Ici, la tonne est estimée à 7 euros.

QUATORZE SITES GRDF

GRDF injecte dans son réseau 163 GWh de biométhane par an grâce à quatorze sites. Il en ajoute de mois en mois.

Le dernier et le plus important pour le distributeur, a démarré le 22 septembre à Hénin-Beaumont (Pas-de-Calais). L'usine Tri, valorisation matières et éner-

gies du Syndicat mixte d'élimination et de valorisation des déchets (82 communes, 312 000 habitants) va produire 2,4 millions de mètres cubes par an à partir de 80 000 tonnes d'ordures ménagères. À Fontanil-Cornillon près de Grenoble (Isère), le poste d'injection du biométhane émanant de la station d'épuration

Aquapole vient d'être construit et devrait être raccordé au réseau en janvier 2016.

GRDF coanime avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie un groupe de travail injection, instance de concertation entre tous les acteurs de la filière. ■



La production de biogaz à partir d'ordures ménagères à Hénin-Beaumont (Pas-de-Calais) a démarré fin septembre.

À PARTIR DE BOUES D'ÉPURATION À STRASBOURG



Station d'épuration à Strasbourg dont les boues sont la matière première du biométhane.

Les stations d'épuration ont dû attendre le 27 juin 2014 pour avoir l'autorisation d'injecter du biométhane dans le réseau de gaz.

La station La Wantzenau à Strasbourg (Bas-Rhin) a converti sa production de biogaz par digestion des boues d'épuration en production de biométhane injecté sur le réseau, à raison de 1,6 million de mètres cubes par an.

Le biogaz était utilisé en interne en gaz et pour produire de l'électricité.

Le projet baptisé Biovalsan a coûté 4 millions d'euros.

Il reçoit une aide à l'investissement et à l'exploitation de 2,4 millions de la Commission européenne dans le cadre du programme Life+ pour son intérêt scientifique et sa contribution à la baisse des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle locale, soit 7 000 tonnes évitées par an.

L'opération réunit Réseau GDS, distributeur local de gaz, Suez, exploitant de la station, la communauté urbaine de Strasbourg, SGS Multilab (conformité du biogaz) et Eurofins Expertises Environnementales (risque sanitaire biologique). ■

CENT-HUIT PROJETS BIM EN COMPÉTITION, NEUF PRIMÉS



Bim d'argent pour la rénovation de l'Ilot Fontenoy-Ségur (Paris 7^e).

Le futur site de l'École normale supérieure de Cachan à Gif-sur-Yvette (Plateau de Saclay, Essonne) a reçu un Bim d'or pour sa phase de conception en Bâtiment et informations modélisés⁽¹⁾. Les équipes de maîtrise d'œuvre réunies autour de l'architecte Renzo Piano et du bureau d'études techniques AIA Ingénierie ont échangé des maquettes numériques tous les jours.

Le bim d'or 2015 a été accordé dans la catégorie bâtiment de plus de 40 000 m² en neuf, une des dix catégories en compétition. Cent-huit projets ont concouru. Des bim d'argent ont été décernés dans huit autres catégories, celle d'exploitation maintenance n'ayant pas été primée. Voici les lauréats par catégorie.

Bâtiment de plus de 40 000 m² en rénovation : restructuration de l'Ilot Fontenoy-Ségur (Paris 7^e) avec Sogelym Ingénierie

(maître d'ouvrage), Braun + Associés architectes (maître d'œuvre) et Campe-non Bernard Construction.

Bâtiment de 5 000 à 40 000 m² en neuf : 53 logements collectifs à Rouen (Seine-Maritime) : Habitat 76 (MOA) avec CBA Architecture (MOE) et Sogea Nord Ouest.

Bâtiment de 5 000 à 40 000 m² en rénovation : transformation de l'Institut de Chine en tribunal administratif à Lille



Bim d'argent pour l'hôpital Limmatal à Schlieren (Suisse).

CONCEVOIR LA VILLE DE DEMAIN

Sept projets de recherche ont été sélectionnés fin septembre dans le cadre du 2^e appel à projets Modeval-Urba - Modélisation et évaluation au service des acteurs des villes et des territoires de demain - par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe).

Cette deuxième édition vise à soutenir la recherche sur des thématiques comme les formes urbaines, la performance énergétique, la planification facteur 4⁽¹⁾ et son articulation avec les orientations énergie-climat des territoires, les liens entre pratiques urbaines et numérique, etc. Un troisième appel sera lancé en 2016.

→ Confort et sociabilité

L'Ademe, qui accompagne la mise en œuvre de la recherche, apporte 1,3 million d'euros aux 7 projets d'un montant total de 3,1 millions.

Le projet Oasis coordonné par Tribu avec 2 partenaires s'intéresse aux oasis urbaines notamment sur la combinaison entre confort (climatique et acoustique) et sociabilité (ambiance, hospitalité).

Mesh, piloté par France Boutté Consultants avec 4 associés, développe les outils d'analyse de morphologies urbaines par des indicateurs environnementaux.

→ Articuler énergie-climat et planification

Auxilia est chargé d'Ascens auquel participe 7 organismes. Il s'agit d'identifier les freins et leviers à l'intégration des enjeux climatiques et énergétiques dans les documents d'urbanisme.

Le projet Multiplicités, entre les mains de l'École nationale supérieure d'architecture de Toulouse avec 3 partenaires, se concentre sur les scénarios énergétiques. Nest Terr 2 cherche à mieux appréhender les interactions entre les différentes

(Nord) avec Cirmad Nord, Sintive Architectes et Bouygues Bâtiment Nord-Est. **Bâtiment de moins de 5 000 m² :** 10 logements en accession à Dinan (Côtes-d'Armor), SARL Herviais avec Atelier Claude Menier.

Infrastructure : connexion autoroutière Rocade L2 (Bouches-du-Rhône) avec la Société de la rocade L2, Egis International et le GIE Constructeurs L2⁽²⁾.

International : hôpital Limmatal (Schlieren, Suisse), avec Spital Limmatal, Brunet Saunier Architectures et Losinger-Marazzi, filiale Bouygues Construction⁽³⁾.

Industriel : système paramétrique d'étalement de toiture de Siplast-Icopal.

Étudiant : interconnexion du Bim avec des objets connectés de François Bourdon (Université de Rennes). ■

⁽¹⁾ Concours organisé par *Le Moniteur* et *Les Cahiers techniques du bâtiment*.

⁽²⁾ Cf. *Travaux* septembre 2015, pp 48-53.

⁽³⁾ Cf. *Travaux* octobre 2015, p 12.

20 MILLIARDS D'EUROS EN RENOUVELLEMENT URBAIN

L'État, Action logement (participation construction employeurs) et l'Agence nationale pour la rénovation urbaine ont signé début octobre une convention tripartite 2015-2019 de financement du nouveau programme de renouvellement urbain (NPNRU). Action logement en financera 93 %, la Caisse de garantie du logement locatif social et la Caisse des dépôts compléteront.

Les moyens financiers mis à disposition du programme s'élèvent à 6,4 milliards d'euros en subventions et prêts bonifiés. Cette mobilisation devrait générer 20 milliards d'investissement pour plus de mixité sociale, d'égalité et de citoyenneté dans les banlieues difficiles.

CODE DE L'URBANISME REMANIÉ

Sylvia Pinel, ministre du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité, a présenté une ordonnance visant à clarifier le code de l'urbanisme, en conseil des ministres à la mi-septembre. Face à l'accumulation de modifications législatives depuis 1973, il est proposé de réorganiser le code par type de document d'urbanisme - chacun aura son chapitre - et de regrouper en un seul endroit toutes les étapes d'une même procédure. La recodification du livre 1^{er} entrera en vigueur le 1^{er} janvier 2016.

PAS DE SOCIÉTÉ DES MINES

Le projet de société nationale des mines annoncé en février 2014 par Arnaud de Montebourg, alors ministre du Redressement productif, a été abandonné fin août par Emmanuel Macron, son successeur, ministre de l'Économie.

⁽¹⁾ Engagement à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre (GES) en 2050 par rapport à celles de 1990.

TRAM-TRAIN DANS LES YVELINES

Le conseil du Syndicat des transports d'Île-de-France a voté plusieurs mesures en faveur du futur Tram-Express Ouest, tram-train traversant le département des Yvelines du nord au sud. Plus de 21 millions d'euros seront investis dans cette liaison entre Saint-Cyr, Saint-Germain et Achères-ville. Tout sera fait pour créer des correspondances avec d'autres lignes de train ou de RER.

Le tram-train peut emprunter des voies ferrées puis, en ville, passer sur des rails de tramway.

RÉHABILITER PLUS VITE LES FRICHES

L'obligation de remise en état d'une friche industrielle peut être transférée à un tiers, selon le décret n°2015-1004 du 18 août.

Le préfet prescrit à ce tiers les travaux de réhabilitation d'un site pollué (ICPE). Cette mesure vise à faciliter la conversion de ces espaces au lieu d'aller construire sur des terres jusqu'ici non bâties.

Le dispositif impose à celui qui se substitue au dernier exploitant - un aménageur, par exemple - des garanties financières à hauteur des travaux.

En cas de non disponibilité de ces garanties, l'ancien exploitant reste responsable des pollutions sur son terrain (pollueur-payeur).

GESTION DE LA RARETÉ DE L'EAU

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie organise un appel à projets sur la qualité de l'eau et la gestion de sa rareté.

Les spécialistes ont jusqu'au 31 mai pour proposer des recherches débouchant sur des innovations d'ici deux à cinq ans.

DES ARCHITECTURES MÉTALLIQUES REÇOIVENT UN TROPHÉE EIFFEL



© DPA-MATHIAS NEVELING

Passerelle du Mont-Saint-Michel couronnée pour la subtilité de son tracé et la finesse de sa structure en acier.

Construiracier a organisé pour la première fois des trophées Eiffel afin de distinguer des constructions livrées en 2013 et 2014 en France par des architectes français ou non. Huit des 111 candidats ont reçu un prix.

Dans la catégorie "Franchir", le trophée a été remis à Dietmar Feichtinger Architectes pour la jetée du Mont-Saint-Michel. Le tablier est porté par une double rangée de piles avec des porte-à-faux pour les promeneurs. Le jury a apprécié la subtilité de son tracé et la finesse de sa structure en acier.

Marc Mimram Ingénierie a reçu un trophée "Apprendre" pour l'École nationale

supérieure d'architecture de Strasbourg que « les étudiants peuvent appréhender de façon savante et pour leur usage quotidien, » écrit le jury.

→ **Métal sur béton**

Le centre culturel des Quinconces au Mans (Sarthe) est le lauréat dans la catégorie "Divertir". Conçu par Babin + Renaud, il présente deux volumes épurés sous un même toit en lame à proximité de la cathédrale. L'acier est utilisé pour ses capacités de franchissement, d'élanement et de portance.

La reconversion de l'entrepôt Seegmuller à Strasbourg a valu au cabinet d'architecture Heintz-Kehr un trophée "Habiter".

Une structure métallique a été posée sur celle en béton. Elle abrite trois étages de logements. Dessous, des bureaux et des commerces.

La tour D2 à la Défense (180 m, Hauts-de-Seine), avec son exosquelette en acier et sa forme d'œuf, remporte le prix "Travailler".

L'acier limite le nombre de poteaux à l'intérieur, d'où un espace dégagé et lumineux. Architectes : Anthony Béchu et Tom Sheehan.

→ **Auvent dans le port de Marseille**

À la grande nef de la gare de Montpellier (Hérault) est revenu le trophée "Voyager". Ses 62 arcs métalliques en ogive reprennent le concept du hall de gare en lui adjoignant des terrasses végétalisées accessibles. Conception : Arep.

Deux prix spéciaux ont été accordés, l'un à l'ombrière du Vieux Port de Marseille, auvent horizontal de 46 m par 22 au-dessus du quai (Foster & Partners/Tangram Architectes) et l'autre, à la réfection du Carreau du temple (Paris), halle du XIX^e siècle (Studio Milou Architecture). Parallèlement, 4 étudiants ont reçu un prix du Concours acier et 3, du Défi culture acier, organisés par Construiracier. ■

EUROPE DU SUD : LES RÉSEAUX D'ÉNERGIE S'INTERCONNECTENT

La France, l'Espagne et l'Italie poursuivent l'interconnexion de leurs réseaux d'énergie. Ces liaisons renforcent la sécurité d'approvisionnement des 34 pays de l'Union européenne, donnent une chance de plus aux énergies nouvelles renouvelables de trouver des débouchés.

En juin, les ministres chargés de l'énergie espagnol, français et portugais ainsi qu'un représentant de la Commission européenne, ont signé un protocole d'accord pour créer un groupe sur les interconnexions dans le Sud-Ouest européen. Plusieurs projets ont été discutés lors de la première réunion.

Un câble sous-marin empruntant le golfe de Gascogne puis la Gironde est à l'étude. Il porterait à 5 000 MW la capacité d'échanges électriques entre la France et l'Espagne, actuellement de 2 800 MW grâce à la liaison souterraine à très haute tension de 65 km entre Baixas (Pyrénées-Orientales) et Santa

Llogaia (Catalogne) inaugurée en février avec Réseau de transport d'électricité (RTE) et son homologue espagnole, la REE.

→ **Gazoduc à l'est de l'Espagne**

La capacité de volume de gaz en transit entre ces deux pays pourra atteindre 7 milliards de mètres cubes, soit l'équivalent de 15 % de la consommation française et 20 % de celle de l'Espagne, après les travaux qui se terminent à la fin de l'année.

La faisabilité d'autres projets à travers les Pyrénées en électricité ou en gaz - prolongement d'un gazoduc à l'est de l'Espagne vers la France (Midcat) - a également été abordée.

→ **Développement d'infrastructures**

En août, l'Italie et la France ont signé un protocole pour renforcer leur coopération technique. RTE et Terna, principal réseau italien d'électricité, vont collaborer au développement d'infrastructures dans

le Centre et le Sud de l'Europe continentale et à l'architecture du futur réseau électrique européen. Échange de données, exploitation coordonnée des systèmes électriques et formation des personnels sont au programme. ■



© PHILIPPE GROLLIERVITE

Liaison électrique souterraine de 65 km entre les Pyrénées-Orientales et le Nord-Est de l'Espagne.

RÉSIDENCE HÔTELIÈRE EN ESPACE CONTRAINT

La SNCF a fait construire une résidence hôtelière le long des rails de la gare Montparnasse à Paris. Le bâtiment de huit niveaux abrite 150 chambres et les services associés sur près de 6 000 m². Espaces Ferroviaires, filiale de la société nationale, a confié la conception à AASB-Agence d'architecture Suzelbrout et le chantier de plus de 11 millions d'euros, à Spie SCGPM, entreprise générale, filiale Île-de-France du groupe Spie Batignolles. Pour loger les agents au plus près de leur travail, il fallait résoudre deux problèmes : l'espace rare dans ce quartier et le bruit.

→ Poteaux apparents

L'immeuble est construit sur une dalle de parking surplombant les voies et non conçue pour supporter un tel poids. Il comporte deux parties assises sur deux supports différents. Sa base de deux niveaux repose sur des poutres autoportées. Au-dessus, les six étages de chambres sont soutenus par des poteaux, verticaux ou inclinés, qui traversent la dalle et descendent jusqu'au sol porteur. Apparents, ils passent devant le rez-de-



La résidence pour agents de la SNCF comporte une partie basse sur poutres et des chambres sur poteaux.

chaussée bas et haut, comme des pattes sous la résidence. L'installation d'échafaudage étant impossible sur la dalle du parking, le chantier a été réalisé par nacelles suspendues. Les poteaux ont été coffrés sur place et coulés à l'aide d'un béton auto plaçant. La façade des chambres est recouverte d'un inox glacé évitant tout reflet éblouissant du soleil vers les conducteurs de train circulant en bas.

→ Boîtes à ressort

Le contrôle de l'ensoleillement des

façades, sans aucun vis-à-vis à cette hauteur, ainsi que le choix des isolants thermiques, ont permis de répondre aux exigences de la démarche haute qualité environnementale et de celles d'un bâtiment basse consommation.

L'isolation acoustique est renforcée vis-à-vis de l'extérieur mais aussi à l'intérieur. Les vibrations au passage des trains sur les voies sont atténuées grâce à des boîtes à ressort placées à la base du bâtiment. ■

PARIS SACLAY CHAUFFÉ ET CLIMATISÉ PAR GÉOTHERMIE

Les quartiers de l'École polytechnique et de Moulon à Paris Saclay (Essonne) vont être raccordés à un réseau de chaleur et de froid entre 2016 et 2021. Le marché a été attribué à Idex Énergies et Egis Projects, en septembre. Le réseau est alimenté par une eau géothermique à 28°C (nappe de l'Albien) assistée de pompes à chaleur. Il pourra aussi récupérer de la chaleur sur des centres de données ou sur d'autres activités.

Dans un premier temps, 700 000 m² seront ainsi chauffés ou climatisés grâce à un investissement de 51,7 millions d'euros.

→ Gestion intelligente toutes énergies

Le réseau et ses sous-stations d'alimentation coûtent moins cher que l'installation d'une chaufferie autonome dans chaque bâtiment, selon l'Établissement public qui coordonne le développement

du plateau de Saclay avec la communauté d'agglomération du même nom. Il est la première pierre d'une gestion intelligente et dynamique de toutes les énergies sur le site.

L'opération Paris-Saclay est un des territoires à énergie positive distingués par la ministre de l'Écologie. À ce titre, il recevra 500 000 euros du fonds de financement de la transition énergétique en plus d'autres aides (Fonds chaleur, etc.). ■

MULTIPLIER PAR CINQ LES RÉSEAUX DE CHALEUR

La loi de transition énergétique n°2015-992 a fixé l'objectif de multiplier par cinq les réseaux de chaleur d'ici à 2030.

L'association Amorce représentant entre 500 et 600 collectivités locales sur 800 adhérents, a proposé que l'aide du Fonds chaleur soit accessible aussi aux petites extensions de réseau, ce qu'elle appelle la densification.

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie a donc rédigé des conditions d'éligibilité au fonds en ce sens.



Futurs logements du quartier de l'École polytechnique, une des deux premières zones de Paris Saclay à être alimentées par le réseau de chaleur et de froid.

BRANCHE INFRASTRUCTURES CHEZ EIFFAGE

Eiffage a créé une branche infrastructures où il réunit Eiffage Travaux Publics - route et génie civil - et son activité de construction métallique, soit 23 000 collaborateurs.

Dans cette branche, ces spécialités seront affichées sous trois marques : Eiffage Route, Eiffage Génie civil et Eiffage Métal. Jean-Louis Servranckx, président d'Eiffage Travaux Publics, en prend la présidence. Le groupe est désormais organisé en quatre branches avec, à côté des infrastructures, la construction, l'énergie et les concessions. Grâce à cette évolution, Eiffage veut proposer des projets clés en main, en France et à l'international. Le groupe a des filiales en Allemagne, Belgique, Espagne, Pologne et Portugal. Il est présent au Sénégal, au Canada et en Colombie.

TUNNELS D'ASSAINISSEMENT

Bouygues Travaux Publics participe à la réalisation de deux tunnels d'assainissement dans le sud de Doha, capitale du Qatar, en groupement avec l'entreprise locale Urbacon Trading & Contracting. La filiale de Bouygues Construction remporte un marché de 285 millions d'euros sur les 550 du contrat.

Les tunnels seront mis en service en 2019. Le premier mesure 16 km et 3 m de large, le second, 14 km et 4,5 m.

Ces collecteurs souterrains fonctionneront par gravité conformément au désir de l'Autorité des travaux publics de l'État du Qatar d'être dans une logique de développement durable. La population de Doha augmente, d'où un redimensionnement de son réseau d'eaux usées.

TRAMWAY EN ÉTHIOPIE

Deux lignes de tramway devaient être opérationnelles cet automne à Addis Abeba, capitale de l'Éthiopie. Les deux lignes construites et financées en partie par des entreprises chinoises, vont d'est en ouest et courent sur 34 km. Une ligne, nord-sud, est déjà en service.

L'opération revient à 420 millions d'euros dont 85 % apportés par la banque chinoise Exim.

Cette implantation dans l'agglomération qui abrite l'Union africaine, est présentée comme un point stratégique du développement d'autres infrastructures : voies ferrées, autoroutes et barrages électriques. (Source : Agence France Presse).

VINCI SE RENFORCE DANS LE CLOUD COMPUTING

Vinci Énergies a conclu un accord pour acquérir APX Intégration, spécialiste de solutions informatiques clés en main en stockage de données sur plates-formes internet, serveurs, réseaux et virtualisation, éléments de cloud computing.

Ce projet est soumis à l'approbation de l'autorité de la concurrence.

APX Intégration apporte son portefeuille de clients privés et publics, et ses partenaires technologiques, très utiles à Axians, marque de Vinci Énergies dédiée aux solutions en technologies de l'information et de la communication, notamment le cloud et les centres de données (data centers).

Axians réalise 1,6 milliard d'euros de chiffre d'affaires dans 15 pays avec 7 000 collaborateurs.

RÉFECTION DE L'ÉTANCHÉITÉ D'UN STADE À ALGER



Le stade du 5 juillet 1962 est en rénovation jusqu'en 2016. Ici, reprise de l'étanchéité.

SOPREMA RACHÈTE QUATRE SOCIÉTÉS

Le groupe Soprema, à actionnariat familial, a acquis quatre sociétés en 2015. Le spécialiste d'étanchéité, de végétalisation et d'isolation a repris SIH, qui fabrique de l'éclairage zénithal et du désenfumage naturel en toiture (245 salariés, 41 millions d'euros de chiffre d'affaires 2014). Cette société de Moselle intègre la filiale Adexsi où se trouve déjà, depuis février, la filiale allemande du groupe Etex, Eternit Flachdach, spécialiste des coupoles de toits et des extracteurs de fumée (86 personnes, 21 millions d'euros de CA).

En Espagne, Soprema a initié le rachat d'Asfaltex, fabricante de membranes d'étanchéité et d'isolation acoustique (40 salariés, 11 millions d'euros), en juin. Enfin, Sirap, spécialiste italienne en isolation acoustique et thermique en polystyrène extrudé est entrée dans le groupe en août (193 salariés, 58 millions d'euros).

Soprema comptait, en 2014, 5 625 employés dans le monde et réalisait un chiffre d'affaires de 2 milliards d'euros.

LE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE SE REDÉVELOPPE

La société Suncnim a été créée fin juin pour proposer des centrales solaires thermodynamiques clés en main.

Le solaire thermodynamique produit de l'électricité grâce à une turbine actionnée par de l'eau surchauffée par des capteurs qui concentrent le rayonnement solaire. Puis l'eau est pressurisée et, si besoin, stockée plusieurs heures.

Suncnim est une filiale de Constructions industrielles de la Méditerranée (Cnim). Le fonds Société de projets industriels⁽¹⁾ apporte 25 millions d'euros au capital de la nouvelle société qui se monte à 55 millions au total.

→ Algorithmique du rayonnement

L'industriel avait participé au récepteur solaire à sels fondus - la centrale The-

mis - construit à Font-Romeu (Pyrénées-Orientales) dans les années 1980.

En 2010, il installe un pilote à miroirs concentrant le rayonnement solaire⁽²⁾ à La-Seyne-sur-Mer (Var), ce qui a préparé la mise en service d'un démonstrateur du même type en 2012. Sur ce dernier, a été développé une algorithmique de correction et d'étalonnage des estimations ou historique à long terme du rayonnement solaire.

→ Centrale de 9 MW

Cette recherche, objet du projet Ecare, a reçu une aide des investissements d'avenir. Y étaient associés Bertin Technologies, Armines et Transvalor.

La technologie a été jugée économique, écologique, robuste et adaptée à l'auto-

Le stade du 5 juillet 1962 d'Alger (Algérie) est en travaux suite à l'effondrement partiel de ses tribunes en septembre 2013. Construit en 1972, une dizaine d'années après l'indépendance du pays, il fait partie du complexe olympique Mohamed-Boudiaf.

Le chantier de rénovation et consolidation des structures a commencé en mars 2014 par l'enlèvement de 2 300 dalles et la pose de nouveaux gradins supérieurs. Cette année, de nouveaux sièges ainsi que des écrans géants ont été installés, la pelouse a été rénovée ainsi que l'éclairage. L'imperméabilisation de l'ouvrage a débuté sur les 30 000 m² de gradins hauts et se termine en 2016 par les 20 000 m² de la partie inférieure des tribunes.

→ Chantier franco-chinois

Soprema, intervenue sur deux autres stades, a été choisie pour fournir toute l'étanchéité de celui-ci par le ministère algérien de l'Habitat, Egis et le bureau de contrôles CTC. Elle assiste l'entreprise chinoise de réalisation CSCEC.

Près de 100 tonnes d'étanchéité liquide Alsan 500 et de produits de la même gamme ont été livrées sur ce chantier. L'étanchéité se compose d'une couche de primaire en résine polyuréthane mono composante (250 g/m²), trois couches de résine Alsan 500 dans le même matériau (600 g/m²) puis une de finition avec silice fine antidérapante. ■



Pilote à miroirs à concentration solaire à La-Seyne-sur-Mer (Var), ayant servi à concevoir un démonstrateur industriel.

nomie énergétique. La nouvelle société Suncnim va construire une centrale du même type de 9 MW avec stockage de trois heures à Llo (Pyrénées-Orientales). ■

⁽¹⁾ Le fonds SPI est financé par le programme d'investissements d'avenir et opéré par BPI France.

⁽²⁾ Miroirs de Fresnel : capteurs plats qui suivent la course du soleil et en concentrent le rayonnement sur un tube absorbeur où circule de l'eau ou de la vapeur.

APPORT DES TOITS TERRASSES AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les toitures terrasses sont de plus en plus accessibles. Végétalisées, elles sont plus souvent mises à disposition des habitants de manière privative ou collective. Leur capacité à réduire les îlots de chaleur, si elles sont plantées, est souvent évoquée. Elles reçoivent des capteurs solaires voire des éoliennes. Elles retiennent les eaux pluviales à la parcelle afin de ne pas engorger les réseaux.

Les services d'urbanisme et le secteur immobilier y voient un moyen de densifier la ville en accroissant la surface disponible sur un même lot.

« La toiture terrasse n'a pas un usage prédestiné, elle est réversible dans le temps si cela a été prévu au départ, elle permet une architecture évolutive », observe Sabri Bendimérad, architecte, intervenant au colloque Toit-terrasse et architecture béton⁽¹⁾. Un toit à pentes sera plus figé.

→ Entretien et protection

« La couverture végétale protège l'étanchéité des ultra-violets et de la chaleur, » souligne Jean-Claude Zemmour, président d'Etancheco, dans la profession depuis près de soixante ans. Les dalles ou gravillons encaissent aussi les températures élevées, phénomène plus marqué depuis que les toits sont isolés, l'isolant thermique bloquant la diffusion de la chaleur vers le dernier étage d'un immeuble. La terrasse accessible a aussi ses contraintes. Les jardins sur les toits, en particulier ceux en végétalisation intensive - couche de terre de 60 cm et plus, plantation d'arbres -, doivent être entretenus au-delà du simple arrachage des pousses susceptibles d'endommager l'étanchéité.



Les jardins suspendus ont leurs propres exigences tant en conception qu'en exploitation.

« Il faut intégrer la protection des personnes contre les chutes et encadrer les populations qui la fréquentent, » précise le Centre d'information sur le ciment et ses applications.

→ Évacuer l'eau en excès

Elles exigent aussi de prendre en compte leur surcharge sur le bâtiment.

Il faut compter 150 kg/m² pour une végétalisation extensive avec 10-15 cm de

terre gorgée d'eau. Une structure en bois pourra y résister. Dans le cas d'un vrai jardin, le béton offre plus de résistance au poids.

Un soin particulier sera accordé à l'évacuation de l'eau en excès, notamment en cas de très fortes averses. ■

⁽¹⁾ Organisé par le Centre d'information sur le ciment et ses applications, le 23 septembre à Paris.

COMPOSITION DE LA VÉGÉTALISATION

La végétalisation d'une toiture plane se pose sur une isolation-étanchéité (pare-vapeur, isolant, membrane).

Elle comprend une couche drainante de l'eau en excès, une filtration des particules du substrat afin de ne pas boucher la couche drainante, un substrat où s'ancrent les racines et où l'eau est retenue.

DES LAMPADAIRES INTELLIGENTS



Le réseau d'éclairage public porte d'autres fonctionnalités comme le contrôle du stationnement, celui du remplissage des conteneurs, et une connexion en wi-fi.

Chartres (Eure-et-Loir) expérimente un éclairage intelligent pendant un an. Sur 17 lampadaires de la zone en test, sont installés des modules électroniques de communication à distance équipés de capteurs.

La détection d'un piéton et d'une voiture fait remonter l'intensité des luminaires. Les modules repèrent le niveau de remplissage et l'état de 6 conteneurs à déchets, ce qui déclenche si nécessaire une collecte ou la maintenance.

Ils comportent un accès wifi et contrôlent l'occupation de 8 places de stationnement de surface.

Les habitants des trois rues où est implanté ce dispositif, sont invités à donner leur avis afin de l'optimiser avant de le déployer plus largement. À terme, l'éclairage intelligent pourra aussi mettre en route l'arrosage des parterres si la station météo prédit un temps sec. Il relèvera les compteurs d'eau à distance, supervisera une borne de recharge de véhicules électriques et assurera de la vidéo surveillance.

Le pilote coûte 52 000 euros financés par Citeos, entreprise (Vinci Énergies), Sysplug, concepteur, l'agglomération et la ville de Chartres. ■

SOL MARBRÉ EN GRAVATS

Du marbre a été fabriqué à partir de déchets du BTP. Dix tonnes de briques, pierres calcaires et autres gravats provenant de la démolition d'immeubles et d'entrepôts d'un quartier d'Ivry-sur-Seine (Val-de-Marne) ont ainsi été réutilisées sur place dans une dalle en faux marbre de 260 m².

Les gravats, une fois concassés, ont été mélangés à du ciment et de l'eau puis coulés en strates. La formulation des composants a été affinée avec le Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton. Le choix des liants, adjuvants, granulats ainsi que leur proportion ont débouché sur une structure résistante à la flexion, écartant le risque de fissures sous le poids des piétons et par dilatation naturelle des matériaux.

Un protocole d'entretien et de restauration a été établi. La dalle est constituée d'une sous-couche en béton, d'un treillis de fibre de verre puis du béton de finition dont la fluidité permet d'imiter les veines d'un marbre. Ce type de sol baptisé Marbre d'ici a été conçu par l'artiste plasticien Stefan Shankland, en partenariat avec tous les acteurs du réaménagement de la place du Général de Gaulle. La dalle de marbre s'inscrit dans l'accompagnement artistique et culturel de la mutation de la Zac du plateau d'Ivry confiée à Grande Paris Aménagement.



Vue du traçage des veines de marbre avant coulage du béton.

DISPOSITIFS D'ANNONCE DE L'APPROCHE D'UN TRAIN

Maréchal Electric a posé 1 900 coffrets sécurisant la maintenance sur les voies de la ligne à grande vitesse entre Connerré, près du Mans (Sarthe), et Rennes (Ille-et-Vilaine).

Installés tous les 200 m sur les deux voies des 182 km du trajet, ces boîtiers signalent l'approche d'un train aux agents grâce à un coffret mobile qu'ils branchent sur une prise spécifique.

Ce "dispositif d'annonce pour les lignes grandes vitesses" (DALGV) est sonore et lumineux. D'ordinaire, ce système est placé seulement dans les zones d'aiguillage. L'intérêt de multiplier le DALGV tout le long des voies sera évalué. Chaque boîtier est doté d'un marquage propre facilitant sa traçabilité.

→ **Équipement standardisé**
L'équipement qui permet de "prendre la voie" en toute sécurité a été développé par le fabricant pour ce chantier puis standardisé pour d'autres projets. Il est homologué par la SNCF. Maréchal Electric a remporté le lot signalisation de cette LGV.

Rappelons que cette ligne fait l'objet d'un partenariat public privé de 3 milliards d'euros sur vingt-cinq ans depuis 2011, avec maîtrise d'ouvrage Eiffage Rail Express pour Réseau ferré de France. La mise en service est planifiée en 2017 ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Plus d'informations sur la LGV : Travaux, janvier-février 2015, pp 68-101.



© MARÉCHALÉLECTRIC

Les agents de maintenance branchent leur boîtier sur cette prise afin d'être avertis de l'approche d'un train.

PARTAGER L'ÉNERGIE À L'ÉCHELLE DU QUARTIER



© CORK INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Le campus du Cork Institute of Technology, un des deux sites d'expérimentation de Cooperate.

Concevoir l'énergie à l'échelle du quartier est le sujet de Cooperate - Contrôle et optimisation pour les quartiers à énergie positive - projet européen de trois ans qui a pris fin en septembre. Cooperate a reçu 3,7 millions d'euros du 7^e programme pour la recherche de l'Union européenne. Il réunit sept partenaires avec, aux côtés du pilote - l'Université technique RWTH d'Aix-la-Chapelle (Allemagne) - l'Institut de technologie de Cork et le Centre de recherches United Technologies (Irlande), l'Université de Manchester (Angleterre), le réseau de laboratoires Intel Labs Europe, et deux entreprises, Embix (Alstom/Bouygues) et Bouygues Énergies Services.

L'objet du projet était de développer une plate-forme internet ouverte et évolutive à laquelle différentes composantes éner-

gétiques d'un quartier seraient connectées. « Nous avons trouvé qu'il n'était pas possible de travailler sur une plate-forme unique, a indiqué Antonello Monti, coordonnateur du projet à l'Université RWTH. Il s'agit donc de faire communiquer différentes plates-formes entre elles grâce à une interface Web. »

→ Baisse des factures

Ce "système de système" mutualise les énergies, les stocke, les partage entre consommateurs sans être intrusif vis-à-vis des systèmes de chaque bâtiment et des infrastructures. Il pilote les technologies existantes.

Par exemple, il peut mettre en relation des bureaux et des maisons qui ont des besoins à des moments différents.

Les partenaires de Cooperate ont développé une méthode et proposent une

évaluation de l'intérêt du cloud avant de démarrer un projet.

Deux sites ont servi à expérimenter le concept : le siège de Bouygues dans les Yvelines et le campus de l'Institut technologique de Cork (CIT, Irlande).

→ Quelle gouvernance de quartier ?

Chez Bouygues où sont installés des capteurs solaires, de la géothermie et du stockage d'énergie, le concept a évalué une diminution de la facture d'énergie de 7 à 29% en mutualisant la gestion de l'énergie sur l'ensemble des bâtiments. Sur le campus du CIT, les factures de gaz et d'électricité peuvent baisser de 16 à 19%.

Lors de la présentation de Cooperate à Paris, plusieurs acteurs ont souligné qu'il manquait une instance de gouvernance au niveau du quartier. ■

LE CHANTIER DE L'INSTALLATION EXPÉRIMENTALE ITER AVANCE

Il a fallu plusieurs jours pour hisser à 160 m de haut la toiture métallique de 800 tonnes du hall d'assemblage de l'installation Iter à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône), mi-septembre. La structure a été soulevée d'un bloc par un système de vérins hydrauliques et de câbles.

Le hall d'assemblage abrite les ateliers d'apprêtage et de pré-assemblage des pièces de grande taille du futur Tokamak, cœur de l'installation qui explore l'exploitation de l'énergie produite par fusion de noyaux d'atomes légers.

→ 200 km de câbles supra-conducteurs

Par ailleurs, 200 km de câbles supraconducteurs ont été livrés en septembre. Ces câbles constituent les éléments de base des aimants produisant le champ magnétique, partie prenante de la fusion.

Leur production a demandé un tel effort industriel qu'une plaque a été posée en son honneur.

La construction de la plate-forme Iter a commencé en 2010. Lors de la première phase de quatre ans, a été réalisée la structure de soutien des trois bâtiments du Tokamak. Une fosse sismique de 17 m de profondeur sur 130 m de long et 90 m de large a été aménagée. Le radier porte 493 colonnes à patins antisismiques.

→ Sept entreprises françaises

La plate-forme Iter comprendra 39 bâtiments scientifiques. La construction du Tokamak a été attribuée à un consortium où figurent sept entreprises françaises et une espagnole. Le hall d'assemblage est compris dans ce contrat de 300 millions d'euros (2012).

Iter est une entreprise de coopération scientifique internationale.

L'Europe contribue pour moitié au coût de construction de l'installation, l'autre moitié étant versée par la Chine, l'Inde, le Japon, la République de Corée, la Russie et les États-Unis.

Pour en savoir plus : www.iter.org. ■



© ITER

Le toit du hall d'assemblage des composants d'Iter a été levé en plusieurs jours.

TROPHÉES DES TRAVAUX PUBLICS 2015

La cérémonie des Trophées des Travaux Publics 2015, s'est déroulée lundi 12 octobre, à la Maison des Travaux Publics. Les lauréats de cette 4^e édition révèlent des pro-

jets et des réalisations aussi créatifs et utiles que ceux qui les ont précédés et symbolisent la dynamique d'une profession résolument tournée vers l'avenir.

GRAND PRIX : SOLETANCHE BACHY / DES BACTÉRIES POUR RENFORCER LES SOLS



Le procédé « naturel » permet une intervention efficace, dans des conditions difficiles ou pour les sols fragiles, reconstituant un sol semblable à du calcaire avec un impact minimum sur l'environnement. Pour Annette Esnault-Filet, chef de projet Recherche et Développement, « en nous attribuant ce trophée sur un sujet de rupture, le jury de la FNTF, que nous remercions, a fait le choix d'ouvrir la voie à la biogéotechnique. C'est donc pour Soletanche Bachy un commencement comme un aboutissement. L'aboutissement est celui de dix ans de recherches avant une première mise en œuvre sur le terrain. Mais c'est aussi un commencement puisque nous disposons maintenant d'un procédé dont la souplesse et les qualités assurent

de couvrir un très grand champ d'applications tant en termes de types de sols que de configurations. Bien entendu, et c'est essentiel de nos jours, l'impact environnemental de notre innovation est à la hauteur des exigences contemporaines. Nous sommes réellement satisfaits et encouragés de constater que la profession s'engage avec nous dans une démarche de développement durable en positionnant ainsi une biotechnologie. »

La mise au point de Biocalcis est née de la recherche d'un procédé permettant de traiter des sols fins réputés non injectables, particulièrement lorsqu'aucun autre moyen ne peut être mis en œuvre, en cas de très faible perméabilité des sols concernés pour éviter tout risque de montée en pression.

Biocalcis, procédé industriel d'injection destiné au renforcement de sol par voie biologique, est un procédé plus « doux » que ceux existants (jet-grouting), exploitant la capacité de certaines bactéries à calcifier les terrains en place. La calcite (assimilable à un « grès calcaire ») obtenue agit comme un « ciment biologique » au sein du matériau dans lequel elle se dépose. La bactérie agissante, *Sporosarcina pasteurii*, est produite en grands volumes par Soletanche Bachy. Le procédé est applicable par injection à une très large gamme de perméabilités et de natures de terrains, tout en étant peu intrusif. Il permet également de renforcer des sols fins sous des ouvrages en service sans modifier les propriétés hydrauliques initiales du sol et dans le respect de l'environnement. La résistance mécanique atteinte en quelques heures dans des terrains perméables, y compris des terrains assez fins, sous nappe ou hors nappe, est comprise entre 0,1 MPa et quelques mégapascals. Respectant le volume poreux du sol, Biocalcis ne modifie pas les régimes d'écoulement souterrains. Enfin, le bilan carbone de Biocalcis est très favorable. L'entreprise Soletanche Bachy, spécialiste des sols, intervient pour les travaux de fondation, de terrassement, les travaux maritimes, etc.

LE JURY

ÉTAIT COMPOSÉ DE :

Jean-Luc AIGOIN, Représentant de l'association Les Eco Maires, maire de Saint-Jean-de-Serres et vice-président de l'intercommunalité du Grand Alès.

Olivier BAUMANN, Chef du service « Économie-Entreprises » *Le Moniteur*.

Marc COURBOT, Animateur du groupe de travail « Voirie espace public ouvrages d'art », direction « Espace public et voirie » de Lille Métropole communauté urbaine, membre de l'AITF.

Yves FORTINEAU, Président de la commission « Santé sécurité » de la FRTP Pays de la Loire, FNTF.

Bernard HERITIER, Président, Revue générale des routes et de l'aménagement.

Michel LALLEMENT, Président de la Délégation du matériel de la FNTF.

Frédérique LE MONNIER, Déléguée Développement durable, direction « Stratégie & territoires », GrDF.

Jean-Christophe LOUVET, Président de la commission « Développement durable » de la FNTF.

Gilles RAMBAUD, Rédacteur en chef, *Le Moniteur Matériels*.

Michel SCHIETEQUATTE, Directeur commercial France, Ritchie Bros.

Marc TASSONE, Directeur général, Iddrim.

TROPHÉE RESSOURCES HUMAINES

Vinci Construction Terrassement / Localiser immédiatement les compétences de l'entreprise

Vinci Construction a mis en place un portail cartographique permettant de visualiser rapidement l'ensemble des compétences d'une entreprise et de les situer.

TROPHÉE ACCEPTABILITÉ DES CHANTIERS

Société Alvertazzi - Groupe Serfim / Balise sonore pour les malvoyants sur les chantiers

Un nouveau dispositif est mis en place afin d'aider les malvoyants et les non-voyants à contourner un chantier. Les individus souffrants de ce type d'handicap sont ainsi mis au courant de la déviation grâce à un signal sonore sur la télécommande normalisée dont ils sont équipés. Ils sont alors prévenus et le chemin à suivre pour contourner ce chantier leur est indiqué.

TROPHÉE NUMÉRIQUE

Charier / Un outil de communication et d'enregistrement léger

Le suivi des opérations est désormais facilement accessible depuis les chantiers grâce à des applications numériques disponibles sur tablettes. Cette dématérialisation permet aux cadres des chantiers de gérer des opérations de tout ordre depuis leur lieu de travail (documentation budgétaire, humaine, suivi administratif...).

TROPHÉE INNOVATIONS TECHNIQUES ET RECHERCHE

Etandex / Stopper réellement les infiltrations d'eau dans les tunnels

L'ensemble des procédés ECOMINT assurent une étanchéité totale à l'aide de solutions minces, adaptables à toutes les géométries. Ils sont mis en œuvre en limitant les perturbations d'exploitation par des interventions sur des plages horaires limitées. C'est une alternative à des solutions lourdes.

TROPHÉE PROCESSUS MATÉRIEL

Eiffage Travaux Publics - Encapsulation des chaussées polluées

La solution Recyclean d'Eiffage Route apporte une réponse efficace et économiquement intéressante. Recyclean est un procédé d'encapsulation sous protection humide des produits, qui en neutralise ainsi les effets et permet leur maintien en place.

TROPHÉE ENVIRONNEMENT

Ecoplage - ATP/Protéger la nature, fournir de l'eau potable et produire de l'énergie

Ecoplage est fait de trois parties : un système de drainage, une micro-station d'épuration et des pompes à chaleur. Ce processus écologique et économique permet de stabiliser les plages, procurer de l'eau douce à partir de l'eau de mer et fournir de l'énergie.

GUIDE PRATIQUE DES PROTECTIONS ANTI-BÉLIER

La protection contre les coups de bélier dans les réseaux hydrauliques fait l'objet d'un guide de bonnes pratiques rédigé par le Syndicat national des entrepreneurs, concepteurs et réalisateurs de stations de pompage (Snecorep). Il s'intitule *Données de conception pour l'étude des régimes*

transitoires, autrement dit ceux dont le débit change brutalement.

Le coup de bélier le plus commun suit une coupure d'électricité.

Mais les causes sont variées, toutes ont des conséquences néfastes sur les conduites d'eau et les joints, sans oublier les effets de retour d'eau, d'aspiration

indésirable d'eau ou d'air. Le guide de 122 pages permet à toute personne amenée à concevoir ou réaliser un réseau d'eau de prendre les dispositions anti-bélier nécessaires. Il s'adresse également aux maîtres d'ouvrage car il fournit les notions de base de cette problématique. ■



OUTIL DE RÉFLEXION SUR L'ACCÈS À L'EAU

L'ouvrage *L'accès à l'eau, droit de l'homme ou loi du marché ?* propose d'améliorer la mise à disposition de cet élément vital auprès de centaines de millions d'êtres humains. Faut-il laisser faire

la loi du marché ou convient-il de défendre l'eau comme un bien inaliénable ?

L'auteur, Franck Duhautoy, rappelle les coutumes et droits anciens référant à

cette question, montrant que le débat n'est pas nouveau, ce qui n'enlève rien à son actualité. Un outil de réflexion très complet puisqu'il couvre 752 pages.

www.editions-johanet.com ■



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 920 « Spécial BFUP (Béton fibré à ultra-hautes performances) »
- TRAVAUX n° 921 « Travaux souterrains »
- TRAVAUX n° 922 « Travaux maritimes et fluviaux »

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.
Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

Bertrand COSSON
 Tél. 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr



Carine REININGER
 Tél. 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• **30 NOVEMBRE AU 2 DÉCEMBRE**
9^e colloque de génie parasismique
 Lieu : Marne-la-Vallée (Ifsttar)
www.afps-seisme.org

• **30 NOVEMBRE AU 11 DÉCEMBRE**
Cop 21 : conférence des parties sur les changements climatiques
 Lieu : Le Bourget (Seine-Saint-Denis)
www.cop21.gouv.fr

• **14 AU 16 DÉCEMBRE**
Stratégies de modélisation des structures en béton
 Lieu : Rio de Janeiro (Brésil)
www.p.coc.ufri.br/sscs/

• **13 JANVIER 2016**
Forum ETP
 Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.forumetp.com

• **26 ET 27 JANVIER**
Rencontres de la mobilité intelligente
 Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)
www.congres-atecitsfrance.fr

FORMATIONS

• **1^{er} ET 2 DÉCEMBRE**
Entretien et exploiter la route dans une démarche développement durable
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **3 DÉCEMBRE**
Ponts en maçonnerie : élargissement
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **7 AU 9 DÉCEMBRE**
Eurocode 5 : conception et calcul des structures en bois
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **8 ET 9 DÉCEMBRE**
Développer votre culture d'innovation
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **8 ET 9 DÉCEMBRE**
Conduire des projets ferroviaires en phase amont
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **9 AU 11 DÉCEMBRE**
Géotechnique et génie civil : ouvrages géotechniques-1
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **14 AU 16 DÉCEMBRE**
Diagnostic des ouvrages d'art
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **15 AU 17 DÉCEMBRE**
Construire sur sols compressibles
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **16 ET 17 DÉCEMBRE**
Gestion, auscultation et entretien des chaussées
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

• **16 AU 18 DÉCEMBRE**
Du carrefour plan au giratoire en périurbain
 Lieu : Paris
<http://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

EIFFAGE :
 Suite au décès le 23 octobre de Pierre Berger, PDG, et jusqu'à la nomination de son successeur d'ici à fin février 2016, le conseil d'administration a délégué Jean-François Roverato au poste de président du conseil d'administration et nommé Max Roche directeur général.

BOUYGUES CONSTRUCTION :
 Marie-Luce Godinot est directrice innovation et développement durable. Elle remplace Philippe Van de Maele.

CAISSE DES DÉPÔTS :
 Anne Guillaumat de Blignières a été nommée médiatrice du groupe par le directeur général.

CIMENTS CALCIA :
 Serge Schmidt devient directeur général en remplacement de Jean-Yves Le Dreff qui quitte le groupe Italcementi.

EIFFAGE :
 Jean-Louis Servranckx, président d'Eiffage Travaux Publics, prend la présidence de la nouvelle branche infrastructures du groupe Eiffage.

MINÉRAUX INDUSTRIELS :
 Sandra Rimey succède à Sébastien Jallon au secrétariat général de l'Association syndicale professionnelle Minéraux industriels-France.

SNBPE :
 Bernard Gusparo a été élu président du collège béton prêt à l'emploi du Syndicat national du même nom en région Bretagne, le mandat de Marc Caradec ayant pris fin.

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE :
 Michel Colombier a été nommé président du comité d'experts pour la transition énergétique. Il est directeur scientifique de l'Institut du développement durable et des relations internationales.

TRAVAIL :
 Myriam El-Khomri a été nommée ministre du Travail, de l'Emploi, de la Formation professionnelle et du Dialogue social suite au départ de François Rebsamen.

UNPG :
 Martin Hiblot remplace Arnaud Hétroit au secrétariat général de l'Union nationale des producteurs de granulats.

VINCI :
 Arnaud Palliez entre dans le groupe en tant que directeur des relations investisseurs.

CONSULTEZ
TRAVAUX
 SUR INTERNET

revue-travaux.com

Vous pourrez :

- Vous abonner en ligne.
- Télécharger gratuitement des articles.
- Accéder à la présentation de la revue.
- Consulter 17 ans d'archives de la revue.
- Compléter votre collection.

UN DOUBLE ENJEU ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE

EFFICACITY EST L'UN DES INSTITUTS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE (ITE) CRÉÉS À L'INITIATIVE DU COMMISSARIAT GÉNÉRAL AUX INVESTISSEMENTS (CGI) AFIN DE RELEVER LE DÉFI DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DE LA VILLE, ENJEU CRUCIAL, À LA FOIS ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE CONSISTANT, NOTAMMENT, À RÉDUIRE DE 20% D'ICI 2020 NOS CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE ET NOS ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE.

CLAUDE ARNAUD, PRÉSIDENT D'EFFICACITY, NOUS PRÉSENTE LES ENJEUX AUXQUELS IL EST CONFRONTÉ. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1

POUR RELEVER CE DÉFI, COMPTE TENU DE LA COMPLEXITÉ DU PROBLÈME, IL ÉTAIT INDISPENSABLE DE CRÉER DES MÉTHODES ET DES OUTILS NOUVEAUX : L'ITE EFFICACITY, « INSTITUT POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DE LA VILLE » EST L'UN D'ENTRE EUX.

Bien que des politiques innovantes et de nombreux projets aient été déjà engagés, les résultats ne sont pas encore à la hauteur des espérances. En quoi, la création d'Efficacity pourrait-elle accélérer la tendance pour répondre à l'enjeu de l'efficacité énergétique ?

Efficacity est un Institut de recherche et développement d'un genre nouveau, fondé sur une démarche de recherche-action et alliant les meilleures compétences françaises du public et du privé,

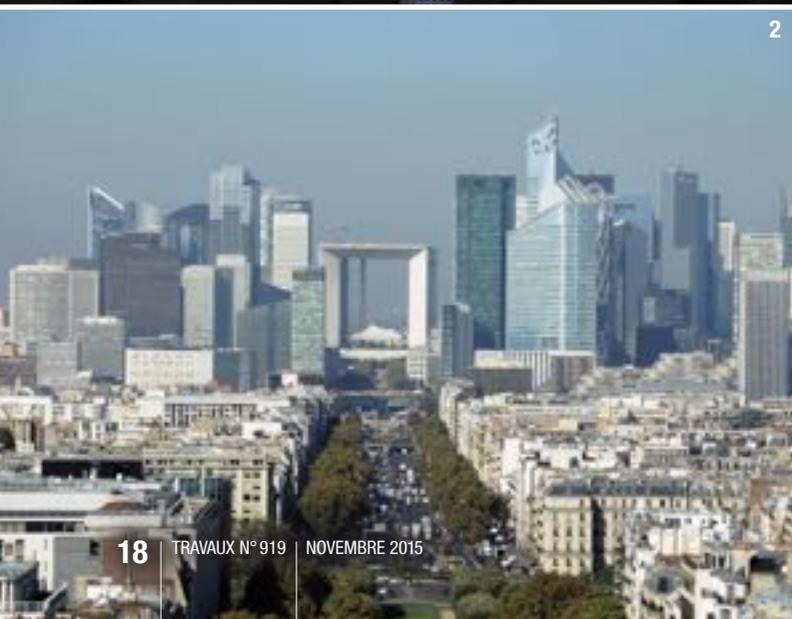
comme l'ont fait avant nous d'autres pays.

Il présente plusieurs caractéristiques originales : il ne se consacre pas à la recherche fondamentale, traitée largement par ailleurs, mais à une recherche partenariale appliquée, proche de la réalité du terrain.

Partenariale, car Efficacity est l'aboutissement d'un partenariat public-privé entre le monde académique et le monde économique : c'est-à-dire, d'une part entre des écoles d'ingénieurs, des universités, des instituts de

© MARC MONTAGNON

© MARC MONTAGNON



2



3

recherche publics et, d'autre part, des entreprises.

Deuxième originalité : à la recherche proprement dite de base s'ajoute la volonté de passer à des applications pratiques, afin de faire assez vite la preuve de l'efficacité des travaux de recherche.

Troisième particularité : ces instituts sont co-financés par des entreprises et par l'État, mais les aides de l'État ne sont que des aides d'amorçage. L'État apporte des subventions financières à ces instituts en leur demandant en contrepartie d'être autonomes économiquement au bout de 5 à 6 ans.

Il faut ainsi que les travaux élaborés aient une valeur économique, qu'ils

puissent être mis à disposition du marché pour que des clients achètent, soit des prestations de recherche, soit les produits de la recherche qui peuvent être, par exemple, des logiciels ou des technologies directement utilisables. Sous-jacents à cette initiative de l'État, il y avait deux objectifs : d'abord, pour faire simple, l'abaissement de l'empreinte carbone dans notre pays mais aussi la réponse au défi de l'international. Nous avons en France des entreprises et des laboratoires publics leaders dans leurs spécialités de sorte que nous réunissons un ensemble de compétences extrêmement fortes et nous avons des difficultés, pour des raisons historiques et culturelles,

à exporter cette capacité à l'international, notamment parce que ces entreprises et ces organismes publics ont du mal à travailler ensemble, pour le dire de façon plus directe : à « chasser en meute ».

Dans le contexte que vous venez d'évoquer, comment ces ITE et comment Efficacity ont-ils été créés ?

La dizaine d'ITE existants, tous spécialisés dans un domaine particulier, ont été constitués à la suite d'un appel à manifestation d'intérêt. Efficacity est celui qui a été retenu pour le domaine de l'énergie en milieu urbain. Efficacity est une société commerciale

de type SAS dont les parts sont détenues à 51 % par des industriels (entreprises et sociétés d'ingénierie) et 49 % par le monde académique.

Les 6 grandes entreprises sont toutes, dans leurs spécialités, des leaders sur leur marché : la construction avec Vinci, l'énergie avec Engie et EDF, le service urbain avec Veolia Environnement, le transport avec la RATP et Veolia, le numérique avec IBM.

Auxquelles s'ajoutent 7 sociétés d'ingénierie spécialisées dans le domaine de l'urbain : Abmi, Arcadis, Assystem, Tpti, Safège, Ingerop et Setec.

Les 49% restants du capital sont détenus par 15 structures académiques sous la houlette de ce que l'on appelle maintenant les Communautés Universitaires, en l'occurrence la COMU Paris-Est, qui se sont fait une spécialité dans le domaine de l'urbain : des universités ainsi que plusieurs grandes écoles (École des Ponts, ESTP, ESIEE, EIVP), et les grands laboratoires publics que sont le CSTB et l'IFSTTAR, auxquelles s'ajoutent trois écoles d'architecture, l'IGN, le Cerema et l'École des Mines de Paris.

La réponse que nous avons faite à l'État dans son appel à initiative est donc un tour de table qui rassemble une partie importante des compétences françaises du monde de l'urbain.

Comment fonctionnez-vous et quel objectif vous-êtes vous assigné ?

Nous avons convenu avec les 28 actionnaires de cette structure d'une méthode et d'un programme de recherche.

La méthode met l'accent sur trois éléments : un changement d'échelle, une approche systémique, une approche des technologies et des usages. ▶

1- Claude Arnaud, président d'Efficacity.

2- Efficacity : relever le défi de l'efficacité énergétique de la ville.

3- 51% des parts d'Efficacity sont détenues par 6 grandes entreprises toutes leaders dans leurs spécialités : le chantier de l'Arena, à Nanterre.

4- La rénovation est une bonne façon d'accélérer l'amélioration énergétique des bâtiments.

5- La gare et ses fonctionnalités sont l'un des éléments constitutifs de la ville.

CLAUDE ARNAUD, PRÉSIDENT

Au cours de sa carrière, Claude Arnaud a occupé différents postes de responsabilité au sein du Groupe Veolia Environnement.

Il est, depuis 2011, directeur du développement France de Veolia Transdev, après avoir occupé successivement le poste de directeur de la recherche et de directeur régional délégué de la Région Méditerranée au sein de Veolia Transport.

Claude Arnaud préside Efficacity depuis la création de la société en 2013.

EFFICACITY : LE CONSORTIUM

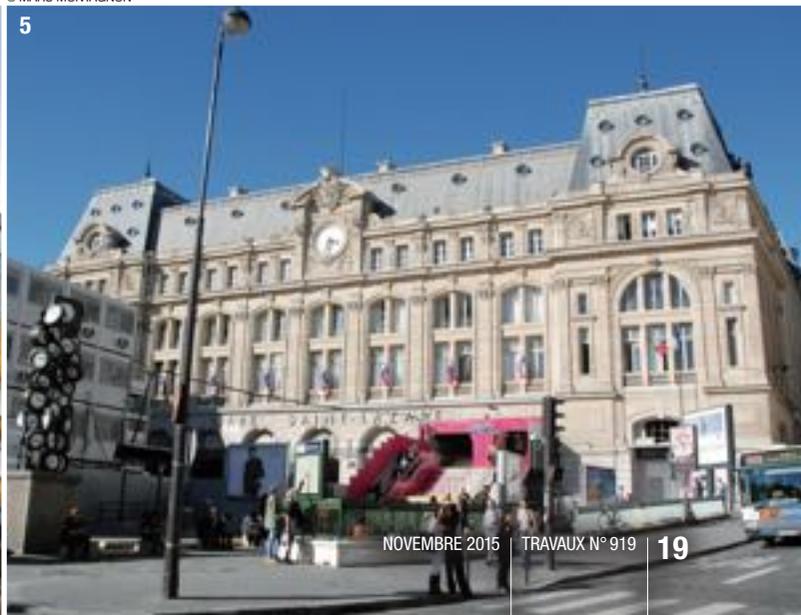
Efficacity est composé d'acteurs de référence aux compétences complémentaires :

- **6 industriels** : EDF, Engie, Ibm France, Ratp, Veolia, Vinci.
- **7 sociétés d'ingénierie** : Abmi, Arcadis, Assystem, Tpti, Safège, Ingerop, Setec.
- **15 structures académiques** : Comue Paris Est, Université Paris-Est Marne la Vallée (UPEM), Université Paris Est Créteil Val de Marne (UPEC), École des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP), École des Ponts, École Nationale supérieure d'architecture Paris-Belleville, École d'architecture de la ville & des territoires, Paris Malaquais, Esiee Paris, Estp, École des Mines ParisTech, Ifsttar, Cstb, Cerema, Ign.

© MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON



En matière d'économie d'énergie dans le domaine de l'urbain, des progrès considérables ont été réalisés, notamment dans la conception des bâtiments.

Nous partons de cet acquis mais nous changeons l'échelle pour aller du bâtiment vers l'îlot urbain, puis à la ville, qui existe ou à construire.

Nous raisonnons par ailleurs en considérant la ville comme un système : elle n'est pas seulement une addition de bâtiments et de voiries, mais doit être considérée dans son fonctionnement avec une approche globale incluant la compréhension des interactions et la dynamique de fonctionnement de ses différents éléments constitutifs les uns avec les autres et, notamment, le transport et la mobilité.

Troisième caractéristique de notre intervention : elle consiste à prendre en compte le facteur humain, c'est-à-dire le comportement de chacun de nous dans la ville pour ne pas raisonner uniquement en termes de technologie. Par exemple, si vous ne tenez pas compte de la façon dont les utilisateurs vont se comporter à l'intérieur du bâtiment le mieux « isolé » possible, vous n'obtiendrez jamais l'optimum dont il est intrinsèquement capable.

Les bulletins météorologiques en sont une bonne illustration : depuis peu, à la seule mesure « brute » de la température s'est ajoutée celle du « ressenti » de la température.

Le facteur humain est extrêmement important. Dans la centaine de chercheurs qui travaillent dans notre institut sélectionnés en fonction des compétences nécessaires pour notre programme de travail, une quinzaine vient du monde des sciences humaines. Nous avons souhaité associer dans une même démarche les sciences techno-



© MARC MONTAGNON

EFFICACITY : 6 AXES DE RECHERCHE

- 1- Conception d'un Pôle Gare Intermodal au plan du transport, de l'énergie et des services.
- 2- Conception d'une nouvelle morphologie du bâti collectif urbain intégrant sobriété, efficacité énergétique et énergies nouvelles.
- 3- Définition de scénarii de couplage de flux énergétiques entre sites de production et de consommation.
- 4- Étude des synergies entre technologies de production et de stockage énergétique (micro-cogénération à pile à combustible).
- 5- Mise au point d'un outil d'analyse de cycle de vie des composants urbains enrichi.
- 6- Analyse des dysfonctionnements urbains et de l'impact socio-économique des différentes technologies introduites en ville.

logiques et les sciences humaines. Le pari étant d'arriver à les faire travailler ensemble.

Quels sont les premiers projets sur lesquels travaillent vos équipes ?

Le programme établi par le consortium a pour objectif général l'amélioration de l'efficacité énergétique d'une ville. Il comporte trois volets :

Le premier consiste à travailler sur des éléments constitutifs de la ville et nous

en avons choisi deux thèmes : la gare et ses fonctionnalités, d'une part, l'îlot urbain, d'autre part.

La gare, c'est un bâtiment mais aussi un équipement adapté à recevoir des trains, des métros, des voitures et un hub de croisement de personnes en mobilité. Le problème est d'optimiser son fonctionnement en vue de réduire son intensité énergétique.

L'îlot urbain, c'est un ensemble de bâtiments à usages différents : logements, bureaux, activités économiques tels

qu'ateliers, commerces, etc. La question est d'organiser l'interaction entre ces constituants pour en réduire les consommations d'énergie.

Notre deuxième champ d'action consiste à optimiser les systèmes énergétiques à l'échelle d'un quartier. Jusqu'à aujourd'hui, la conception énergétique était essentiellement centralisée. Elle s'oriente désormais vers des schémas décentralisés : est-il possible dans un quartier de produire ou de récupérer de l'énergie, c'est-à-dire réduire la consommation inévitable, dite fatale, et la réutiliser.

Dans le système du métro, par exemple, on trouve de l'énergie de traction pour les trains et de l'énergie thermique, produite par le freinage des trains et leur passage dans les tunnels, énergie thermique qu'il faut ventiler. Notre travail consiste à regarder les conditions de récupération et de réutilisation de ces énergies avec la mise en place de dispositifs de stockage.

L'énergie ainsi récupérée, qu'allez-vous en faire ?

C'est précisément le troisième volet de notre action qui s'intéresse à la valorisation économique de cette énergie. La valorisation présente plusieurs difficultés : comment la mesurer, dans quel environnement et dans quel espace-temps se situer, c'est-à-dire ce que l'on appelle l'analyse de cycle de vie (ACV) ?

L'ACV consiste à comprendre la logique énergétique d'un bâtiment ou d'un produit depuis le début de sa construction jusqu'à sa fin de vie.

Dans le domaine industriel, en construction automobile par exemple, les constructeurs raisonnent déjà de cette manière et l'ACV est couramment pratiquée.



© MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON

Dans le domaine de la ville et du bâtiment, c'est plus compliqué car on est sur des temps très longs : la durée de vie moyenne des bâtiments est de l'ordre de 100 ans, ce qui correspond à un renouvellement du parc de 1% par an. Ce qui est insuffisant. La rénovation est une bonne façon d'accélérer l'amélioration énergétique des bâtiments.

Quel pourrait être le modèle économique pour parvenir à ces réformes de structure ?

Le problème est de définir le modèle économique sur la base duquel ces transformations peuvent être engagées : quelle est la valeur économique de l'énergie que l'on va récupérer ? Pour qu'un bâtiment consomme moins, il va bien falloir investir et le retour sur investissement doit être mesuré par l'économie d'énergie réalisée. Encore faut-il qu'on sache la mesurer et la convertir en euros.

Pour résumer, notre programme, c'est repenser quelques éléments constitutifs de la ville, travailler sur des actions très pragmatiques, telles que la récupération d'énergie d'un train ou d'une gare et comment la stocker puis la réutiliser au moment où le besoin s'en fait sentir, enfin, comment est-il possible de la valoriser. En France, on consomme chaque année environ 70 milliards d'euros d'énergie dont, très schématiquement, 30 milliards dans le monde industriel, 30 milliards dans le monde de la ville et les 10 milliards restants dans des activités extrêmement diversifiées. Les engagements nationaux et européens prévoyaient (accords de Kyoto) de réduire d'ici 2020 de 20% nos consommations d'énergie et nos émissions de gaz à effet de serre. Les objectifs fixés à plus long terme, à l'horizon 2050, sont encore

EFFICACITY INSIGHT : LABEL ET MODÈLE ÉCONOMIQUE INNOVANTS

Les modèles et indicateurs issus de la recherche d'Efficacity, validés en situations réelles, permettront le développement d'outils (logiciels, bases de données, référentiels d'évaluation et de formation, marques, etc.) à destination des acteurs de l'urbain de la conception des projets jusqu'à l'évaluation de leur performance effective. Cet ensemble d'outils, rassemblé dans la labellisation « Efficacity Insight », vise à terme d'être la référence internationale de l'urbain.

6- Le siège d'Efficacity, à Champs-sur-Marne.

7- Une gare, c'est un « hub » de croisement de personnes en mobilité : le pôle d'échanges multimodal de Strasbourg.

8- Aller de l'échelle du bâtiment, vers l'îlot urbain, puis à la ville.

9- Troisième caractéristique de l'intervention d'Efficacity : prendre en compte le facteur humain.

10- Dans le système du métro, on trouve de l'énergie de traction pour les trains et de l'énergie thermique.

plus ambitieux, c'est le facteur 4. Pour y parvenir, un effort majeur devra être porté au niveau des villes (logements, bureaux, commerces, transport urbain, etc.) qui représentent à elles seules 2/3 des consommations d'énergie et environ 50% des émissions de gaz à effet de serre.

Dans ces conditions, l'objectif fixé pour 2020 peut-il être atteint ?

En 2015, à 5 ans de 2020, on est loin, toutes choses restant en l'état, de pouvoir y parvenir même si les efforts accomplis ont permis de réduire la consommation d'énergie, en grande partie essentiellement en raison de la crise économique, qui a baissé l'intensité industrielle et que l'on paie très cher aujourd'hui, ainsi que par des progrès sensibles dans les domaines de la construction et de l'automobile. Notre ambition est d'avoir en 2020 les outils pour atteindre 10% de réduction de consommation.

Si l'on décide de réaliser ne serait-ce que 10% d'économie, soit 3 milliards par an, cela donnerait 3 milliards de levier financier que l'on pourrait réinjecter dans le schéma économique.

L'exemple du transport public illustre bien l'intérêt d'une telle volonté.

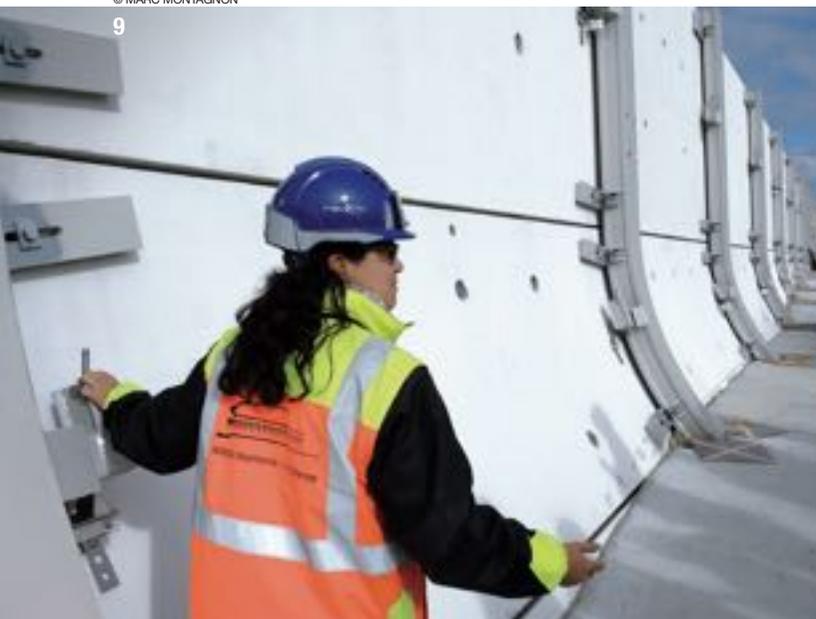
En France, le transport public coûte 4 milliards d'euros par an dans l'ensemble des villes de province et, en Île-de-France, de l'ordre de 4,5 milliards d'euros, en frais de fonctionnement et investissements de renouvellement, hors investissements de développement.

En Île-de-France, le modèle économique coûte très cher mais fonctionne correctement. En province ce n'est pas le cas, même si la situation actuelle est plus favorable en raison de la baisse du prix du fuel. Il n'empêche que la France a un système de transport public dont la rentabilité est extrêmement faible. Si on réinjectait une partie de l'économie d'énergie dans le modèle économique du transport public, on rentrerait dans un cercle vertueux qui améliorerait de façon pérenne la situation. C'est cela qu'il faut construire : mettre en évidence des foyers de récupération d'économies.

Ce raisonnement est naturellement trop théorique car les 30 milliards sont très diffus et que le ciblage des économies est très compliqué à mettre en place. Mais l'essentiel est de se mettre dans un chemin de progrès continu. Cela résume l'intérêt et la nécessité de ces ITE : faire travailler en réseau et non pas en silo des personnes qui, chacune dans leur univers, excellent dans leur activité ; identifier réellement les foyers de progrès technologiques et intégrer les comportements humains pour entrer petit à petit dans des logiques où les résultats auront la priorité sur les moyens. C'est ce que l'État a initié avec ces ITE et c'est ce que nous sentons deux ans à peine après l'entrée en activité de notre institut. Monter en performance est tout à fait possible. □

© MARC MONTAGNON

9



© MARC MONTAGNON

10





1
© ATELIERS DE CERGY

ATELIERS DE CERGY

DES ESPACES

DE LIBERTÉ D'EXPRESSION

ET DE PARTAGE DES IDÉES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

DEPUIS PLUS DE 30 ANS, LES « ATELIERS DE CERGY » ORGANISENT EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL DES ATELIERS DE PRODUCTION COLLECTIVE AU SERVICE DU PROJET TERRITORIAL, PERMETTANT DE PORTER UN REGARD NOUVEAU, VARIER LES ÉCHELLES, OUBLIER LES FRONTIÈRES ADMINISTRATIVES, REVISITER LES TERRITOIRES. LEUR VALEUR AJOUTÉE RÉSIDE DANS LA PRODUCTION D'ANALYSES ET D'IDÉES ORIGINALES, D'UNE PART, ET DANS LES RENCONTRES ET ÉCHANGES INFORMELS DES DÉCIDEURS, ACTEURS ET PROFESSIONNELS DE L'URBAIN, D'AUTRE PART.

Ce que met en avant Marion Talagrand, urbaniste et paysagiste, membre du Comité d'Orientation Scientifique des Ateliers de Cergy depuis 2011. Elle a participé en tant qu'expert à différents ateliers. Elle a piloté celui qui s'est tenu en 2013 à Douala, au Came-

roun ; elle prépare celui qui se tiendra à Haïti en 2016 et dont elle assurera le pilotage.

« Les Ateliers Internationaux de Maîtrise d'Œuvre Urbaine de Cergy-Pontoise », que nous appellerons « les Ateliers de Cergy »⁽¹⁾ selon la dénomination familière qui les distingue sur tous

1- Cergy-Pontoise aujourd'hui.

les continents, sont une association à but non lucratif créée en 1982 par les urbanistes de la Ville Nouvelle de Cergy-Pontoise à l'initiative de Bertrand Warnier, au sein du SAN (Syndicat d'aménagement de la Ville Nouvelle). Architecte-urbaniste co-fondateur des Ateliers, il a été longtemps directeur des

études générales et de l'urbanisme au sein de la ville nouvelle de Cergy-Pontoise.

« C'est à cette époque que la notion de maîtrise d'œuvre urbaine a été formulée, conceptualisée et mise en pratique, précise Marion Talagrand, car l'équipe de concepteurs et d'urbanistes qui travaillait au sein du SAN souhaitait renouveler les réflexions sur l'urbanisme et la ville nouvelle. Ils ont ainsi organisé des workshops d'étudiants qui se tenaient fin août - début septembre sur un sujet de la ville nouvelle et qui sont devenus peu à peu, au fil des années, une institution ».

Pendant près d'une vingtaine d'années, entre 1983 et 1999, les Ateliers de Cergy ont été centrés d'abord sur la ville nouvelle de Cergy, puis ensuite élargis à l'ensemble de l'Île-de-France, avant de prendre à partir de 1998, une dimension internationale au fur et à mesure de l'intégration en leur sein d'étudiants et de professionnels venus d'autres pays pour participer à ce qui

2- Marion Talagrand, urbaniste et paysagiste.

3- Un document historique : la plaquette de l'atelier de 1984 sur le thème « Cergy-Pontoise : un centre-ville contemporain ».

4- Quelques unes des publications récentes des Ateliers de Cergy.

© ATELIERS DE CERGY



MARION TALAGRAND : URBANISTE ET PAYSAGISTE

De double formation, Marion Talagrand est urbaniste diup et paysagiste dplg et exerce depuis 1998 son métier d'urbaniste-paysagiste, sans distinction des deux disciplines.

Elle a créé l'Atelier Marion Talagrand (AMT) en 2008 après avoir été récompensée par le Palmarès des Jeunes Urbanistes en 2007 et par les Albums des Jeunes Architectes & Paysagistes en 2006 et développe en son sein des projets urbains, paysagers et de territoire.

Entre autres travaux, elle a récemment livré une étude pour le projet de forêt urbaine du Grand Paris et les espaces publics du quartier du Port du Rhin à Strasbourg.

Membre du Comité d'Orientation Scientifique (COS) des Ateliers Internationaux de Maîtrise d'œuvre Urbaine de Cergy-Pontoise depuis 2011, elle est également professeur associée à l'École Nationale Supérieure de Paysage de Versailles (ENSP).

se voulait être un lieu de créativité et d'impertinence par rapport aux habitudes, ainsi qu'un lieu de défrichage. Parmi les nouvelles questions : la nouvelle échelle de composition urbaine, loisirs et culture en ville, l'urbanisme de séparation des circulations, la ville et ses lisières, la ville autour d'un aéroport, la croissance urbaine... autant de sujets sur lesquels les Ateliers se sont interrogés avant qu'ils ne soient partagés plus largement.

DES RÉPONSES AUX ENJEUX DE DEMAIN

« La démarche transversale et pluridisciplinaire des Ateliers de Cergy, poursuit Marion Talagrand, est fondée sur la confiance en la capacité de jeunes professionnels issus du monde entier à appréhender la complexité urbaine et à travailler ensemble pour faire émerger des réponses aux enjeux de demain : elle est l'une des grandes innovations du formidable laboratoire urbain qu'a été la ville nouvelle de Cergy-Pontoise depuis sa création, il y a plus de 40 ans ».

Leur organisation est classique. Ils fonctionnent avec un Conseil d'administration qui rassemble de nombreux acteurs de l'aménagement des collectivités en Île-de-France parmi lesquels, pour en citer quelques uns, la Communauté d'agglomération de Cergy-Pontoise, Grand Paris Aménagement, ex AFRP⁽²⁾, EPF Île de France⁽³⁾, un Comité d'orientation scientifique, des équipes de pilotage des ateliers et une équipe permanente. La directrice des Ateliers de Cergy est Christine Lepoitevin.

L'association organise en France et à l'international des ateliers de production collective au service du projet territorial, permettant de porter un regard nouveau, de varier les échelles, d'oublier les frontières administratives, de revisiter les territoires.

Ces ateliers réunissent des étudiants ou des professionnels de toutes nationalités, sélectionnés avec une grande exigence, qui prennent part pendant plusieurs semaines à une réflexion en équipe au croisement de la planification et du projet architectural et urbain, en intégrant d'autres disciplines : géographie, économie, paysage, sociologie, art, ingénierie, environnement, sciences politique, etc.

Au fil des ans, un réseau international de bénévoles s'est constitué autour des deux mille personnes qui ont déjà participé à l'un d'entre eux : professionnels ainsi qu'universitaires et décideurs en matière d'aménagement urbain.





5



6



7



8

Leur rôle est de mettre sur pied des projets d'atelier pour chacun desquels il convient d'organiser la commande, la logistique, le contenu et la direction scientifique.

Chaque atelier comprend une trentaine de professionnels qui ont des spécialités diverses en aménagement et deviennent membres du réseau dès lors qu'ils ont participé à un atelier, ce qui contribue à l'élargissement permanent du réseau, compte tenu du fait que sont organisés chaque année depuis plus de 30 ans plusieurs ateliers, en France et à l'étranger sur tous les continents, à l'exception de l'Australie.

« La valeur ajoutée de ces ateliers, explique Marion Talagrand, réside d'une part dans la production d'analyses et d'idées originales, que les cadres habituels de la commande ne permettent pas toujours de faire émerger et, d'autre part, dans les rencontres et échanges informels entre élus, décideurs économiques, acteurs et professionnels de l'urbain qui jalonnent le déroulement des ateliers ».

« L'invention et l'aménagement de la ville supposent de travailler de façon

multidisciplinaire, entre architectes, urbanistes, ingénieurs, et il est important de disposer à cet effet d'espaces de réflexion communs ».

Depuis une quinzaine d'années, une nouvelle formule d'ateliers dits « professionnels » a vu le jour le plus souvent à l'étranger, faisant appel non pas uniquement à des étudiants et de jeunes professionnels, mais à des participants de tous âges, le plus souvent

à l'étranger, avec une même idée directrice : liberté complète de pensée, de réflexion, d'impertinence sur les sujets, pendant des sessions d'une quinzaine de jours mettant en commun les apports d'idées variées et différentes qui sont débattues afin de susciter une réflexion chez une maîtrise d'ouvrage. « C'est un deuxième point qui est très important dans les ateliers à l'étranger, poursuit Marion Talagrand. Ils ne por-



9

5- Atelier « Confluence 2009 » sur le thème : « le fleuve, avenir d'un territoire, la confluence Seine-Oise ».

6- Bangkok, Thaïlande : métropole fluviale (2008).

7- Nouakchott, Mauritanie : l'avenir pour défi (2014).

8- Cergy-Pontoise : atelier La Défense 2050 au-delà de la forme (2011).

9- Naya Raipur, Inde : modéliser une ville nouvelle et l'adapter au mode de vie indien (2012).



10

© ATELIERS DE CERGY

tent pas sur des sujets d'école : leur point de départ est toujours un questionnement qui émane d'une maîtrise d'ouvrage constituée ou potentielle, d'une collectivité ou d'un acteur de l'aménagement. Nous ne répondons pas à des commandes comme le ferait un bureau d'études classique mais plutôt à des interrogations émergentes. Et nous contribuons, par ce mode de travail collectif, à apporter déjà des débuts de réponse ».

« Nous apportons à la fois un contenu de réflexions et d'idées dont nos interlocuteurs se saisissent et une méthode de travail qui permet une acculturation à l'exercice de la maîtrise d'œuvre urbaine. En tout cas, c'est l'objectif poursuivi au delà de la tenue, dans le pays, d'un atelier de 15 jours ».

UN DÉROULEMENT BIEN SÉQUENCÉ

Un atelier, c'est un cadre de travail strict dans lequel une grande liberté est offerte afin de mettre en évidence des propositions qui soient vraiment nouvelles.

La durée est de 15 jours comprenant d'abord 2 à 3 jours d'immersion des participants dans la ville concernée avec visites de terrain, conférences et rencontres avec les partenaires.

10- Les équipes de l'atelier Île-de-France 2015.
11- Cergy-Pontoise : pleins d'enthousiasme, les jeunes urbanistes découvrent la ville nouvelle guidés par l'équipe des Ateliers (2015).

12- L'équipe « Oise Up ! » lauréate de l'atelier 2015 : « une ville de la connaissance et de l'innovation à l'ouest du Grand Paris ».

Les participants se regroupent ensuite en 3 à 4 équipes de 6 professionnels qui travaillent de façon intensive pendant 8 à 10 jours avec des séquences intermédiaires de présentations publiques ou semi-publiques. L'atelier se clôture par une présentation officielle détaillée des travaux de

chacune des équipes devant un jury international.

Ce jury rassemble alors, trie, hiérarchise les propositions afin de faire ressortir les plus intéressantes et de permettre aux décideurs de s'en saisir.

Le jury international, composé d'une vingtaine de personnes, comprend aussi bien des experts et professionnels nationaux ou étrangers, des techniciens de collectivités ou d'organismes d'aménagements et des élus locaux et internationaux.

Le jury est toujours présidé par Pierre-André Périssol, président des Ateliers de Cergy, et un représentant politique de la ville ou du territoire concerné. *« Il est important de préciser à ce sujet, indique Marion Talagrand, que les ateliers ne sont organisés qu'à la demande et avec la présence effective des élus. Nous ne voulons pas que les ateliers se limitent à un exercice académique mais qu'ils aient une utilité directe. Il est essentiel que les élus puissent s'en saisir et en fassent leur miel ».*

Si les ateliers durent 15 jours, ils nécessitent un temps de préparation qui peut être long - entre 12 et 24 mois - et sont aussi suivis, après leur tenue, de prolongements qui peuvent être tout aussi fructueux que les ateliers eux-mêmes.

UNE PRÉPARATION MINUTIEUSE

Tout commence par une mission exploratoire pour étudier la faisabilité de l'opération réalisée par des experts qui rencontrent des acteurs de terrain et leur proposent des sujets.

Chaque atelier donne lieu à l'édition de plusieurs documents :

- Le document sujet, correspondant à la commande d'un atelier par les autorités locales ;
- Le document de contexte, bâti à partir d'une recherche approfondie de 3 à 8 mois ;
- Le cahier de session, donné au jury et reprenant les projets présentés par les équipes ;
- Le document de synthèse, édité quelques mois après l'atelier et la réunion du jury.

L'EXEMPLE DE DOUALA

L'atelier de Douala, au Cameroun, procure une illustration représentative de la démarche initiée et suivie par les membres de l'association préalablement et pendant leur intervention, qu'il s'agisse d'atelier en France ou à l'étranger.

« Par exemple, à Douala, atelier que j'ai piloté avec Christophe Bayle, indique Marion Talagrand, la semaine exploratoire de 2012 a permis de déplacer complètement un sujet qui nous avait paru trop circonscrit, bien que très avancé au niveau de la planification, afin de l'adapter à une démarche d'approche plus qualitative de l'urbanisme, plus centrée sur la façon dont les habitants vivent leur ville au quotidien, qui apporterait un autre éclairage et des idées qui viendraient féconder les outils de planification déjà existants.

Nous avons proposé de travailler sur les activités informelles de la ville et leur insertion dans l'espace urbain : comment le travail informel, par définition d'un caractère peu ordonné, peut-il ▷



11

© ATELIERS DE CERGY



12



13



14

© ATELIERS DE CERGY

entrer dans une dynamique d'auto-organisation en coopération avec les autres acteurs urbains. »

L'atelier s'est tenu un an après, en 2013, et le sujet des activités informelles a permis de rassembler autour d'une table des acteurs qui n'avaient pas l'habitude de travailler ensemble : les représentants de l'économie formelle mais aussi ceux d'une économie plus informelle. Les débats ont permis de mettre un éclairage sur certains sites de la ville qui ne sont pas pensés comme étant des lieux stratégiques pour son futur mais sur lesquels il est important d'avoir une réflexion parce que, précisément, cette activité informelle⁽⁴⁾ est très présente et révélatrice d'une énergie dans la ville qui ne demande qu'à être canalisée pour participer à la croissance et au développement de Douala.

« Un tiers des participants à ces ateliers professionnels sont des locaux, précise Marion Talagrand. Il s'agit d'un élément très important de la démarche des Ateliers de Cergy car l'idée n'est pas de laisser sur place seulement un document papier mais de créer un lieu de formation, d'échanges et de rencontres, d'élargissement du réseau, de transfert de savoir par la rencontre de professionnels qui viennent d'ailleurs et de professionnels locaux ».

75 ATELIERS EN FRANCE ET DANS LE MONDE

Depuis leur création en 1982, les Ateliers de Cergy ont réalisé 75 ateliers - 35 en France et 40 dans le monde - ce qui confirme le caractère réellement international de leurs interventions même si la ville nouvelle de Cergy-Pontoise demeure le berceau de leur activité.

Parmi les très nombreuses réalisations effectuées pendant ces 30 dernières

années, toutes sont plus représentatives les unes que les autres de la déclaration de leur président Pierre-André Périssois figurant en exergue du livre réalisé pour les « 30 ans de créativité urbaine » : « Rares au monde sont ces espaces de liberté d'expression, de fécondation mutuelle et de partage des idées, de croisement des cultures et des disciplines, alliés à un vrai professionnalisme, pour penser ce lieu où de plus en plus d'habitants de notre planète vivent : la Ville ».

Le choix de seulement trois d'entre eux est forcément arbitraire : il a pour objectif d'éclairer sur la diversité des sujets abordés par les ateliers.

CERGY DANS LE GRAND PARIS

En premier lieu, vient l'atelier Île-de-France, qui s'est tenu en septembre dernier sur le thème : « une ville de la connaissance et de l'innovation à l'ouest du Grand Paris », piloté par Patrice Berthé, ingénieur urbaniste et Michel Jaouen, architecte urbaniste, fondateur des Ateliers avec Michel Gaillard et Bertrand Warnier.



15

© ATELIERS DE CERGY

13- Douala, Cameroun : « ville assemblée » (2013).

14- Le jury de l'atelier de Douala lors de la présentation officielle des travaux.

15- Porto Novo : un nouveau quartier en bordure de lagune (2010).

connaissance et de l'innovation et aux relations vertueuses qui peuvent naître entre développement économique, activité universitaire et de recherche et développement territorial.

Le territoire d'application proposé est celui du Grand Ouest de la métropole parisienne, de Cergy-Pontoise à Versailles en prenant comme centre de gravité et cas d'application Cergy-Pontoise et le territoire de la « Confluence ». La densité du tissu économique sur ce territoire, la multitude des acteurs universitaires présents et son emplacement stratégique en font un territoire propice à l'expression de la créativité et de l'innovation.

3 PROJETS TRÈS DIFFÉRENTS

Les trois équipes de 7 participants en présence ont fait chacune des propositions originales et très différentes l'une de l'autre.

Le projet lauréat « Oise Up ! » a pour ambition de faire de Cergy-Pontoise une ville de la connaissance et de l'innovation autour d'un pôle d'agro-développement. Il s'articule autour de trois axes stratégiques, à même de construire une ville innovante et en phase avec son histoire et les aspirations de ses habitants :

- Anticiper le développement de Neuville comme nouveau pôle urbain ;
- Développer un campus intégré à la trame urbaine et paysagère ;
- Favoriser l'innovation au cœur de la filière agricole.

Le projet Axe 109 veut donner du sang neuf à l'esprit novateur qui a prévalu lors de la création de la ville nouvelle. Il peut se lire à différents niveaux mais le fil rouge entre toutes ses propositions est la volonté de créer des liens physiques et immatériels.

Ce projet vise à structurer le potentiel d'innovation et de connaissance déjà



16



17

PARMI LES ATELIERS À L'ÉTRANGER

Hô-Chi-Minh (Vietnam) 1998

Canton (Chine) 1999

**Irkutsk (Russie) 13 ateliers
entre 2000 et 2014**

Schanghai (Chine) 2000

Doi-Tung (Thaïlande) 2001

Tokyo (Japon) 2002

Phnom Penh (Cambodge) 2004

Can Gio (Vietnam) 2005

**Porto Novo (Bénin) 4 ateliers
entre 2005 et 2012**

Casablanca (Maroc) 2006

An Giang (Vietnam) 2007

Bangkok (Thaïlande) 2008

Huludao (Chine) 2009

Vitória (Brésil) 2009

Cao Lanh (Vietnam) 2010

Saint-Louis (Sénégal) 2010

Changzhou (Chine) 2010

Bamako (Mali) 2011, 2014

Diyarbakir (Turquie) 2011

Puebla (Mexique) 2012

Thiès (Sénégal) 2012

Naya Raipour (Inde) 2012

Douala (Cameroun) 2013

León (Mexique) 2013

Nouakchott (Mauritanie) 2014

Cali (Colombie) 2014

16- Rencontre avec les populations à Nouakchott en Mauritanie (2014).

17- Travail en équipe lors d'un atelier.

présent à Cergy-Pontoise en créant les liens physiques et immatériels indispensables à l'émergence de synergies. Il tend à valoriser une offre universitaire, commerciale, tertiaire et de loisirs déjà présente.

L'Axe permettra de connecter les différents pôles d'activités de Pontoise, Grand Centre et le Port en conservant les traits singuliers de chacun de ces quartiers mais en offrant une palette d'ambiances différentes.

Le projet Co-Campus esquisse une ville-campus lovée dans un environnement mêlant ruralité et urbanité, où les liaisons douces sont parsemées de symboles incarnant le campus et la dynamique innovante de Cergy-Pontoise. C'est dans cet espace affirmé, unifié et cohérent que naîtront les innovations de demain, grâce à la mise en place de co-projets, de co-spaces, de programmes académiques communs et d'événements phares.

DOUALA, « VILLE ASSEMBLÉE »

Autre lieu, autres thèmes, l'atelier de Douala, déjà évoqué par Marion Talagrand, qui s'est tenu du 22 juin au 6 juillet 2013. La capitale économique du Cameroun est confrontée à deux questions d'urbanisme : comment améliorer les conditions de vie des habitants dans la ville existante et comment accueillir les nouvelles

populations à court et moyen terme ? L'arrivée de 100 000 nouveaux habitants tous les ans, avec pour horizon un accroissement de 1,5 millions d'habitants d'ici 15 ans, fera en effet passer la Communauté Urbaine de 2,5 millions d'habitants en 2012 à 4 millions aux environs de 2025.

Cette croissance démographique sans précédent a lieu dans un contexte de crise qui recouvre plusieurs dimensions :

→ **Économique** : une perte de compétitivité et d'attractivité dans un contexte de redéploiement industriel régional ;

→ **Environnementale** : une dégradation du site et une persistance des risques industriels ;

→ **Fonctionnelle** : une forte congestion urbaine liée à l'augmentation des déplacements ;

→ **Sociale** : des problèmes d'accès à l'emploi et au logement ;

→ **Identitaire** : un amincissement du lien entre la ville et son estuaire.

En lien avec cette croissance démographique, de nouvelles questions émergent :

→ Celles créées par la réponse du secteur informel à cet afflux de population et qui touche tous les aspects de la vie économique du logement des transports ;

→ Et celle aussi du débordement des espaces publics qui pèse sur l'attractivité générale de la ville de Douala.

Ces deux questions sont étroitement dépendantes de la crise économique mais peuvent aussi, si elles sont bien prises en compte, offrir à la ville de Douala des leviers pour permettre aux activités informelles de participer à l'économie urbaine et de pérenniser le rôle de Douala comme capitale économique du Cameroun.

LES ATELIERS À VENIR

À Haïti, l'atelier actuellement en préparation est original à plus d'un titre.

« *Les questions posées sont celles des rapports entre villes et campagnes* », précise Marion Talagrand. En effet, l'atelier concerne la Région des Palmes : 4 communes implantées dans une plaine littorale et qui s'étendent également en profondeur dans les montagnes. La Région des Palmes est située aux portes de Port-au-Prince et est progressivement intégrée au bassin de vie métropolitain.

L'atelier aura lieu alors que les phases d'urgence et de transition de l'après séisme (12 janvier 2010) sont presque achevées et alors que l'État d'Haïti se penche activement sur la réduction de la vulnérabilité du territoire afin de le prémunir des conséquences dévastatrices d'une nouvelle catastrophe.

Le Comité Interministériel à l'Aménagement du Territoire haïtien (CIAT), commanditaire de l'Atelier, s'intéresse en particulier à l'aménagement des villes moyennes et des campagnes afin d'améliorer les conditions de vie des populations in situ et de limiter la migration vers la capitale.

« *C'est à cet ensemble de questions que nous allons tenter de répondre en travaillant sur le cas concret de la Région des Palmes*, conclut Marion Talagrand, *dans le cadre d'un atelier qui se tiendra en 2016 et dont l'ambition est que les résultats aient une valeur démonstrative pour Haïti* ». □

1- contact@ateliers.org.

2- AFTRP : Agence Foncière et Technique de la Région Parisienne.

3- EPFIF : Établissement Public Foncier Île-de-France.

4- On entend généralement par « activités informelles » les activités économiques qui ne paient pas de taxe, c'est-à-dire qui ne sont pas référencées. Dans les villes d'Afrique, cela peut représenter jusqu'à 80 % de l'emploi.



© CEDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

LE MÉTRO DE MARSEILLE MET LE CAP AU NORD

AUTEURS : THOMAS KAYSER, DIRECTEUR DU GROUPEMENT SOLETANCHE BACHY FRANCE -
JULIE DUFRENOY, CHARGÉE D'AFFAIRES, SOLETANCHE BACHY AGENCE FRANCE SUD

POUR PROLONGER LA LIGNE 2 EN DIRECTION DE LA FUTURE STATION MULTIMODALE CAPITAINÉ GÈZE, SOLETANCHE BACHY A DÛ DÉPLOYER UN LARGE ÉVENTAIL DE SOLUTIONS TECHNIQUES - PIEUX, SEMELLES, BERLINOISES, PAROI MOULÉE, TRENCHMIX® - DANS UN ENVIRONNEMENT URBAIN PARTICULIÈREMENT DENSE ET CONFINÉ QUI A NÉCESSITÉ DE RECOURIR À UN MATÉRIEL COMPACT.

Le projet, qui s'inscrit dans le cadre de l'opération d'intérêt national Euromed 2⁽¹⁾, consiste à prolonger de 900 m la ligne 2 du métro de Marseille en direction du nord, de son actuel terminus Bougainville vers le dépôt RTM (Régie des Transports de Marseille) de Zoccola, boulevard du capitaine Gèze, où la future station éponyme (figure 2) est en cours de

construction (voir encadré) ; l'ensemble des travaux représente un investissement de 93,1 millions d'euros. Le lot confié à Soletanche Bachy consiste à réaliser les 430 m de plateformes de voies nécessaires au prolongement de la ligne de métro, répartis en deux tronçons distincts : 280 m au sud et 150 m au nord de la future station (figure 3).

INTERVENTION SOUS HAUTEUR LIMITÉE

La partie sud, située dans une ancienne friche industrielle sur laquelle était implantée la zone de retournement du métro (terminus Bougainville), se caractérise par des terrains médiocres de faible portance. La nécessité impérieuse de limiter les tassements absolus et différentiels entre les diffé-

rentes sections de l'ouvrage a conduit au choix d'implanter les voies sur une plateforme de 6,40 m de large (pente à 2%), venant se raccorder aux voies existantes à la sortie de la station Bougainville. Celle-ci est constituée d'une dalle béton rigide (figure 8) en II de 46,4 cm d'épaisseur (1 m au plus dans la trémie existante), reposant sur deux files de fondations profondes.

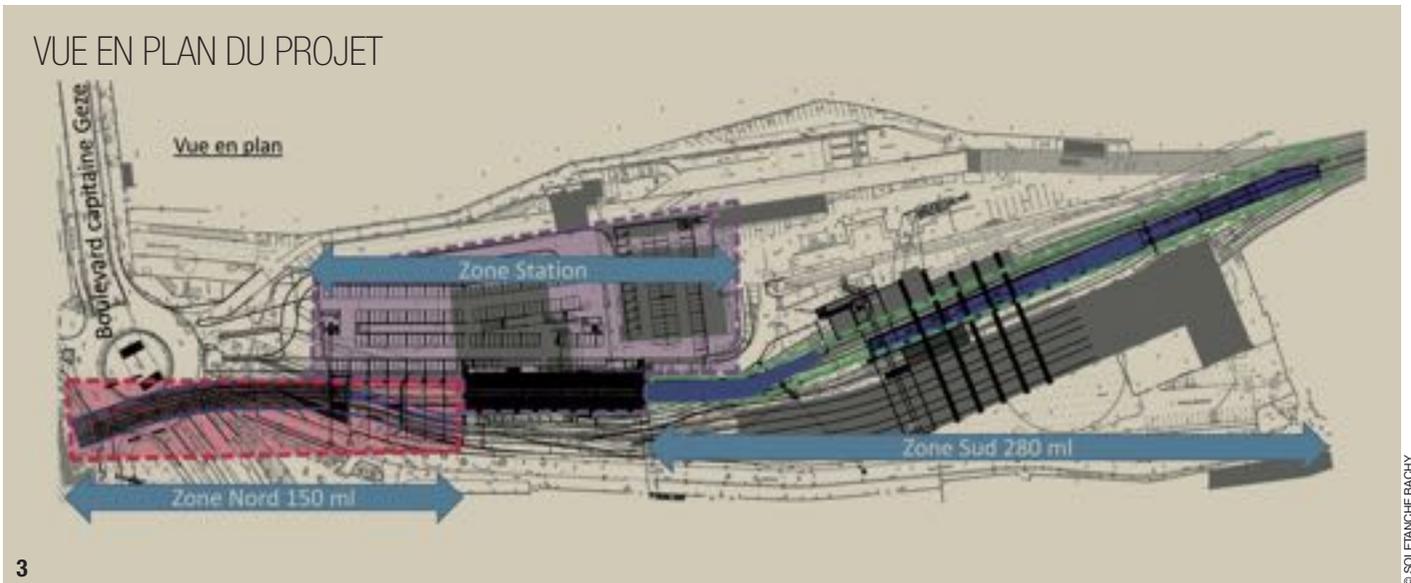


© GROUPEMENT MATRISE D'ŒUVRE

1- Vue du chantier pendant la réalisation des parois moulées sous faible hauteur.
2- Vue d'architecte de la station Capitaine Gèze.

1- View of the site during execution of the diaphragm walls under a low clearance height.
2- Architect's view of Capitaine Gèze station.

VUE EN PLAN DU PROJET



3

© SOLEILNANCHE BACHY

3- Vue en plan du projet.

4- Répartition des espaces dans le pôle d'échange.

5- Vue d'architecte du pôle d'échange.

3- Plan view of the project.

4- Spatial distribution in the exchange hub.

5- Architect's view of the exchange hub.

RÉPARTITION DES ESPACES DANS LE PÔLE D'ÉCHANGE



4

© GROUPEMENT MAÎTRISE D'ŒUVRE



5

© GROUPEMENT MAÎTRISE D'ŒUVRE

Elles sont constituées, pour l'essentiel, de 60 pieux Starsol® (voir encadré - figure 6) ancrés dans le substratum compact (Stampien), leur profondeur variant entre 17 et 21 m (diamètre 0,60 et 0,80 m). Le tracé passe à l'aplomb d'une trémie existante - qui sera par la suite remblayée, après exécution d'un nouveau radier capable de reprendre les surcharges -, construite il y a une vingtaine d'années, et sous des poutres treillis métalliques surplombantes d'un bâtiment mitoyen : la solution pieux forés n'a donc pu être mise en œuvre, eu égard aux contraintes d'exigüité et de faible hauteur de 6 m, sur l'ensemble des 280 m.

Dans cette partie spécifique (longueur 60 m), c'est une solution par barrettes (section 2,70 x 0,8 m - figure 7) qui a été retenue, les fondations de 17 m de profondeur étant réalisées par l'intermédiaire d'engins compacts à gabarit réduit de type KS court.

TRANCHÉE COUVERTE AU NORD

Autre contrainte majeure : la forte coactivité avec RTM, les travaux se déroulant au cœur du site de maintenance.

UN FUTUR PÔLE MULTIMODAL

Située à l'entrée nord de la ville, à mi-chemin entre l'A55 et l'A7, la future station Capitaine Gèze permettra de désengorger l'actuelle gare d'autobus de Bougainville (fréquentée quotidiennement par 22 000 usagers) tout en captant une partie du flux des véhicules entrant dans la cité phocéenne. Elle fera figure, en termes de transport, de nouvelle porte d'entrée pour Marseille, le bâtiment comprenant quatre niveaux - dont trois dédiés au parking et un réservé à la nouvelle gare de bus (figure 4) - permettant de séparer clairement les différents flux (transport collectif et véhicules de tourisme). Le pôle (figure 5), par lequel transiteront deux lignes de bus à haut niveau de service (BHNS), offrira une capacité de 615 places de stationnement dont 14 PMR et disposera d'une station de recharge pour les véhicules électriques. Un parc à vélos (50 places) et une zone réservée aux deux-roues motorisés (29 places) figurent également au programme.

Concrètement, dans un corridor de 10 m de large sur 230 m de long, à proximité des voies de métro en service !

La très faible place disponible et cette cohabitation obligatoire ont requis l'élaboration de phasages millimétrés, notamment au niveau de la micro berli-noise de 150 m de longueur, construite entre les voies existantes et la nouvelle plateforme.

Cet ouvrage, conçu en profilés H foncés (hauteur 5 m) liaisonnés par madriers et qui a pour fonction de limiter les tassements, a été réalisé de nuit, dans les créneaux horaires (entre 23 h et 4 h) impartis par RTM.

© CEDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

© SOLETANCHE BACHY



6



7

6- Réalisation des pieux Starsol®.

7- Réalisation des barrettes sous faible hauteur.

8- Coupe type de la voie fondée sur pieux.

9- Coupe de la tranchée couverte.

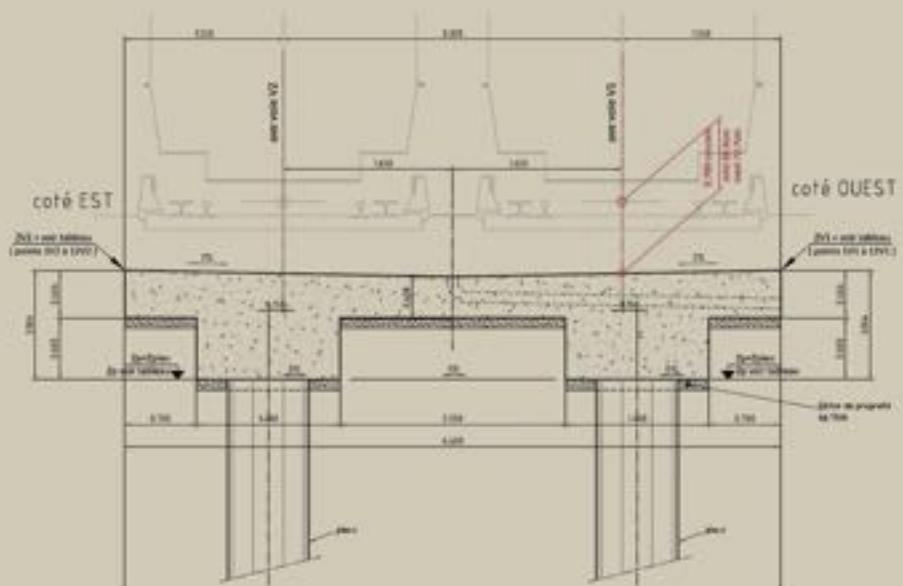
6- Execution of Starsol® piles.

7- Execution of barrettes under a low clearance height.

8- Typical section of track on pile foundations.

9- Cross section of cut-and-cover tunnel.

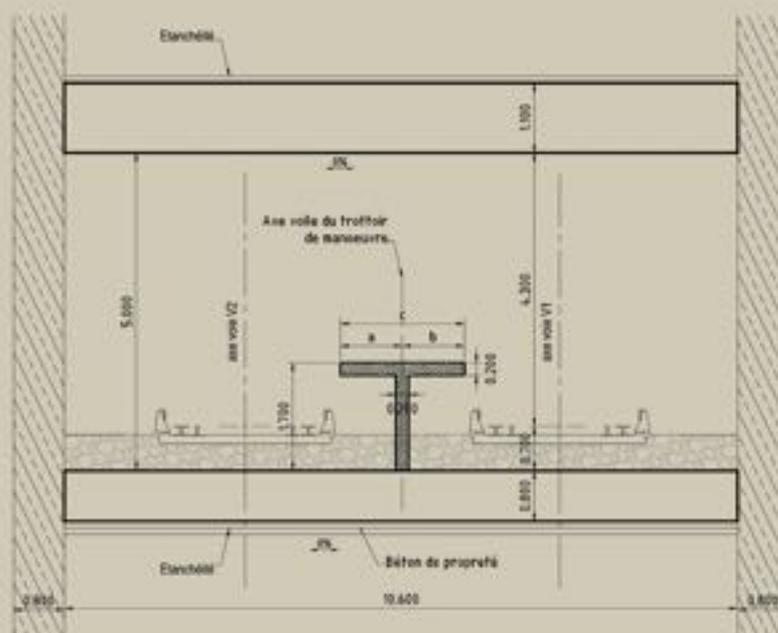
COUPE TYPE DE LA VOIE FONDÉE SUR PIEUX



8

© SOLETANCHE BACHY

COUPE DE LA TRANCHÉE COUVERTE



9

© SOLETANCHE BACHY

Changement de décor au nord, cette partie étant constituée d'une tranchée couverte de 150 m de longueur (section 10,60 x 5 m - figure 9) qui permettra au métro de s'enfoncer jusqu'à 10 m sous le boulevard Capitaine Gèze et servira de future zone de retournement pour les rames. Les premiers travaux ayant révélé la présence d'un site archéologique important, l'intervention des archéologues de l'INRAP⁽²⁾ a nécessité la construction d'une structure de soutènement provisoire (épaisseur 0,60 m) afin de protéger une zone de fouilles de 2 630 m², en forme de L (100 x 4 m), de 4 m de profondeur. Cet ouvrage, qui ne figurait pas au projet initial et se devait d'être exécuté le plus rapidement possible, a été réa-



lisé selon le procédé Trenchmix® (voir encadré - figure 10) armé (inclusion de profilés IPE 360 de 9 m de hauteur fichés dans le terrain) par voie humide. Le coulis, mélangé dans un bac de reprise, était en l'occurrence poussé jusqu'à la trancheuse par l'intermédiaire d'une pompe hydraulique à piston, réglable via un système de radio-commande proportionnel. ▷

10- Atelier Trenchmix®.
11- Réalisation de la paroi moulée à l'aide d'une benne courte sous faible hauteur.
12- Vue de la passerelle en courbe.

10- Trenchmix® equipment.
11- Execution of the diaphragm wall with a short grab under a low clearance height.
12- View of the curved foot bridge.

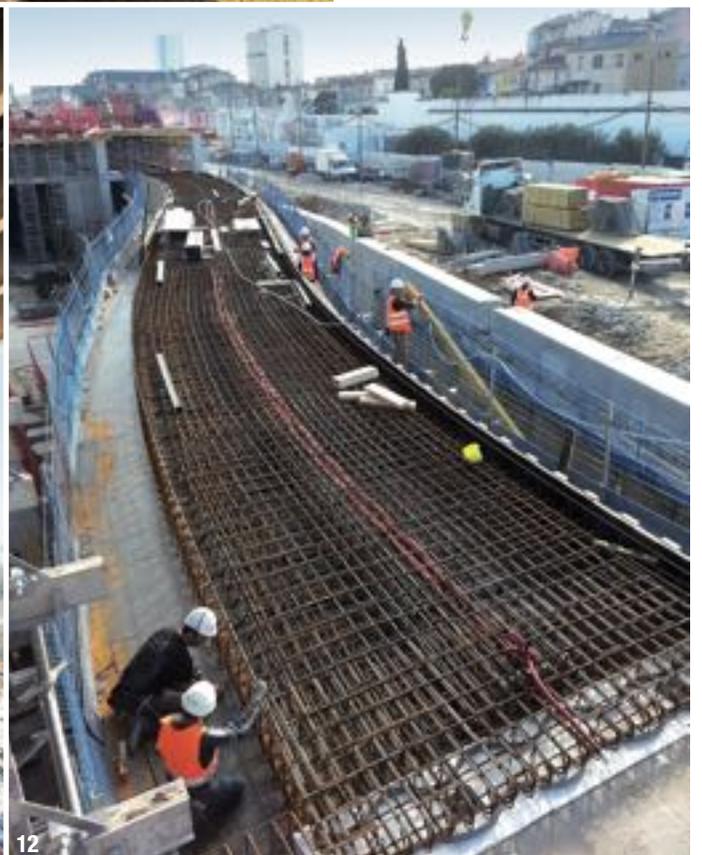
© SOLETANCHE BACHY

10



© CEDRIC HELSLEY POUR SOLETANCHE BACHY

11



12

Le grutier pouvait ainsi réguler le débit d'injection en fonction des besoins, la stabilité de la paroi étant assurée, en tête, grâce à des clous passifs reprenant les profilés par l'intermédiaire de liernes métalliques. Signalons que le procédé, qui était en l'occurrence parfaitement adapté à la nature du terrain (remblais en superficie et sables en couche profonde), offrait, outre la rapidité d'exécution déjà mentionnée, des avantages en termes de coûts d'exécution en regard d'autres solutions type berlinoise ou paroi au coulis.

TRAVAUX PHASÉS SOUS CIRCULATION

La déviation des réseaux existants, ainsi que le maintien de la circulation au niveau du rond-point, ont conduit à un découpage des travaux en quatre phases. Quant à la technique, c'est celle de la paroi moulée qui a été retenue, eu égard à la présence d'une nappe, mais aussi au souhait d'obtenir un ouvrage définitif.

Dans la pratique, l'intervention a débuté à l'extrémité nord, sur 75 m ; la tranchée est exécutée en taube, afin de permettre les différents basculements de circulation nécessaires, mais aussi une restitution plus rapide des emprises en surface aux concessionnaires.

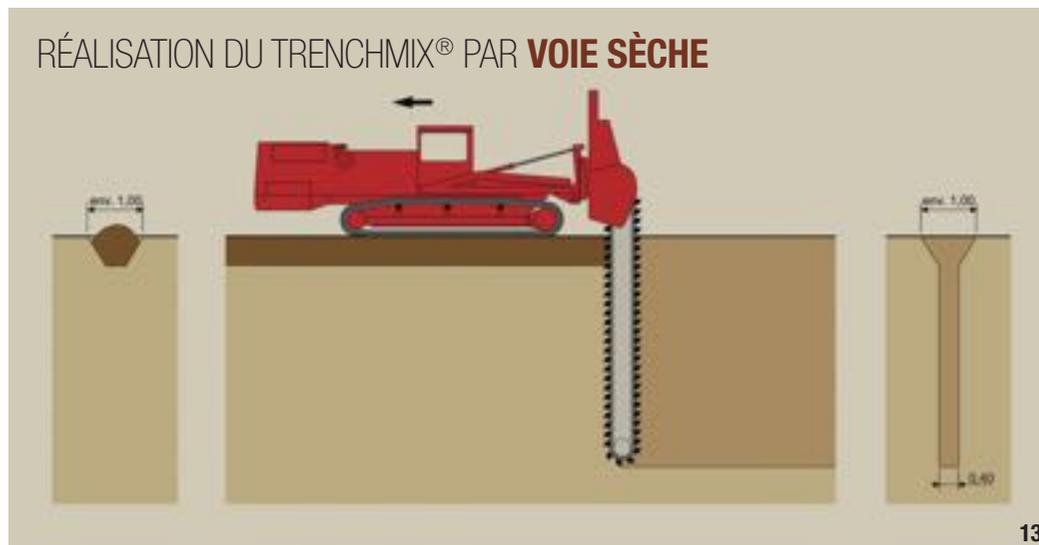
Une fois la paroi moulée terminée - les panneaux de 80 cm d'épaisseur sont ancrés à 18 m pour les plus profonds - la dalle de couverture (épaisseur 1,10 m) a ensuite été bétonnée, afin de permettre la poursuite des terrassements et du génie civil - dont l'exécution du radier de 0,80 m - en souterrain, à l'abri de celle-ci.

OBSTACLES SENSIBLES

L'évacuation des déblais s'est faite par l'intermédiaire du puits d'attaque, situé à l'extrême nord, qui sera transformé, au final, en locaux de ventilation et accès pompiers.

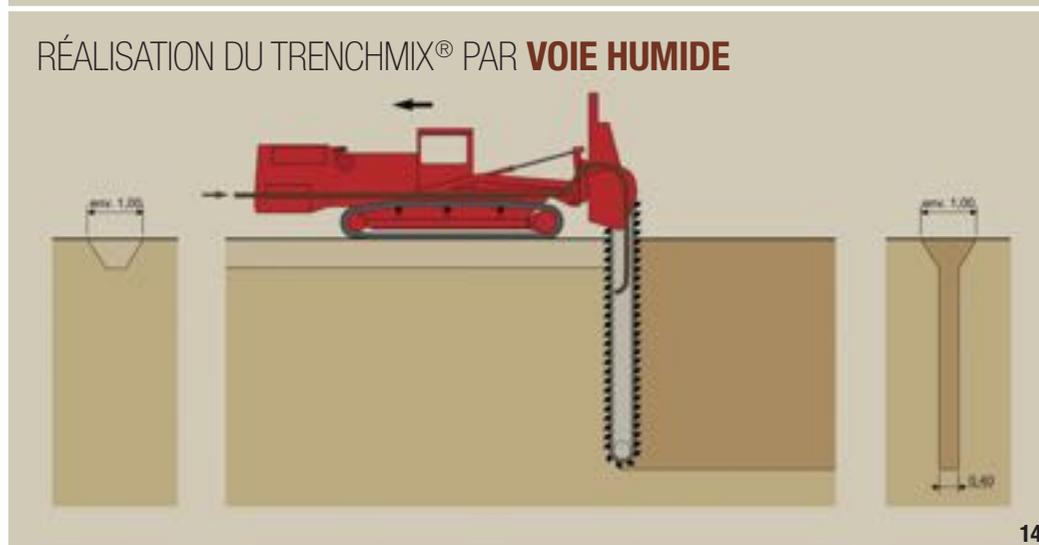
À noter que le passage sous le viaduc routier qui enjambe le boulevard du Capitaine Gèze s'est fait, lui aussi, sous faible hauteur ; d'où, là encore, l'obligation d'avoir recours à du matériel à gabarit réduit type KS court (figure 11). Autres obstacles majeurs : une canalisation en acier (diamètre 80 mm) de gaz sous haute pression, accolée à une conduite de réseau HTA, dont le tracé intercepte de part en part la tranchée couverte.

Ces éléments actifs, enfouis à environ 2 m de profondeur, ont été franchis avec succès ; l'exécution du panneau s'est effectuée après mise en œuvre



13

© SOLETANCHE BACHY



14

© SOLETANCHE BACHY

13- Réalisation du Trenchmix® par voie sèche.

14- Réalisation du Trenchmix® par voie humide.

13- Trenchmix® execution by dry method.

14- Trenchmix® execution by wet method.

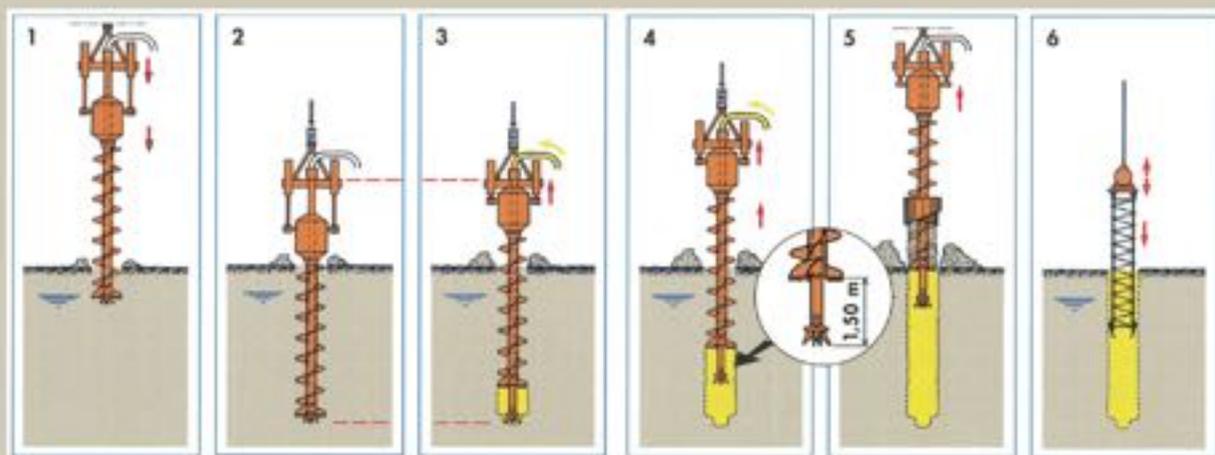
préalable d'une coque protectrice, en deux étapes, moyennant une légère inclinaison donnée à la benne.

La seconde phase de 75 m a, quant à elle, été menée de façon classique après réalisation des parois moulées : terrassements avec butonnage, coulage du radier, puis de la dalle de couverture et remblaiement.

LA SOLUTION TRENCHMIX®

Le procédé, inspiré des techniques de « sol-mixing » développées dans les années 1980 au Japon et dans les pays nordiques, puis aux États-Unis, repose sur l'idée d'utiliser le sol en place comme matériau de construction afin de renforcer les terrains. Avec, comme avantage évident, celui de diminuer la consommation des ressources naturelles, puisqu'il n'y a pas de béton ou de granulats à mettre en œuvre, l'apport de matériaux extérieurs se limitant, en l'occurrence, au ciment. Autre atout, environnemental : pratiquement pas de déblais. D'où une réduction des contraintes de mise en décharge - le corollaire économique étant l'élimination des coûts inhérents - qui se traduit par une diminution drastique des rotations de semi-remorques. Dans la pratique, le procédé Trenchmix® consiste à créer des panneaux ou des éléments continus de type tranchée - qui se comportent comme des inclusions semi-rigides - ces éléments étant réalisés à partir d'une trancheuse spécialement conçue à cet effet. Il est particulièrement bien adapté aux terrains mous sableux ainsi qu'aux argiles raides - les horizons hétérogènes pouvant renfermer des blocs très importants constituant ses limites d'application - pour des traitements de faible profondeur, qui n'excèdent pas dix mètres. Le terrain est mélangé, au fur et à mesure de l'avancement, à un liant qui est introduit sous forme pulvérulente (voie sèche - figure 13), ou sous la forme d'un coulis (voie humide - figure 14) préalablement formulé. Cette solution, qui permet également de créer des écrans d'étanchéité pour les terrains situés au voisinage de zones partiellement polluées, s'appuie sur une méthode de dimensionnement spécifique, la détermination des dosages en liant étant fonction des horizons rencontrés et des impératifs du projet.

RÉALISATION D'UN PIEU STARSOL®



© SOLETANCHE BACHY

15

LE PROCÉDÉ STARSOL®

L'outillage Starsol®, super-tarière de Soletanche Bachy Pieux, a renouvelé la technique d'exécution des pieux forés en assurant une capacité portante accrue. Une tête de rotation puissante, mue par un moteur hydraulique compact, entraîne simultanément une tarière creuse et un tube plongeur extensible. Ces derniers sont munis, à leur base, d'outils de coupe du terrain, l'ensemble étant vissé dans le sol à forte cadence, avec la possibilité d'ancrage dans des couches dures ou mi-dures. Le système de bétonnage, par deux lumières latérales situées à la base du tube plongeur, cumule les avantages du bétonnage classique à la colonne et du bétonnage sous pression. Les paramètres volume et pression du béton sont contrôlés en permanence afin de garantir la bonne exécution du pieu, ainsi que sa continuité parfaite sur toute la hauteur. Un dispositif dégage automatiquement les déblais au fur et à mesure de la remontée de la tarière. Des cages d'armature complètes peuvent ensuite être mises en place à l'issue de la phase de bétonnage (figure 15). Principaux avantages : pas de tubage, absence de boue de forage et aucun risque d'éboulement.

L'intervention des équipes de Soletanche Bachy s'est terminée par la réalisation d'une passerelle piétonne de 47 m de longueur qui assure la desserte de la nouvelle station.

Cet ouvrage courbe (figure 12), qui s'appuie sur deux culées de 25 m, a été coffré par le bas (hauteur 5 m) sur étaielements. Le bon déroulement de tous ces travaux, marqués par une forte

coactivité, a nécessité une coordination parfaite avec l'ensemble des intervenants répartis en 15 lots. □

15- Réalisation d'un pieu Starsol®.

15- Exécution d'a Starsol® pile.

- 1- **Euromed 2** : Projets-architecte-urbanisme.fr/euromediterranee-2-extension-projet-urbain-Marseille/
- 2- **INRAP** : Institut National de Recherches Archéologiques Préventives.

FICHE TECHNIQUE

MAÎTRE D'OUVRAGE : Communauté Urbaine de Marseille Provence Métropole (CUMPM)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Artelia Ville et Transport (mandataire) / Systra / Artelia Bâtiment et Industrie / C+T Architecture / Stoa Architecture / Carta et Associés / Atelier Barani

BUREAU DE CONTRÔLE : Groupement Apave / Certifer

COORDONNATEUR SPS : Société Présents

ENTREPRISES : Groupement Soletanche Bachy France (mandataire) / Inter Travaux

DURÉE DES TRAVAUX : 2 ans

ABSTRACT

THE MARSEILLE METRO HEADS NORTH

THOMAS KAYSER, SOLETANCHE BACHY - JULIE DUFRENOY, SOLETANCHE BACHY

The northern extension of Marseille metro line 2, toward boulevard Capitaine Gèze, required the creation of 900m of additional lines. Given the mediocre quality of the land, Soletanche Bachy's task was to build a concrete platform 280m long and 6.40m wide, supported on pile foundations (diameters 0.60m and 0.80m) and barrettes (21m for the deepest foundations), for the southern extension of the existing tracks from the current Bougainville terminus. In the north, a 150m diaphragm-wall covered shaft 10.60m wide was built. The structure was executed with complex work sequencing making it possible not to suspend motor traffic. Apart from the contact with concession operator networks, which is a classic problem on this type of project, it was the limited work heights which represented one of the main difficulties, and these cramped space constraints required the use of small-gauge compact equipment of the KS type. Note, too, the construction of a pedestrian bridge, of peculiar shape, which is not the core business of our teams. □

EL METRO DE MARSELLA PONE RUMBO NORTE

THOMAS KAYSER, SOLETANCHE BACHY - JULIE DUFRENOY, SOLETANCHE BACHY

La ampliación hacia el norte de la línea 2 del metro de Marsella en dirección al bulevard Capitaine Gèze ha precisado la creación de 900 m de líneas adicionales. La misión de Soletanche Bachy ha consistido en construir, dada la mediocridad de los terrenos, una plataforma en hormigón de 280 m de longitud y 6,40 m de anchura, sustentada en pilotes (diámetro 0,60 y 0,80 m) y barras (21 m para los cimientos más profundos), que permite, del lado sur, la prolongación de las vías existentes desde la terminal actual de Bougainville. En el norte se ha construido una rampa de acceso cubierta con pantalla continua de 150 m y 10,60 m de ancho. Las obras se han ejecutado siguiendo una compleja organización por fases que ha permitido no interrumpir el tráfico vial. Además de la coincidencia con redes concesionarias, un problema típico en este tipo de proyectos, las alturas de trabajo limitadas han constituido una de las principales dificultades, ya que estas restricciones de exigüidad requieren el uso de materiales compactos de gálibo reducido tipo KS. Asimismo, cabe destacar la construcción de una pasarela peatonal de geometría singular, ajena al campo de especialidad de nuestros equipos. □

LE NOUVEL OPÉRA
DE PARIS



FAÇADE LATÉRALE

1
© DR

LA RESTAURATION DE LA RAMPE DE L'EMPEREUR À L'OPÉRA GARNIER

AUTEURS : FLORENT MERLE, CHEF DE PROJETS, OPPIC - PASCAL PRUNET, ARCHITECTE EN CHEF DES MONUMENTS HISTORIQUES - MICHEL MOUSSARD, CONSULTANT GÉNIE CIVIL, ARCADIS

MODÈLE DE NOMBREUX OPÉRAS DANS LE MONDE, L'OPÉRA GARNIER FAIT L'OBJET D'UNE RESTAURATION COMPLÈTE QUI CONCERNE EN PARTICULIER LA RAMPE DE L'EMPEREUR, OUVRAGE COMPLEXE REPRENANT LE THÈME DES GRANDS DEGRÉS DU PALAIS DE LA CITÉ ET DE FONTAINEBLEAU. L'ASSOCIATION DES CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE DES ARCHITECTES, INGÉNIEURS, ARTISANS ET COMPAGNONS A PERMIS LA RESTITUTION DE CET OUVRAGE DANS SON ASPECT ORIGINAL, TOUT EN RENFORÇANT ET PÉRENNISANT SES STRUCTURES, EN FAISANT APPEL AUSSI À DES TECHNIQUES ET À DES MATÉRIAUX DE NOTRE ÉPOQUE.

CONTEXTE DES TRAVAUX DE RESTAURATION DE L'OPÉRA GARNIER

Les abords ouest du Palais Garnier (figures 1, 2 et 3), situés entre la façade ouest et la chaussée (rues Scribe et Auber), présentaient un état de dégradation avancé depuis de nombreuses années (figure 4). La rampe de l'Empereur, déconstruite puis reconstruite lors des travaux d'installation du RER A,

était devenue instable et nécessitait une reprise complète de sa structure.

Les éléments décoratifs périphériques (les cariatides, les colonnes rostrales, les colonnes impériales et les balustrades) constitués par différents types de marbre, de pierre de taille et de bronze étaient quant à eux très altérés. Ces besoins de restauration s'étendaient également à l'ensemble des supports et appareils d'éclairage au

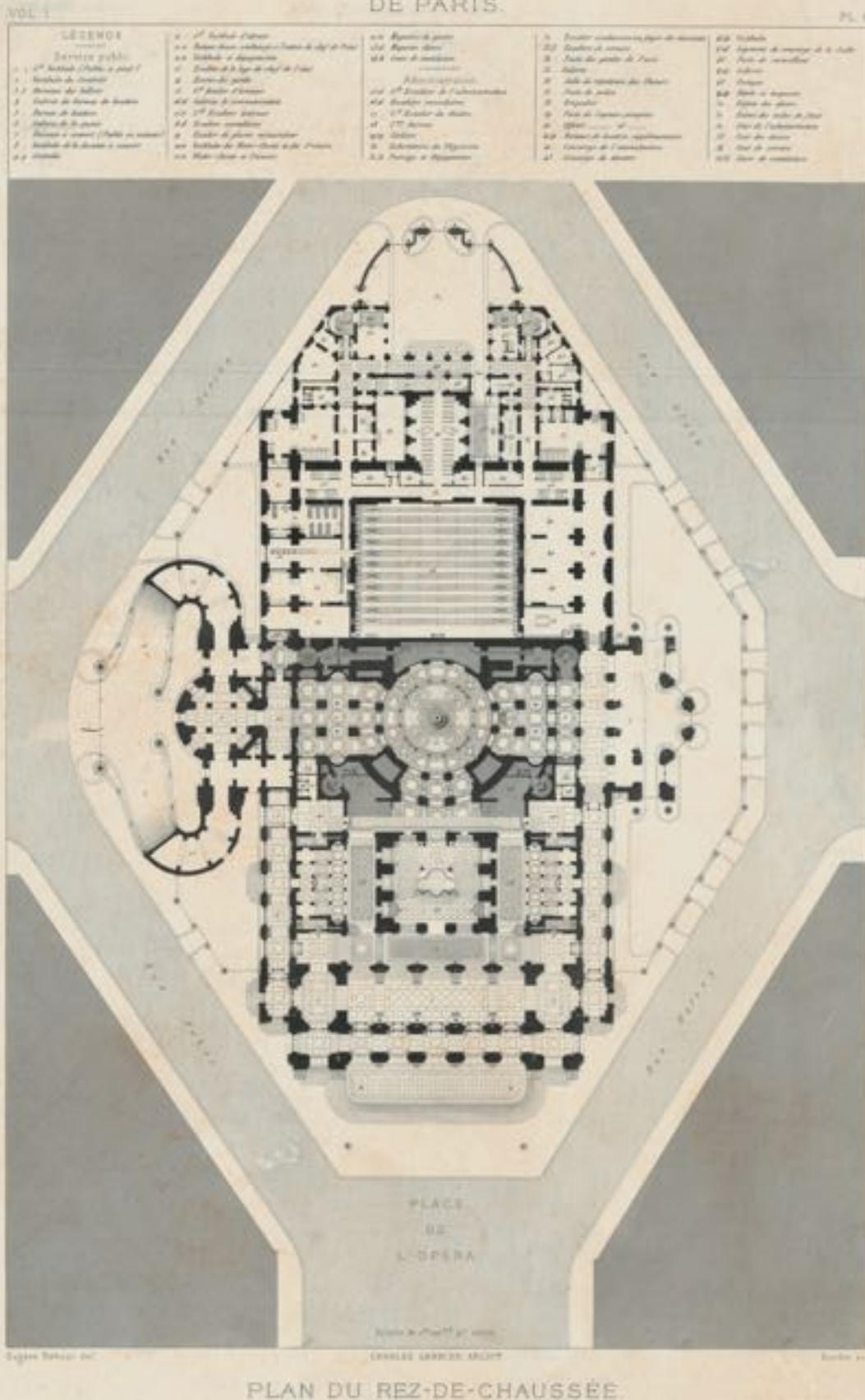
1- Façade latérale ouest. Le Nouvel Opéra de Paris Charles Garnier (1878).

1- West side facade. The New Charles Garnier Paris Opera House (1878).

pourtour des abords ouest et sur les rampes, dit « ceinture de lumière ».

La restauration a consisté en une restitution à l'identique de l'original, dans la mesure du possible et des connaissances historiques, notamment pour la polychromie des marbres, des pierres et des métaux. Par ailleurs, les appareils d'éclairage, conçus pour être alimentés au gaz et aujourd'hui soumis aux règles de sécurité sur les appa-

LE NOUVEL OPÉRA DE PARIS.



© DR 2

reils électriques et l'éclairage public, ont nécessité d'importants travaux de mise en conformité. L'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la culture (Oppic), établissement public administratif spécialisé dans la maîtrise d'ouvrage des équipements culturels et mandaté par le ministère de la Culture et de la Communication (MCC) pour mener la conduite des opérations de restauration du Palais Garnier,

2- Plan à rez-de-chaussée.
Le Nouvel Opéra de Paris Charles Garnier (1878).

2- Ground floor plan. The New Charles Garnier Paris Opera House (1878).

s'est chargé du pilotage des travaux. Ceux-ci ont démarré en septembre 2012 et ont été réceptionnés le 28 février 2014. Les abords ouest et la ceinture de lumière restaurés ont été inaugurés par la ministre de la Culture, Aurélie Filippetti, le 28 avril 2014. Le montant toutes dépenses confondues de l'opération s'est élevé à 6 240 000 euros, financés par le MCC/ Direction générale des patrimoines.

LES DÉSORDRES ET LA RESTAURATION DE LA RAMPE DE L'EMPEREUR

La « rampe de l'Empereur » est un ouvrage majestueux dont l'usage devait être réservé à Napoléon III et à son escorte, qui pouvaient ainsi accéder en voiture par la descente à couvert du Chef de l'État, située dans la rotonde ouest, puis par un escalier, aux salons du 1^{er} étage et à sa loge. ▶



3

© PASCAL PRUNET ARCHITECTE

Le plan des rampes est en forme de « S », leur géométrie répondant à plusieurs impératifs : une certaine ampleur pour permettre à la voiture et à son attelage de s'engager depuis la rue, ce qui explique en partie l'évasement des départs, la nécessité d'un développement permettant une pente praticable associée à celle d'entrer, puis de sortir de la rotonde parallèlement à la façade. L'ouvrage est constitué de deux murs d'échiffre en pierre de taille de grandes dimensions, comme partout à l'Opéra, dont l'élévation est rythmée par des pilastres. Ces murs portent des balustrades formant parapet, posées sur de fortes corniches rampantes, les balustrades étant scandées par des dés situés à l'aplomb des pilastres, destinés à recevoir les candélabres qui éclairent la rampe la nuit (figures 5 et 6). Entre les deux murs, l'espace interstitiel est constitué d'une suite d'alvéoles couvertes par des voûtes en berceau implantées selon le rayonnement du plan, ce qui leur donne une ouverture progressive de l'intrados à l'extrados des rampes. Ces voûtes, construites en trois épaisseurs de briques, s'appuient sur des arcs segmentaires également en brique, qui correspondent aux

pilastres de l'élévation et retombent à leur tour sur des piliers-contreforts en pierre de taille, fortement saillants à l'intérieur.

Chaque arc est implanté plus bas que le précédent, suivant le profil de la rampe, ce qui donne des altitudes différentes aux appuis amont et aval des berceaux. L'extrados des voûtes est constitué par un remblai qui supporte

3- Façade Ouest.

4- État de dégradation avant travaux.

3- West facade.

4- State of damage before the works.



4

© PASCAL PRUNET ARCHITECTE

le pavage de la rampe et les deux trottoirs en granite qui le bordent.

Les départs des rampes ne comportaient pas de voûtes, le pavage et les trottoirs étant posés sur remblai.

Cet ouvrage, qui était très dégradé dès les années 30, les murs affectés de dévers et de fissures, a fait à cette époque l'objet de travaux de consolidation par injections de ciment dans les fondations, et construction de murs-refends sous les arcs, associés à des tirants reliant les murs d'échiffre de pilastre à pilastre (1934-36)⁽¹⁾.

Les parements et les balustrades firent de nouveau l'objet de travaux en 1941 (rue Scribe), puis en 1949 et 1960, mais il s'agissait de reprises ponctuelles. Lors de la création du RER (1967-70), la rampe Sud (rue Auber) a été reconstruite, la majeure partie des voûtes étant remplacée par des dalles, et les arcs par des poutres en béton, l'ensemble étant relié aux structures du métro.

Malgré toutes ces campagnes, l'état en 1990 était toujours mauvais, l'instabilité des balustrades provoquant une intervention de maintien par des câbles tendus. La quasi-totalité des balustrades n'était plus d'origine.

DIAGNOSTIC

Les dégradations décrites concernent la rampe Nord, celles de la rampe Sud reconstruite en 1970 se limitant aux parties supérieures des murs, corniche rampante, balustrades, et aux sols, avec les mêmes symptômes mais plus réduits.

- Dévers du mur extérieur ;
- Fracturation des pierres de parement avec épaufrures importantes et présence de croûtes noires (gypse) surtout dans les parties basses ; nombreuses reprises anciennes, bouchons et ragréages et rejointoiements au ciment ;
- Altération et décollement des joints, peut-être liés à des réactions gonflantes ciment-plâtre⁽²⁾ ;
- Désorganisation des balustrades malgré la pose d'agrafes en bronze, fractures au niveau de la lisse haute, résultant du glissement des celles-ci et de la corniche rampante sur leurs plans d'assise inclinés, mouvement de poussée au vide accentué et/ou provoqué par le dévers des murs et ouverture

importante des joints, avec entrées d'eau dans les maçonneries ;

- Dégradation des sols pavés et trottoirs, tassements et ouvertures des joints, infiltrations d'eaux pluviales ;
- Dégradation des voûtes et arcs, mais sans déformation, désagrégation des mortiers de joint notamment au niveau des reins, au contact des murs et contreforts intérieurs sous l'effet de l'humidité et des eaux de percolation, corrosion des tirants.

5- Balustrade et candélabre.

6- Rampe et candélabre.

5- Balustrade and candelabrum.

6- Ramp and candelabrum.

Le diagnostic géotechnique sous la rampe Nord a conclu à l'absence de désordres au niveau des fondations⁽³⁾. Par contre, l'analyse des mortiers prélevés à l'intérieur des maçonneries a confirmé une présence d'eau importante, des taux élevés de sulfate, sous forme de gypse et de la thaumasite⁽⁴⁾, résultant probablement de l'association de ciment avec les mortiers d'origine. La composition et/ou l'évolution du mortier et les conditions environnementales avaient entraîné des réactions gonflantes qui sont une des causes de la dégradation des maçonneries.

PROGRAMME DE TRAVAUX

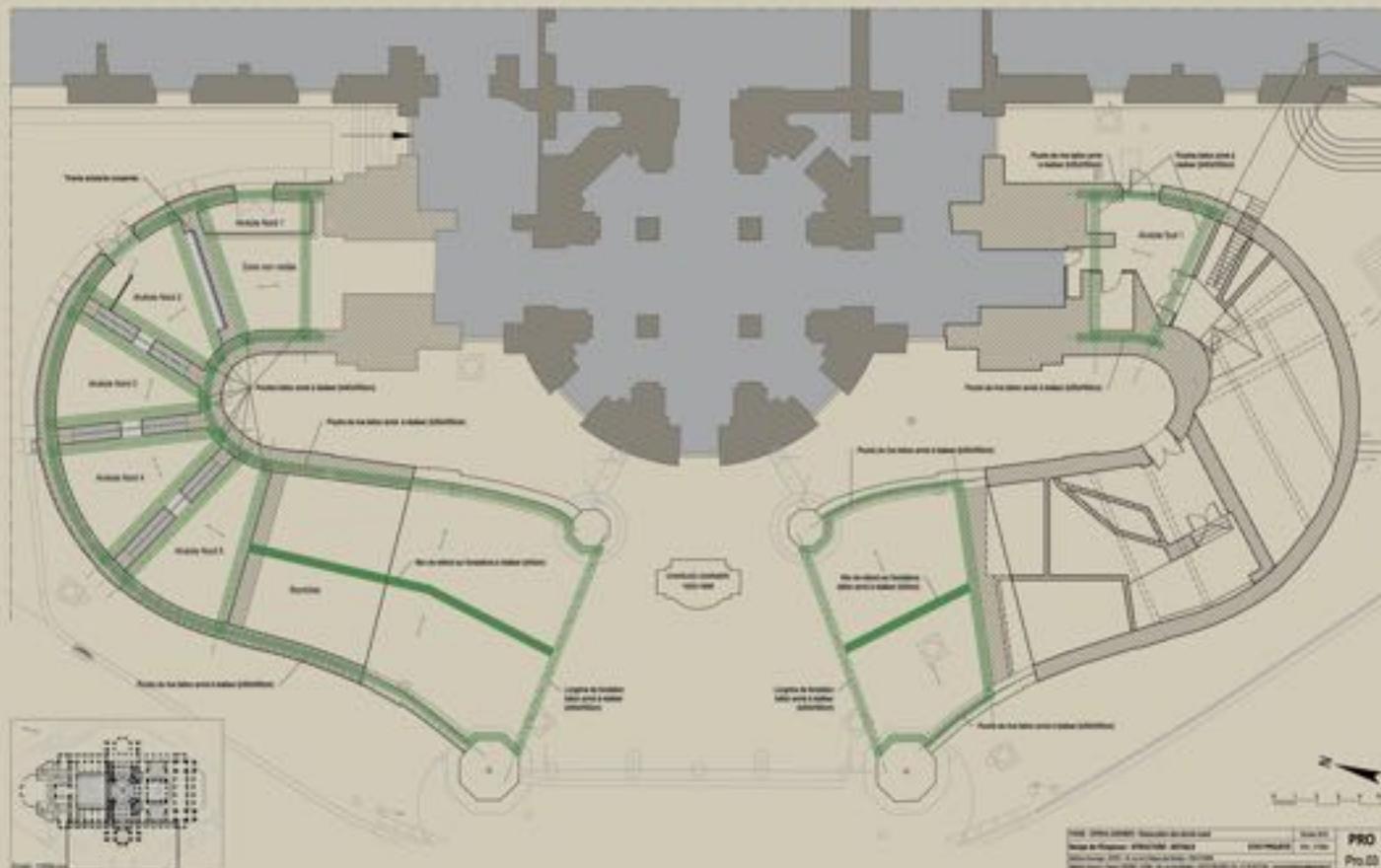
L'objectif de l'intervention a été, d'une part, de modifier le principe structurel de l'ouvrage, afin de réduire les poussées des voûtes et arcs sur les murs d'échiffre et de stabiliser ces derniers, d'autre part d'assurer l'étanchéité pour le mettre à l'abri des pénétrations d'eau, enfin de résoudre le problème du glissement des balustrades et de leurs supports.

Le reste de l'intervention concernait la restauration des parements en pierre de taille, les maçonneries et les ouvrages rapportés qui constituent le décor architectural et les support de l'éclairage, colonnes impériales en granite, candélabres rostrés et lanternes en bronze⁽⁵⁾. Une dalle rampante portée par quatre poutres rayonnantes de mur à mur et par un chaînage entre appui pris en réserve sur l'emprise des corniches rampantes a permis de réaliser le premier objectif et d'envisager le démontage du cloisonnement et des tirants créés en 1936 (figure 7 et 8).

L'ensemble a été coulé en place, des coffrages perdus biodégradables Bio-cofra étant utilisés pour les dalles. Des longrines ont été réalisées dans les parties en remblai pour recevoir la dalle (figure 9). La transition structurale avec la partie entre les rampes, pavée sur remblai, a été traitée par un géotextile armé. La corniche rampante a été accrochée au chaînage périphérique par des agrafes en fibre de verre, et les balustres par des goujons inox sur leur support et à la lisse haute. ▷



IMPLANTATION DES NOUVELLES STRUCTURES



7

© ARCADIS

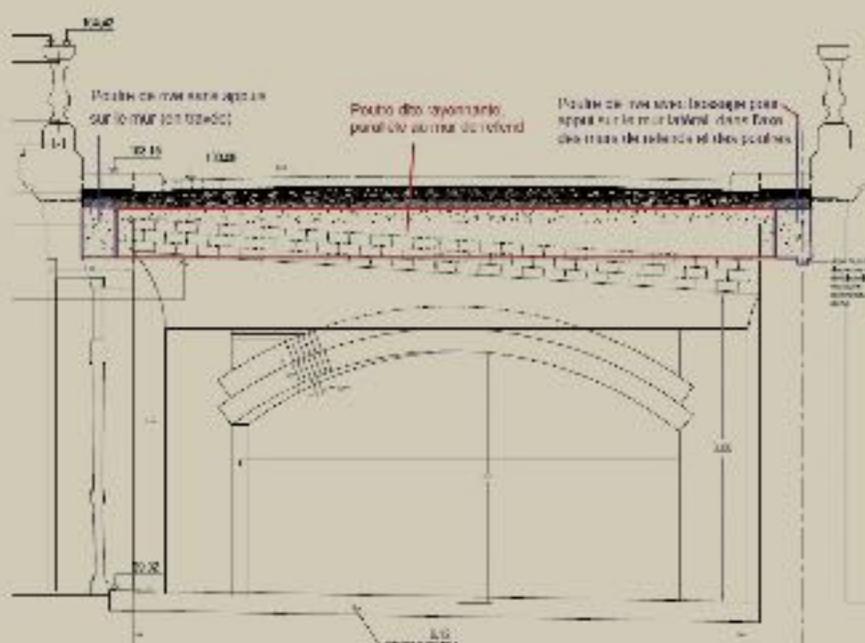
**7- Implantation
des nouvelles
structures.
8- Coupe sur
poutre rayon-
nante.**

**7- Layout of the
new structures.
8- Cross section
on radiating
beam.**

Sur cette dalle ont été successivement installés un complexe d'étanchéité adhérente compris relevé engravé dans la face arrière de la corniche rampante, un géotextile drainant pour collecter les eaux de percolation, puis posés le dallage du trottoir et le pavage de la chaussée selon leurs dispositions d'origine et sans modification de l'épaisseur globale.

Les eaux du géotextile ont été reprises par un drain en pied de rampe.

COUPE SUR POUTRE RAYONNANTE



8

© ARCADIS

Les parements de pierre des murs d'échiffre ont fait l'objet d'importants remplacements, en reprenant autant que possible les natures de pierre d'origine, calcaire marbrier de Château-Landon (Souppes) pour l'assise de soubassement, calcaire de Ravières (Bourgogne) pour les dés, les balustres en pierre de Comblanchien® et la lisse haute en pierre de Larrys (Bourgogne). Les parties saines des parements ont été conservées, en parement et en profondeur, et les mortiers dégradés purgés de façon à assainir les maçonneries.

Des coulis gravitaires de mortier de chaux ont redonné cohésion aux maçonneries de pierre et de brique, qui ont été rejointoyées au mortier de chaux hydraulique naturelle.

L'ensemble des alvéoles voûtées de nouveau visibles et l'espace sous la rampe rétabli dans ses dispositions d'origine est de nouveau utilisable.

Les travaux commencés par la rampe Nord, se sont poursuivis par la rampe Sud. Le démontage des sols a permis

de constater que la structure en béton recouvrait même la partie haute qui avait conservé son voûtement.

Les travaux ont été les mêmes que pour la rampe Nord, à l'exception des structures qui n'ont pas nécessité d'intervention.

Les espaces sous la rampe Sud sont soit des locaux techniques, soit un ensemble de galeries et de gaines en béton construites dans l'objectif inabouti de réaliser une liaison directe entre le métro et l'Opéra. Ils sont restés inchangés dans le cadre de cette opération.

9- Fabrication des poutres rayonnantes.

9- Production of radiating beams.

CONCEPTION DES NOUVELLES STRUCTURES PORTEUSES

Avant les travaux, la rampe Nord et la rampe Sud présentaient le même aspect extérieur. Toutefois, seule la rampe Nord avait conservé sa structure d'origine, la rampe Sud ayant été totalement déconstruite et reconstruite dans les années 1960, lors de la construction de la station Auber du RER A.

Les deux rampes sont hélicoïdales. Dans la conception d'origine, la partie inférieure, qui part du niveau des rues Scribe et Auber, était constituée d'un remblai contenu latéralement par des murs en pierre de taille, alors que la partie supérieure reposait sur des refends rayonnants, constitués d'arcs à deux rangs de briques sur lesquels reposaient des voûtes en berceau, composées de trois rouleaux de briques. Ces voûtes recevaient un remblai d'épaisseur variable sur lequel reposait le pavage. L'ensemble de la structure porteuse était donc en briques, la pierre de taille étant utilisée

pour la maçonnerie des murs latéraux. Le diagnostic réalisé à la suite des investigations géotechniques de septembre 2011 a montré que les structures porteuses en briques et les fondations des rampes ne présentaient aucun désordre structurel, malgré quelques dégradations locales des briques dues à l'humidité et au vieillissement. Il en a été déduit que les dégradations et désorganisations constatées sur les maçonneries ne résultaient pas de tassements éventuels des fondations et que leur cause devait être recherchée avant tout dans la dégradation des matériaux, dans les réactions chimiques entre les joints et la pierre et dans les effets du milieu ambiant : effets des variations de température et de l'humidité en particulier. La géométrie originelle de la rampe avec courbes et contre-courbes, ainsi que les poussées au vide des arcs de refend ont pu induire des poussées au vide sur les murs extérieurs et entraîner des désordres, mais ceci n'a pas pu être démontré clairement et systématiquement. ▷



Les désordres concernaient donc essentiellement les murs latéraux en pierre de taille de la rampe Nord ainsi que des balustrades des deux rampes.

RECONSTRUCTION DE LA RAMPE NORD

Afin d'assurer au mieux la pérennité de l'ouvrage, les structures porteuses en briques ont été remplacées par une dalle, reposant sur des poutres de rive et des poutres rayonnantes au droit des murs de refends, l'ensemble étant réalisé en béton armé.

Pour conserver la mémoire de l'ouvrage, les voûtes et arcs en briques ont toutefois été conservés, l'extrados des voûtes étant arasé en partie supérieure pour dégager l'espace nécessaire à la dalle. Cette dalle est prolongée vers la partie inférieure de la rampe où le

pavement reposait initialement sur un remblai. Dans cette partie elle repose sur les murs latéraux et sur un mur de refend central. Une étanchéité a été réalisée sur l'ensemble de la dalle, protégée par une chape armée sur laquelle est installé le pavage.

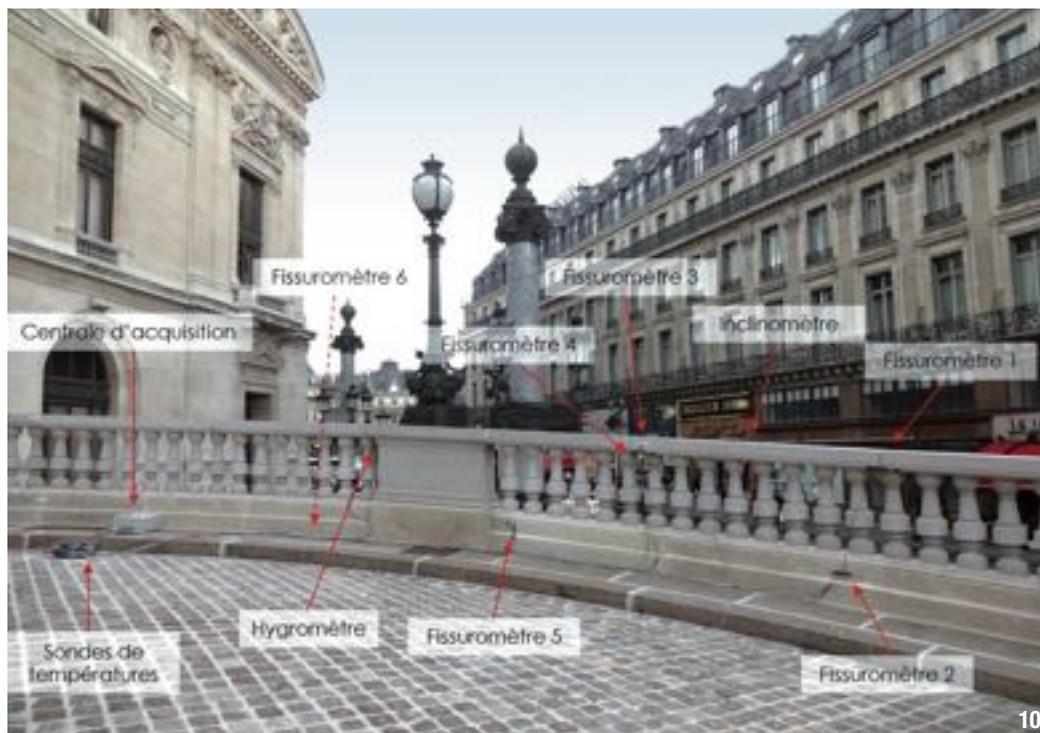
Cette dalle permet de répartir les charges et de les reporter directement au droit des murs latéraux, déchargeant ainsi les voûtes. Elle sert également de chaînage pour les murs latéraux et apporte de la rigidité à l'ensemble de la structure.

10- Implantation des capteurs.

11- Corrélation entre variations de température et déformations.

10- Layout of sensors.

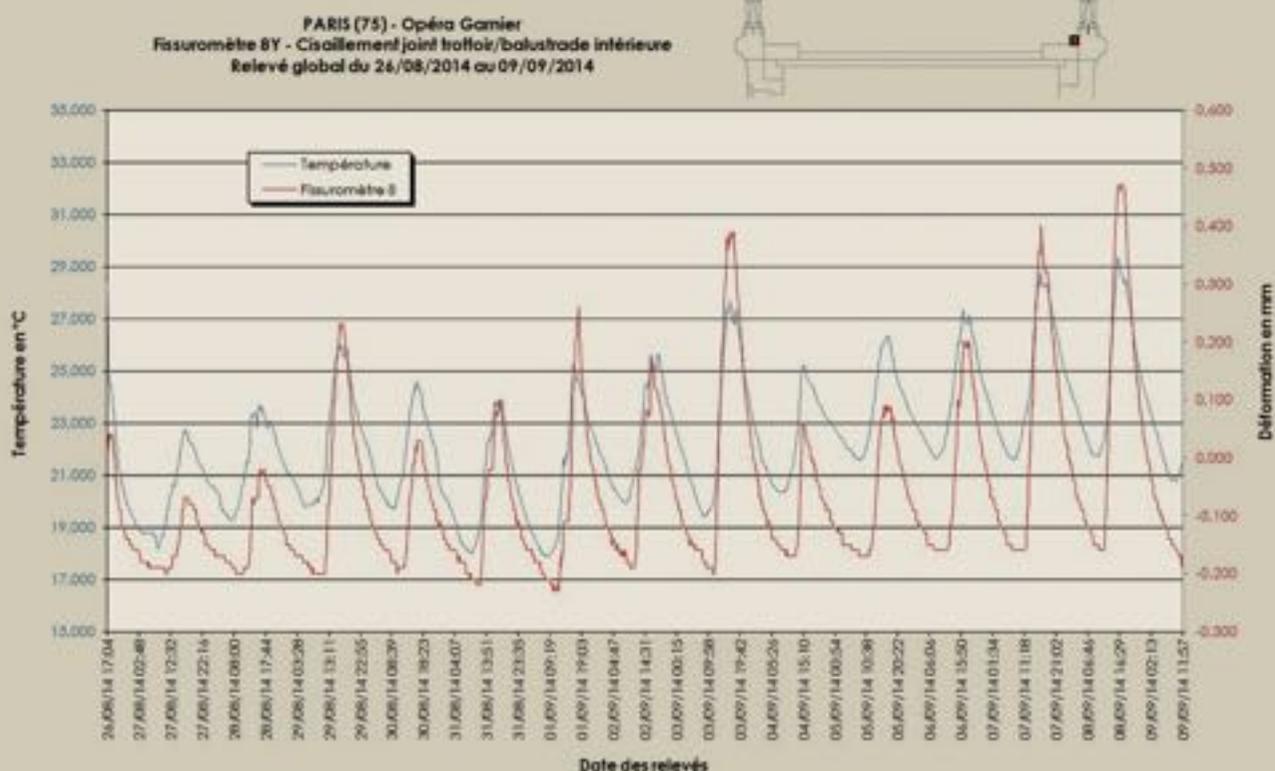
11- Correlation between temperature variations and deformation.



10

© USC STRUCTURES

CORRÉLATION ENTRE VARIATIONS DE TEMPÉRATURE ET DÉFORMATIONS



11

© USC STRUCTURES

Enfin elle sert de support à une étanchéité qui protège l'ouvrage des percolations d'eau provenant du pavage. L'ensemble de ces dispositions doit donc assurer la pérennité de l'ouvrage en stabilisant les maçonneries latérales et en protégeant les structures anciennes et nouvelles des infiltrations d'eau.

RECONSTRUCTION DE LA RAMPE SUD

Dans la partie centrale de la rampe Sud les structures en béton armé construites dans le cadre de la réalisation de la station Auber ont été conservées. Dans les parties hautes et basses, où subsistaient les structures d'origine, des dispositions identiques à celles de la rampe Nord ont été adoptées.

De même que pour la rampe Nord, l'ensemble de l'ouvrage est revêtu d'un complexe d'étanchéité et d'un pavage, identiques à ceux de la rampe Nord.

PHÉNOMÈNES DE DILATATION DIFFÉRENTIELLE ENTRE DALLES ET PAVAGES

Fin avril 2014 des désordres ont été constatés à la périphérie des rampes Nord et Sud. Il s'agissait de glissements millimétriques vers l'extérieur des limons de couronnement des murs latéraux, se traduisant par des écaillages en tête des murs et d'ouvertures de joints dans les limons et dans les mains courantes des balustrades. Ces désordres concernaient l'ensemble des limons intérieurs et extérieurs, mais étaient particulièrement accentués dans la partie supérieure des limons extérieurs de la rampe Sud. Les ouvertures

de joints étaient de l'ordre du millimètre dans les limons et plus proches du centimètre dans les joints des mains courantes.

L'observation de ces désordres a conduit à un diagnostic les attribuant à des dilatations différentielles entre la dalle et le pavage : d'une part sous l'effet de l'ensoleillement le pavage s'échauffe plus vite que la dalle qui est protégée par le pavage et de plus refroidie par le volume intérieur ; en se dilatant le pavage vient pousser sur les dalles en granite des trottoirs qui transmettent cette poussée aux limons. Les murs latéraux étant retenus par la dalle ne peuvent suivre le mouvement des limons : il y a donc glissement des limons vers l'extérieur.

D'autre part il y a une différence de dilatation entre les trottoirs, en granite, et les limons, en calcaire, du fait de la différence entre le coefficient de dilatation du granite (de $6 \text{ à } 9 \times 10^{-6}$) et celui du calcaire (de $2 \text{ à } 6 \times 10^{-6}$), qui accentue légèrement la poussée des trottoirs sur les limons.

Enfin la plus grande ouverture des joints de la main courante par rapport aux joints des limons s'explique par un pivotement des limons autour de leur ancrage inférieur au mur qui les supporte, sous l'effet de la poussée des trottoirs qui s'exerce à trente centimètres environ au-dessus de ces ancrages, réalisés par des broches en fibre de verre.

Les dalles de trottoirs se trouvant environ 30 cm au-dessus du point d'ancrage et les mains courantes environ 1,40 m au-dessus de ce point, le coefficient d'amplification est de l'ordre de

$1,4/0,3 = 4,6$, ce qui est cohérent avec la différence constatée entre les ouvertures de joints au niveau des limons, millimétriques, et les ouvertures de joints au niveau des mains courantes, de l'ordre du centimètre.

Afin de confirmer ce diagnostic une campagne de mesures a été mise en œuvre à partir du mois de juin 2014, avec la pose dans la partie supérieure de la rampe Sud, le long du limon extérieur, de six fissuromètres, d'un inclinomètre, d'un hygromètre et de deux sondes de température de surface, l'ensemble étant relié à une centrale d'acquisition (figure 10).

Ce dispositif a été complété fin août 2014 par la pose de deux fissuromètres et de cinq sondes de température, le long du limon intérieur situé en face de la zone déjà instrumentée. De juin à novembre 2014 les mesures ont été regroupées dans 24 relevés hebdomadaires.

D'une manière générale ces mesures ont permis de constater une corrélation systématique et précise entre les déformations et les variations quotidiennes de température. Un exemple en est donné par la figure 11.

Les mesures ayant confirmé le diagnostic, il a été décidé de créer un joint de dilatation entre les limons et les trottoirs, pour empêcher la transmission des poussées.

Les mesures faites après l'ouverture d'un premier joint dans la partie instrumentée ont permis de valider l'efficacité de cette disposition. □

1- Debat-Ponsan Architecte / procédé Roudio.

2- Les maçonneries de l'Opéra étaient majoritairement hourdées au mortier de plâtre (et chaux).

3- Investigations réalisées sous le contrôle d'Arcadis.

4- Laboratoire Erm de Poitiers.

5- Cette partie spécifique du projet n'est pas développée dans le présent article.

6- En remplacement de la pierre de Saint-Ylie (Damparis-Jura).

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Oppic (Opérateur du Patrimoine et des Projets Immobiliers de la Culture)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Pascal Prunet, Architecte en Chef des Monuments Historiques

ASSISTANT AU MAÎTRE D'ŒUVRE POUR LES STRUCTURES : Arcadis

ENTREPRISES :

• Lots Maçonneries-Béton : Entreprise Lefebvre

• Lot Pavage : Entreprise Chapelle

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION - STRUCTURES EN BÉTON : Ubc Structures

CAMPAGNES DE MESURES : Ubc Structures

ABSTRACT

RESTORATION OF THE EMPEROR'S RAMP AT OPÉRA GARNIER

FLORENT MERLE, OPPIC - PASCAL PRUNET, MONUMENTS HISTORIQUES - MICHEL MOUSSARD, ARCADIS

As part of the restoration of Opéra Garnier, the Emperors' ramp, located at the base of the opera house's West facade, was completely refurbished between September 2012 and February 2014. All the masonries were renovated, as were the paving, statues and lighting. To ensure the permanence and stability of all the works over time, the arched brick structures supporting the ramp itself were partially levelled to generate the necessary space to create a concrete slab and beams transferring the loads to the existing foundations and forming a wall tie for the dressed stone side walls. Shortly after the end of the works a few minor defects due to phenomena of differential expansion between the slab and paving led to a measurement campaign, which concluded that expansion joints needed to be created between the footpaths and the stair stringers located on top of the side walls. □

LA RESTAURACIÓN DE LA RAMPA IMPERIAL EN LA ÓPERA GARNIER

FLORENT MERLE, OPPIC - PASCAL PRUNET, MONUMENTS HISTORIQUES - MICHEL MOUSSARD, ARCADIS

En el marco de la restauración de la Ópera Garnier, la rampa Imperial, situada al pie de la fachada oeste de la Ópera, ha sido totalmente remodelada entre septiembre de 2012 y febrero de 2014. Se ha rehabilitado el conjunto de la mampostería, así como la pavimentación, la estatuaria y el alumbrado. Para garantizar la perennidad y la estabilidad en el tiempo del conjunto, las estructuras abovedadas en ladrillo que soportan la rampa se han enrasado parcialmente para liberar el volumen necesario para la creación de una losa y vigas de hormigón que transmiten las cargas a los cimientos existentes y actúan de armadura para los muros laterales de piedra de sillería. Poco después del final de las obras aparecieron algunos problemas menores debidos a fenómenos de dilatación diferencial entre la losa y la pavimentación que dieron lugar a una campaña de medidas, y que finalmente exigieron la creación de juntas de dilatación entre las aceras y las zancas situadas en el frontal de los muros laterales. □



1
© GTM TP IDF

RÉFECTION DU PONT DAYDÉ À BOULOGNE-BILLANCOURT ET RÉALISATION D'UNE RAMPE D'ACCÈS AU PONT

AUTEURS : MARINE LE TALLEC, CHEF DE PROJETS, PÔLE OUVRAGES D'INFRASTRUCTURE ET OUVRAGES SOUTERRAINS, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) -
HOUSSINE ZEDIRH, INGÉNIEUR STRUCTURE DU PÔLE OUVRAGES D'INFRASTRUCTURE ET OUVRAGES SOUTERRAINS, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE)

L'AMÉNAGEMENT DE L'ÎLE SEGUIN, LA RÉNOVATION ET LA CRÉATION DES INFRASTRUCTURES ENVIRONNANTES SONT DES ÉTAPES CLÉS POUR LA RÉUSSITE DE CE FUTUR PÔLE CULTUREL SITUÉ AU CŒUR DU GRAND PARIS. LE PONT HISTORIQUE DAYDÉ, QUI PERMET UN ACCÈS DEPUIS BOULOGNE-BILLANCOURT SUR L'ÎLE SEGUIN SERA RÉNOVÉ ET UNE RAMPE EN BÉTON PRÉCONTRAIT SERA CRÉÉE, PERMETTANT L'ACCÈS DU PUBLIC. LA FIN DES TRAVAUX COÏNCIDERA AVEC L'OUVERTURE ATTENDUE DE LA CITÉ MUSICALE DÉPARTEMENTALE SITUÉE SUR L'ÎLE SEGUIN EN 2016.

CONTEXTE DU PROJET

Lorsque Renault annonce l'abandon de sa production sur le site de l'île Seguin à Boulogne-Billancourt, une consultation d'urbanisme est lancée pour dessiner les grandes lignes d'un futur plan d'aménagement de cette zone au fort potentiel. Le projet retenu est de faire de cette île un pôle international d'innovation, dédié à la culture et à l'économie créative.

Trois grands domaines seront ainsi représentés : la musique et le spectacle vivant, les arts contemporains et le cirque numérique, le cinéma. Ce futur haut lieu culturel du Grand Paris situé sur une île doit proposer des accès en adéquation avec le flux de mobilité envisagé. C'est dans ce contexte que la réhabilitation du pont Daydé et la création d'une rampe d'accès au pont historique a débuté.

- 1- Vue d'ensemble du pont existant.
- 2- Coupe longitudinale du projet.

- 1- General view of the existing bridge.
- 2- Longitudinal section of the project.

Les travaux de réalisation de ce projet sont confiés au groupement mené par Gtm Tp Île-de-France, filiale du groupe Vinci Construction France. Les études de structures du génie civil de la rampe d'accès en béton précontraint sont réalisées par le bureau d'études Isc (Ingénierie des Structures et des Chantiers), filiale du groupe Vinci Construction France. Les études de la réfection du pont existant sont menées par l'atelier Roger Poncin.

© ISC
2

COUPE LONGITUDINALE DU PROJET



DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

UN PONT HISTORIQUE

Le pont Daydé a été construit en 1928 pour relier Boulogne-Billancourt aux anciennes usines Renault, situées sur l'île Seguin, en franchissant la Seine. C'est la première fois que l'on construisait en France un système cantilever à membrures de suspension.

L'entreprise Daydé, constructeur de l'ouvrage, a ainsi déposé le modèle.



© GTM TP IDF

RÉFÉCTION DU PONT DAYDÉ

L'ouvrage à réhabiliter est une structure métallique à 4 travées, d'une longueur totale de 143 m pour une largeur disponible de 10,4 m environ, franchissant, du sud vers le nord, le grand bras de la Seine puis la RD1 (figure 1).

Les quatre travées du pont existant sont définies comme suit en partant de l'île Seguin :

- Une travée de 24,800 m (travée 1) ;
- Une travée au-dessus de la passe

3- Sous-face du tablier existant.

4- Coupe transversale sur pile P5.

3- Underside of the existing deck.

4- Cross section on pier P5.

navigable de la Seine de 74,400 m (travée 2) ;

- Une travée de 24,800 m (travée 3) ;
- Une travée au-dessus de la RD1 de 19,150 m (travée 4).

Soit au total une longueur de 143,15 m (figure 2).

Fonctionnellement, il se compose de deux structures haubanées composées chacune d'un mât reposant via une articulation sur une pile en rivière (P1 et

P2) et de deux tabliers disposés de part et d'autre du mât, appuyés aussi sur la pile, haubanés à celui-ci en extrémité et suspendus en partie intermédiaire. Ces deux structures sont ancrées côté rive respectivement en C0 et P3.

Les deux structures sont reliées entre elles au centre de la travée 2 par un tablier isostatique appuyé en cantilever sur les deux structures.

Enfin, un tablier isostatique reposant en cantilever sur structure d'un côté et sur C4 de l'autre permet le franchissement de la RD1.

Au total l'ouvrage comporte 6 tabliers :

- Un tablier 1 allant de C0 à P1 de 24,80 m de longueur et constituant une travée latérale côté île Seguin.
- Un tablier 2 allant de P1 à l'appui cantilever au droit de la passe navigable en Seine de 24,80 m de longueur. C'est une travée en porte à faux, en Seine, côté île Seguin.

Les tabliers 1 et 2 constituent un tablier des cantilevers.

- Un tablier 3 isostatique entre les deux structures de 17,18 m de longueur. Il forme la travée centrale de raccordement.

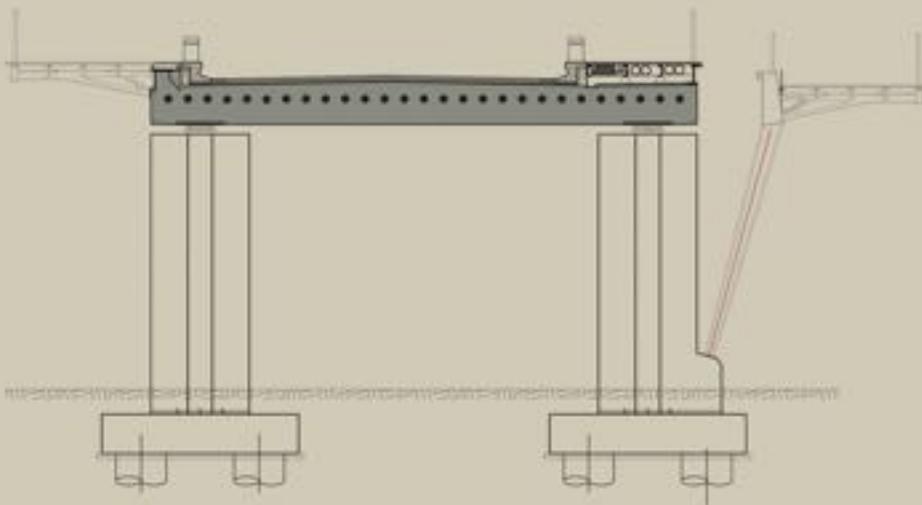
- Un tablier 4 allant de l'appui cantilever à P2 au droit de la passe navigable en Seine de 24,80 m de longueur. Il constitue une travée en porte à faux, en Seine, côté Billancourt.

- Un tablier 5 allant de P2 à l'appui cantilever au-delà de P3 de 28,60 m de longueur. C'est la travée latérale côté Billancourt.

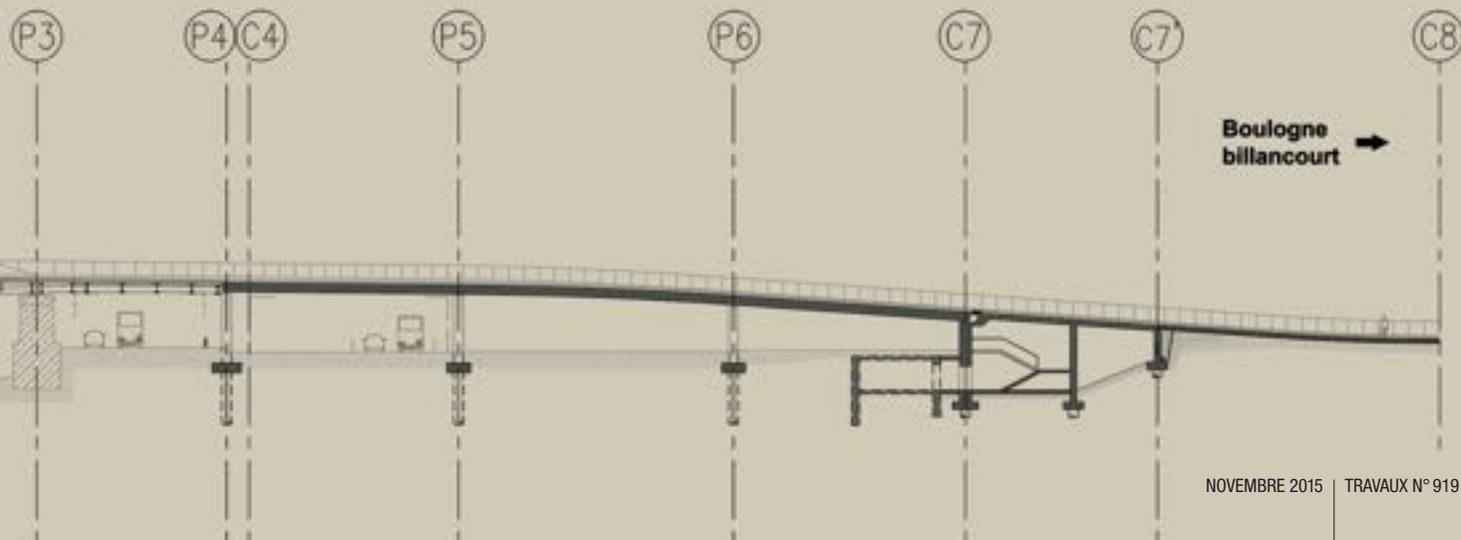
Les tabliers 4 et 5 forment un tablier des cantilevers.

- Un tablier 6 allant de l'appui cantilever à C4 de 15,30 m de longueur. Il constitue la travée d'accès sur la RD1.

COUPE TRANSVERSALE SUR PILE P5



© ISC





5

© GTM TP-IDF

Entre le tablier 1 et 2 et les tabliers 4 et 5 se trouve une zone de transition de 1,22 m de longueur faisant partie du mât.

Les dilatations se font au niveau de la culée Seguin C0 ou de la pile P3, ainsi qu'au niveau des appuis cantilever. Les tabliers sont fixes sur P1, P2, et C4. À noter que les appuis sur C0 et P3 sont en fait des ancrages, les réactions d'appui sont négatives (soulèvement). Les tabliers situés de part et d'autre des pylônes sont suspendus à leur extrémité par des haubans accrochés au sommet des pylônes. Des suspentes verticales (3 par côté de tablier), accrochées au droit des pièces de pont hautes et aux haubans soutiennent le tablier en partie courante.

Les haubans sont constitués de deux semelles verticales reliées entre elles par une âme en treillis composées de plats.

Les 6 tabliers sont conçus sur le même principe (figure 3) :

- Deux poutres latérales reliées par des pièces de pont de hauteur différente alternées ;
- Deux longerons centraux soutenant une ancienne voie ferrée ;
- Une dalle en béton armé soutient la chaussée.

Les poutres, de hauteur variable (4 m sur appui, 1,60 m sur les appuis cantilever), sont constituées de deux âmes espacées de 450 mm, d'une semelle supérieure de 700 mm de large.

Les parties inférieures des âmes sont raidies par des cornières faisant office de semelles inférieures et sont reliées

entre elles par des plats faisant office de treillis.

Les poutres sont contreventées en partie inférieure par des cornières disposées en croix de Saint André.

L'ossature métallique est coiffée par une dalle d'environ 37 cm d'épaisseur en béton armé supportant la chaussée. Les anciens rails permettant l'accès des convois Renault à l'île Seguin sont noyés dans cette dalle.

Dans le cadre de la réfection du pont, cette dalle sera démolie et remplacée par une dalle de 23 cm d'épaisseur moyenne avec renfort sur les pièces de pont, longerons et entretoises.

La démarche retenue pour la réfection du pont Daydé est d'ausculter chaque pièce de pont. Si les pièces répondent aux critères fixés, elles sont maintenues sur l'ouvrage, sinon elles sont remplacées à l'identique par des pièces neuves.

CRÉATION D'UNE RAMPE EN BÉTON PRÉCONTRAIT

Afin de rétablir l'accès au pont Daydé existant, il faut construire une rampe d'accès dans la continuité du pont

5- Mise en place d'une cage d'armature de pieu.

5- Placing a pile reinforcement cage in position.

Daydé côté Boulogne-Billancourt. Le tablier principal est une dalle pleine de 750 mm, en béton précontraint par post tension longitudinale, fonctionnant en dalle continue sur deux appuis intermédiaires.

La rampe d'accès repose sur 4 appuis dont une culée et 3 piles (figure 2 et tableau A).

L'ensemble est fondé sur des pieux dont les diamètres varient de 620 mm à 1 020 mm et dont la profondeur varie de 13 m à 34 m.

Le profil en travers de l'ouvrage est constitué d'une passerelle de 3,3 m séparée de la rampe principale par une faille, d'une chaussée de 7 m

(deux voies de 3,5 m) et d'un trottoir de 2,18 m. Sur l'autre côté de la dalle, une console vient s'appuyer sur celle-ci (figure 4).

Les piles sont constituées d'une semelle permettant de liaisonner les têtes de pieux et d'un voile vertical, sur lesquels viennent s'ancrer les appuis de la rampe d'accès sur les pieux.

La base des piles intègre également des plots béton qui servent d'ancrage aux mâts supports de la passerelle.

La culée est constituée de semelles permettant de liaisonner les têtes de pieux, de voiles verticaux courbes, sur lesquels viennent s'ancrer les appuis du tablier béton et de la passerelle métallique.

Elle remplit également la fonction de cage d'escalier et de sortie de secours du parking du lot avoisinant.

L'ensemble de l'ouvrage est réalisé à partir d'un béton à ciment blanc architectural.

Enfin, pour tenir compte de la particularité du tablier précontraint longitudinalement entre P4 et C7 et de la

TABLEAU A : LA RAMPE D'ACCÈS

| Travée | P4-P5 | P5-P6 | P6-C7 | C7-C7' | C7'-C8 |
|--|--------------------------|---------|---------|---|-------------------------------|
| Longueur développée à l'axe de la chaussée | 19,75 m | 23,40 m | 19,75 m | 17,03 m | 24,72 m |
| Caractéristiques | Dalle béton précontraint | | | Culée en béton armé abritant un local technique | Culée en remblai avec dallage |



6

© GTM TP IDF

diffusion transversale des charges, deux modèles de calcul ont été élaborés pour la modélisation de la rampe d'accès. Le premier permet notamment de tenir compte de la précontrainte dans le sens longitudinal et d'intégrer le retrait et le fluage. Le second modèle permet de prendre en compte la diffusion des charges et de modéliser l'interaction sol-structure.

Pour reprendre les efforts auxquels la rampe d'accès sera soumise, 23 câbles 19T15s sont mis en tension du côté de l'appui P4.

6- Réalisation de la culée.

7- Confinement des haubans existants.

6- Execution of the abutment.

7- Confinement of the existing stay cables.

En outre, deux gaines additionnelles sont prévues dans le tablier pour contenir des câbles jouant un rôle de renforcement en phase de construction et permettant le remplacement de câbles défectueux en phase de service. L'adhérence des câbles avec les gaines est assurée par une injection au coulis de ciment.

Les câbles de précontrainte suivent un tracé passant par l'axe neutre au droit des appuis d'origine et d'extrémité. Un calcul d'optimisation est fait pour déterminer les points de passage des

câbles de précontrainte en travée (tracé en-dessous de l'axe neutre) et sur les appuis intermédiaires (tracé au-dessus de l'axe neutre) ainsi que les rayons de courbure pour assurer la liaison entre les points de passage.

PASSERELLE PIÉTONNE

La passerelle piétonne est un ouvrage de franchissement pour la circulation des piétons et des personnes à mobilité réduite. La charpente métallique est réalisée en acier et le platelage est en bois.

La passerelle est composée des éléments suivants :

- Un pylône d'appui double, avec une grande rigidité horizontale, qui sert également d'extension hors sol des cages d'ascenseur, menant à la passerelle, au parc et au parking avoisinant ;
- Un tablier formant une poutre continue avec une grande rigidité horizontale, appuyée horizontalement à ses extrémités sur le génie civil (pile et culée) et en intermédiaire sur le double pylône ;
- Un caisson de torsion continu qui forme l'une des membrures de la poutre horizontale du tablier ;
- Des poteaux inclinés et déportés par rapport à l'axe du tablier, encastres sur le caisson de torsion, articulés en pied ;
- Des consoles encastres sur le caisson de torsion qui supportent le tablier.

Structurellement, la passerelle fonctionne ainsi :



7

© GTM TP IDF



8

© GTM TP IDF

- Les charges appliquées au tablier génèrent un moment sur les consoles encastrees sur le caisson de torsion, équilibré par les réactions horizontales en pied des poteaux articulés et par son encastrement fonctionnant en torsion sur le double pylône ;
- Le moment de renversement dû au déport entre tablier et poteaux est équilibré par la réaction horizontale de la poutre formée par le tablier appuyé transversalement à ses extrémités et sur le double pylône intermédiaire ;
- Du point de vue des mouvements thermiques, le point fixe de la passerelle est situé sur le double pylône, la dilatation longitudinale est libre aux extrémités de l'ouvrage.

CONSOLES

Les consoles sont des éléments transversaux fixés en encorbellement soit au tablier béton de la rampe par chevillage ou boulonnage sur platine pré-scannée, soit à la poutre longitudinale de la charpente métallique du pont Dayd par fixation mécanique.

UN PLANNING PRÉCIS

En prévision de l'ouverture de la Cité Musicale départementale au cours de l'année 2016, les travaux de réfection du pont existant et de création de la rampe d'accès en béton précontraint suivent un planning précis. L'ordre de service de démarrage des travaux a été donné en juillet 2014 et la fin de chantier prévisionnel est pour avril 2016.

LA PHASE CHANTIER

ENCADREMENT DU CHANTIER

L'encadrement du chantier est composé de deux ingénieurs travaux, un chef de chantier et un directeur travaux chargé de gérer les relations avec le client et la maîtrise d'œuvre ainsi que la coordination entre les différents intervenants de ce chantier tous corps d'état.

MATÉRIEL DE LEVAGE

Pour répondre aux besoins importants en terme de levage durant toutes les phases de travaux (cages d'armatures pour les pieux, coffrage et ferrailage préfabriqué, banches et ferrailage de

8- Soulèvement de la travée « RD1 ».

9- Déplacement de la travée « RD1 ».

8- Raising the "RD1" span.

9- Moving the "RD1" span.

la culée, pose de la charpente métallique...), une grue à tour de type Liebherr type 280 EC-H 12 LM2 a été installée sur le chantier. La grue permettait de couvrir la quasi-totalité du chantier, la large couverture de la grue offrait une flexibilité pour l'organisation du chantier durant toutes les phases de travaux. Toutefois, le survol de la RD1 et du lot d'immeuble avoisinant est interdit avec un chargement.

FONDACTIONS PROFONDES

Toutes les fondations de la rampe d'accès sont profondes de type pieux. Les moyens qui ont été utilisés sur



9

© GTM TP IDF



10

© GTM TP IDF

chantier sont courants pour ce type de travaux : une foreuse de type SM14 équipée d'une tarière creuse pour la réalisation des pieux. Le mode opératoire retenu pour l'exécution des pieux est le procédé Starsol (figure 5). En trois semaines, de l'installation à la désinstallation, 21 pieux ont été forés sur le site.

TRAVAUX DE LA CULÉE

Suite à la réalisation des pieux, les longrines et les premiers voiles courbes de la culée ont été mis en place (figure 6). Le bétonnage des voiles extérieurs doit se faire en une seule fois pour limiter les reprises de bétonnage apparentes.

CONFINEMENT DES HAUBANS

En vue des travaux de réfection du pont existant et notamment de peinture, les haubans sont confinés derrière un échafaudage permettant l'accès aux ouvriers peintres (figure 7).

10- Stockage de la travée « RD1 » sur le chantier.

10- Storing the "RD1" span on site.

DÉPOSE DE LA TRAVÉE « RD1 » (P3-C4)

La travée qui surplombe le quai George-Gorse et la RD1 a dû être déposée en la soulevant d'un seul tenant dans la nuit du 12 au 13 février 2015.

Cette travée sera stockée sur le chantier puis raccourcie et rénovée afin de la remettre en place au droit de la RD1. La culée historique C4 sera alors détruite et remplacée par la pile P4 supportant la travée « RD1 » du pont existant et le tablier en béton

précontraint de la rampe d'accès. Afin de lever cette travée de près de 230 tonnes et la déplacer jusqu'à son point de stockage, un système de kamags a été mis en place ainsi

que deux remorques automotrices type Spmt 6x2. Les remorques sont des modules de 6 lignes de 2 essieu motorisés par 2 groupes Ppu 100 (figures 8, 9 et 10). □

INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SAEM Val de Seine

MAÎTRE D'ŒUVRE RÉFECTION DU PONT : SNCF-Direction de l'ingénierie

MAÎTRE D'ŒUVRE RAMPE D'ACCÈS : RFR

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

- Mandataire : Gtm Tp Idf (Vinci Construction France)
- Ateliers Roger Poncin
- Nicoletta Industrie

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :

- Isc (Vinci Construction France) pour les études d'exécution structures de la rampe d'accès
- Soletanche Bachy Pieux pour les pieux
- Freyssinet France pour la précontrainte
- Marcanterra pour le platelage bois

ABSTRACT

RENOVATION OF DAYDÉ BRIDGE IN BOULOGNE-BILLANCOURT AND EXECUTION OF A BRIDGE ACCESS RAMP

MARINE LE TALLEC, ISC (VINCI) - HOUSSINE ZEDIRH, ISC (VINCI)

The historic Daydé Bridge, linking Boulogne-Billancourt to the former Renault factories on Seguin Island, is undergoing renovation by a consortium led by Gtm Tp IDF (Vinci Construction France). An adjacent access ramp, executed in prestressed concrete, will be created in order to restore access to Daydé Bridge on the Boulogne-Billancourt side. With the creation of these new approaches and the overall development works in progress in this district, Seguin Island is taking up the challenge of becoming a cultural mecca of 'Grand Paris' (Greater Paris). □

REHABILITACIÓN DEL PUENTE DAYDÉ EN BOULOGNE-BILLANCOURT Y REALIZACIÓN DE UNA RAMPA DE ACCESO AL PUENTE

MARINE LE TALLEC, ISC (VINCI) - HOUSSINE ZEDIRH, ISC (VINCI)

El histórico Puente Daydé, que une Boulogne-Billancourt con las antiguas fábricas Renault de la isla Seguin, está siendo renovado por un consorcio de empresas dirigido por Gtm Tp Idf (Vinci Construction France). Se construirá una rampa de acceso contigua, realizada en hormigón pretensado, para restablecer el acceso al Puente Daydé del lado de Boulogne-Billancourt. Con la implantación de estos nuevos accesos y la ordenación global que se está ejecutando en este barrio, la isla Seguin asume el desafío de convertirse en un destacado espacio cultural del Gran París. □



1
© INGEROP

VOIE NOUVELLE SARTROUVILLE MONTESSON - DOUBLEMENT DE LA RD 121- CONSTRUCTION D'UN PONT- ROUTE ET D'UN PONT-RAIL (TERRASSEMENTS - PAROIS CLOUÉES PROVISOIRES - FONDATION DES OUVRAGES)

AUTEURS : LAURENT SAUSSAC, INGÉNIEUR PRINCIPAL, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - OLIVIER PANNOUX, INGÉNIEUR ÉTUDE, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS

GÉOS INGÉNIEURS CONSEILS A ÉTÉ MISSIONNÉ PAR L'ENTREPRISE BOUYGUES TP POUR RÉALISER L'INTÉGRALITÉ DE LA MISSION G3 DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES DU PROJET INCLUANT NOTAMMENT :

- LA VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES TALUS DE L'AIRE DE PRÉFABRICATION ET DES TALUS DRESSÉS À PROXIMITÉ IMMÉDIATE DES VOIES FERRÉES ;
- LA VÉRIFICATION DE LA CAPACITÉ PORTANTE DES OUVRAGES ;
- LA VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES PAROIS CLOUÉES RÉALISÉES SOUS ET À PROXIMITÉ DU PONT-RAIL.

PRÉSENTATION

Dans le cadre des travaux de doublement de la RD 121 entre Sartrouville et Montesson dans le département des Yvelines (78), sous maîtrise d'ouvrage commune Réseau Ferré de France (RFF) et Conseil Général des Yvelines et sous maîtrise d'œuvre SNCF/Ingerop, il est nécessaire de passer sous la ligne ferroviaire allant de Paris au Havre au

point kilométrique 14+370 (figure 2) et sous 2 rues adjacentes (rues de la Paix et Diderot).

Les voies ferrées sont actuellement dans une tranchée d'une hauteur de 6 m environ bordée par la rue de la Paix et la rue Diderot. Sur cette ligne le trafic est dense avec notamment le passage du RER A axe Poissy/Cergy-le-Haut/Paris et des trains de banlieue

et grande ligne origine/terminus Gare Saint-Lazare (figure 3).

Le projet présenté ici consistait à réaliser deux ponts-rail (PRA 1^{er} et 2^e phase) à poutrelles enrobées supportant les voies ferrées, mises en œuvre au cours de phases de chantier séparées dans le temps. Ils sont fondés superficiellement en tête de la tranchée constituée par la RD 121.

1- Vue de l'ouvrage achevé.

1- View of the finished structure.

Côté rue de la Paix, la jonction avec le PRA se fait par l'intermédiaire d'un pont-route (PRO) et côté rue Diderot par un ensemble constitué par un portique en béton armé et des murs en retour en U venant fermer le talus jusqu'à la limite de propriété RFF. Après réalisation des travaux prélimi-

naires de terrassement de l'aire de préfabrication des ouvrages en béton armé et du PRA côté rue de la Paix, le phasage envisagé comprenait les différentes séquences suivantes :

→ Démolition des murs SNCF existants et pose du pont-rail des voies impaires (côté rue de la Paix) aux

moyens de chariots autoporteurs lourds (figure 4) ;
 → Réalisation du pont-route côté rue de la Paix ;
 → Pose du pont-rail des voies paires (côté rue Diderot) ;
 → Réalisation des parois clouées provisoires sous les PRA en service ;

→ Réalisation des murs définitifs de la RD 121 contre les parois clouées sous les PRA en service (figure 5) ;
 → Réalisation du portique de raccordement côté rue Diderot.

Les travaux ont été réalisés sur un site ferroviaire exploité, en zone urbanisée. Certaines opérations ont nécessité des Interruptions Temporaires des Circulations ferroviaires et électriques (ITC) ainsi que des coupures des voies routières.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

D'un point de vue géologique, le site est caractérisé par une faible épaisseur de remblais hétérogènes reposant directement sur les Marnes et Caillasses et le Calcaire Grossier Supérieur (figure 6). Les reconnaissances géotechniques, qui comportaient une dizaine de sondages pressiométriques et quatre sondages carottés à proximité des voies ferrées et au-dessous d'elles, ont permis de mettre en évidence des formations présentant de très bonnes caractéristiques mécaniques à l'exception des remblais de tête (figure 7). Le choix du mode de fondation des ouvrages s'est ainsi porté vers des fondations superficielles (pour le PRA et le PRO), pour les soutènements provisoires vers des écrans type parois clouées et pour les soutènements définitifs annexes vers des murs en L coulés en place.

VUE EN PLAN DU PROJET



2- Vue en plan du projet.

3- Vue en coupe du projet.

4- Ripage du pont-rail - 1ère phase côté rue de la Paix.

5- Coupe longitudinale des ponts-rails.

6- Terrassement préliminaire côté rue de la Paix.

2- Plan view of the project.

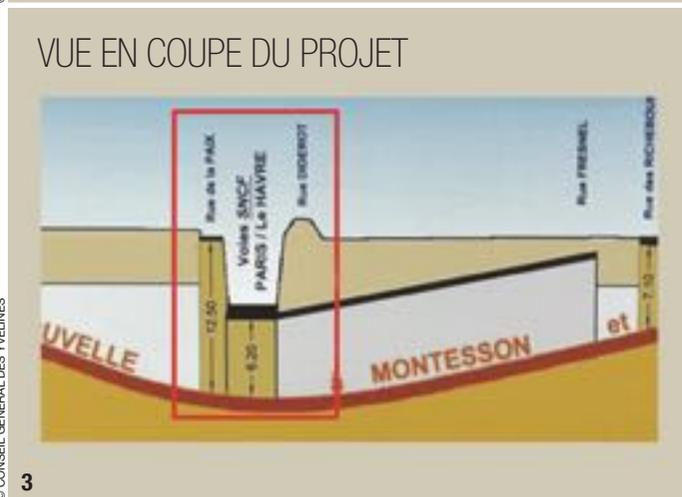
3- Cross-section view of the project.

4- Rail bridge skidding - 1st phase on rue de la Paix side.

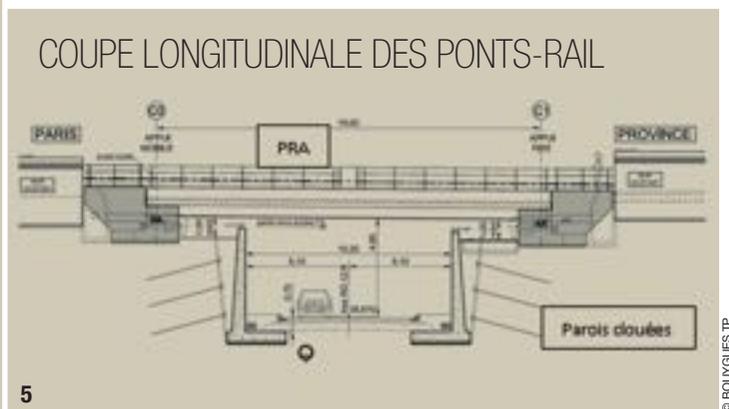
5- Longitudinal section of rail bridges.

6- Preliminary earthworks on rue de la Paix side.

VUE EN COUPE DU PROJET



COUPE LONGITUDINALE DES PONTS-RAIL



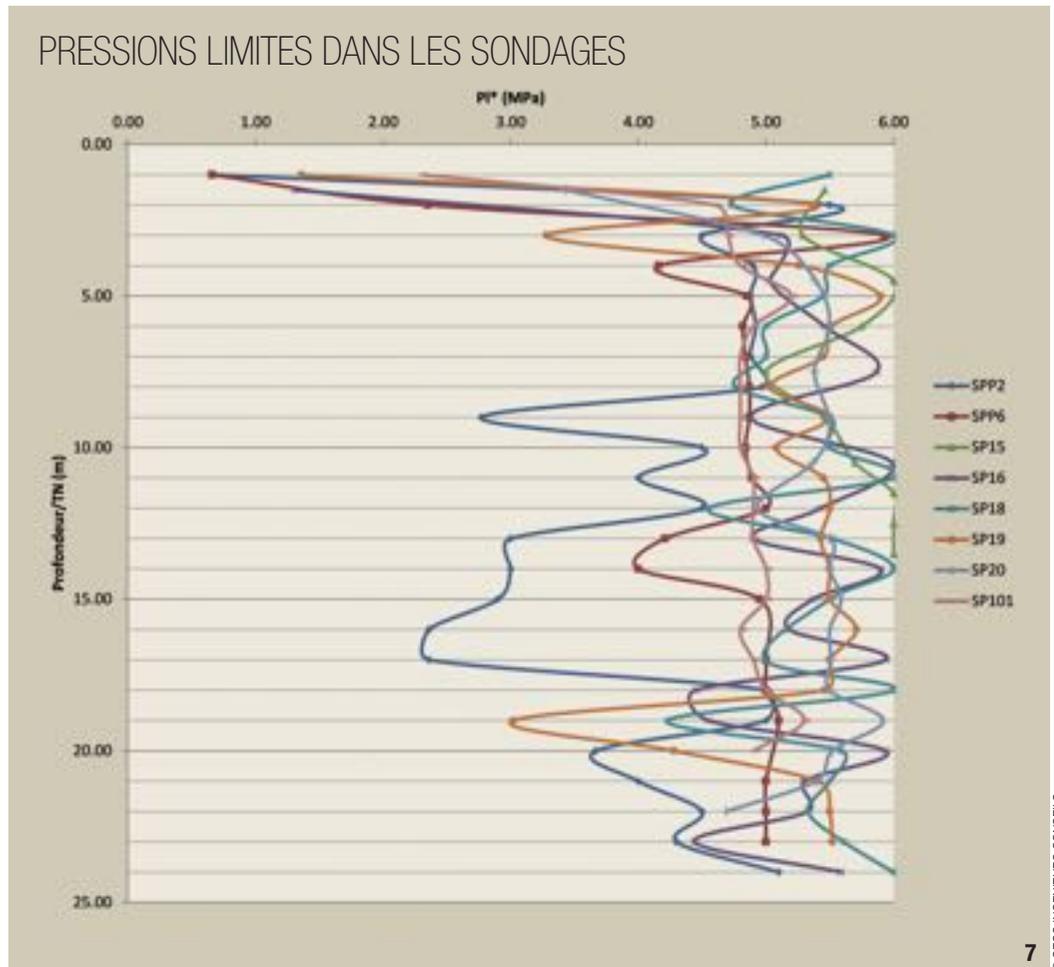
À partir des différents essais in situ et en laboratoire, et du CCTP rédigé par la SNCF, Géos Ingénieurs Conseils a défini dans sa note d'hypothèses préalable aux calculs d'exécution les valeurs de sol à considérer pour les études (tableau A).

TRAVAUX PRÉALABLES À LA MISE EN PLACE DES OUVRAGES - VÉRIFICATION DE LA STABILITÉ DES TALUS

Compte tenu de ces éléments, les pentes préconisées pour la réalisation des talus étaient de 1H/1V dans les Marnes et Caillasses et de 1H/5V dans le Calcaire Grossier. La justification de la stabilité des pentes a été réalisée à l'aide du logiciel de calcul *Geostab* développé par Géos Ingénieurs Conseils. Dans un souci d'unité avec le calcul des parois clouées, les calculs ont été réalisés en tenant compte de l'approche 3 « A2+M2+R3 » de la norme NF P 94-270. Le tableau suivant (tableau B) récapitule les coefficients partiels appliqués aux données d'entrée. Le facteur de modèle partiel $\gamma_{R;d}$ a été pris égal à 1,2 (ouvrage à proximité immédiate d'une structure sensible). On a vérifié un coefficient de sécurité $F > 1$ en utilisant la méthode des tranches de Bishop (figure 8).

Les calculs ont montré que la stabilité des talus était assurée vis-à-vis des glissements circulaires et plans de type « sols ». Cependant, une approche en mécanique des roches (méthode du dièdre) a montré qu'il pouvait exister un risque d'éboulement ou de chute de petits blocs en surface dans le Calcaire Grossier, notamment à cause de la présence d'inter-bancs marneux et de la fracturation du massif recoupé (figure 9).

Le long des talus à 1H/5V dressés dans le Calcaire Grossier, Géos Ingénieurs Conseils a donc préconisé le temps des travaux la mise en place d'un grillage pendu double torsion type maille 60x80 (fils diamètre 2,7 mm) stabilisé en tête par un lit de clous HA 32 (longueur scellée 150 cm environ) à 1,5 m de la



crête du talus et disposés tous les 3 m. Le filet pouvait aussi être fixé directement sur les GBA mises en place en tête de talus. Ce système, doublé d'un polyane, est efficace pour des blocs de taille inférieure à 0,2 - 0,3 m³. Si des blocs plus importants étaient découverts au cours du terrassement, il convenait de les purger rapidement à l'avancement (figure 10).

PORTANCE DES OUVRAGES

Lors des travaux, il a été nécessaire de dévoyer une conduite d'eau diamètre 800 mm en fonte reposant sur une poutre support métallique d'une portée de l'ordre de 42 m et fondée sur semelles superficielles (figure 11).

7- Évolution des pressions limites mesurées sur les sondages pressiométriques du site en fonction de la profondeur.

7- Change in limit pressures measured on the pressure measurement boreholes on site as a function of depth.

TABLEAU B : COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ PARTIELS RETENUS POUR L'ÉTUDE DE STABILITÉ DES TALUS (SELON L'APPROCHE 3 DE LA NORME NF P94-270)

| Coefficients de sécurité partiels | NF P94-270 (approche 3) |
|-----------------------------------|-------------------------|
| γ_γ | 1 |
| γ_{φ} | 1,25 |
| γ_c | 1,25 |
| $\gamma_{surcharge}$ | 1,3 |
| γ_{pi} | 1,4 |
| $\gamma_{R;d}$ | 1,2 |

TABLEAU A : PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES RETENUS POUR L'ÉTUDE

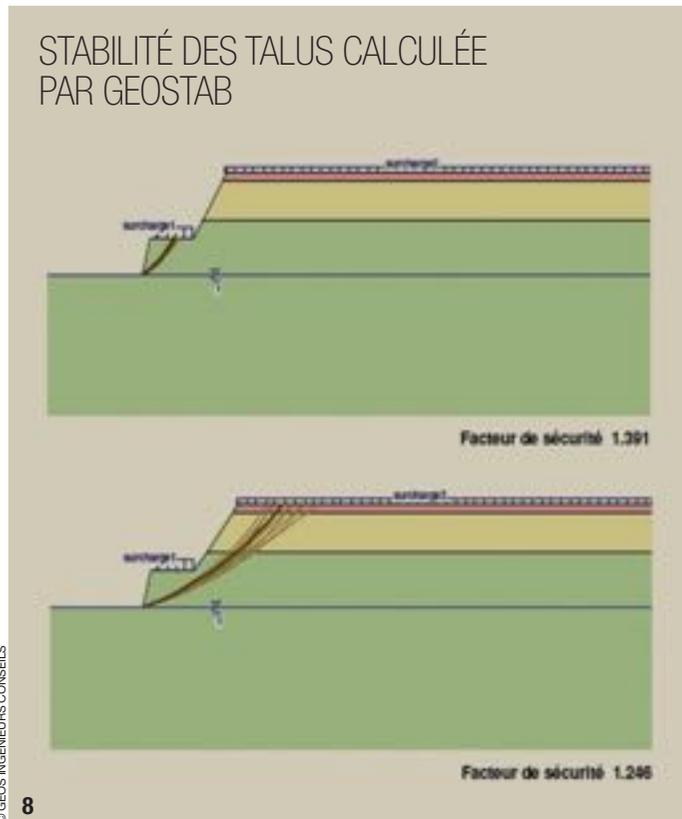
| Nature des terrains | γ kN/m ³ | γ' kN/m ³ | E_m MPa | p_i MPa | φ' (°) | C' kPa | φ_{cu} (°) | C_{cu} kPa |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|-----------------------|-----------------|
| Remblais de couverture | 19 | 10 | 5 | 0,5 | 30 | 0 | 30 | 0 |
| Marnes et Caillasses | 21 | 11 | 50 | 4,2 | 25 | 25 | 20 | 30 |
| Calcaire Grossier | 22 | 12 | 120 | 5 | 35 | 50 | 20 | 70 |
| Sables de Cuise | 20 | 10 | 125 | 5,2 | - | - | - | - |

8- Résultats des calculs de stabilité des talus de l'aire de préfabrication, réalisés à partir du logiciel Geostab.

9- Talus de l'aire de préfabrication du Pont Route taillés dans le Calcaire Grossier.

8- Results of stability calculations for the prefabrication area embankments, performed with the Geostab software.

9- Embankment of the road bridge prefabrication area cut out in coarse limestone.



Les impératifs d'emprise chantier imposaient de réaliser des talus à forte pente, dans les Marnes et Caillasses, à proximité immédiate des semelles (bord du talus à 2 m - figure 11). Compte tenu de la nature des matériaux, Géos Ingénieurs Conseils a déterminé la

capacité portante des semelles suivant les prescriptions de l'IN4470 de la SNCF en réalisant un calcul en fourchette :

→ **Calcul 1** : géométrie réelle du projet ($\beta_1 = 63,4^\circ$), sol homogène purement cohérent.

→ **Calcul 2** : sol homogène frottant-cohérent. Pour ce type de terrain, la formule proposée par l'IN4470 n'est pas valable pour des pentes de talus supérieures à 1H/1V. On s'est limité à $\beta_2 = 45^\circ$.

La charge qui s'applique au centre

de la semelle est inclinée de $4,27^\circ$. Les charges de l'ouvrage étant relativement modestes ($q_{ref\ ELS} = 56\text{ kPa}$ et $q_{ref\ ELU} = 76,8\text{ kPa}$), il a été démontré que la capacité portante était admissible malgré les conditions de site très défavorables.

PAROIS CLOUÉES SOUS LE PRA

Les parois s'établissaient en grande partie dans le Calcaire Grossier.

Contrairement aux recommandations Clouterre qui laissaient la possibilité de ne pas faire d'essais sur les clous et d'utiliser des abaques donnant le frottement latéral en fonction de la pression limite des terrains, la norme NF P 94-270 impose la réalisation d'essais préalables à l'arrachement menés à la rupture. Dans une optique d'optimisation (et pas uniquement de validation) des longueurs de clous, la SNCF a imposé la réalisation de 4 essais sur des barres de 50 mm de diamètre pour un scellement de $l_{sc} = 3\text{ m}$. Il était prévu de soumettre les clous d'essais à un effort de traction maximal (T_{max}) égal à deux fois la traction limite estimée (T_{Le}^*) à partir des données géotechniques disponibles.

En supposant un $q_s = 450\text{ kPa}$ (abaques de Clouterre pour le Rocher et $p_1 = 5\text{ MPa}$) et pour un diamètre de forage $d = 100\text{ mm}$, $T_{Le}^* = \pi \cdot d \cdot q_s \cdot l_{sc} = 424\text{ kN}$. On s'assure que $2 \times T_{Le}^* < 0,9 T_p$ (traction limite conventionnelle d'élasticité de l'armature $0,9 \cdot T_p = 883\text{ kN}$) pour confirmer qu'il n'y aura pas rupture de l'acier.

Les essais ont été réalisés dans le respect de la procédure entreprise conformément à la norme NF P 94 242-1 et aux recommandations Clouterre en suivant les paliers de chargement sous le contrôle de Géos Ingénieurs Conseils (figure 12).

Le frottement latéral unitaire, q_s , à prendre en compte au sein du Calcaire Grossier pour le dimensionnement a été déterminé de la manière suivante (NF P 94 270).

Le frottement latéral retenu pour les calculs a ainsi été augmenté de 60% environ par rapport à celui donné par les abaques de Clouterre ce qui a permis l'optimisation des diamètres de forage et des longueurs de clous.

La surcharge apportée par les culées des PRA constituait la principale difficulté dans le calcul des parois clouées. La contrainte au sol était élevée (de l'ordre de 500 à 600 kPa) et couplée à des efforts horizontaux issus du freinage et des phénomènes de dilatation thermique des rails.





10

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

10- Système de filets doublés d'un polyane mis en œuvre contre les chutes de petits blocs.

11- Fondations superficielles de la poutre permettant le dévoiement de la conduite d'eau.

12- Essai préalable d'arrachement de clou mené à la rupture.

10- System of nets backed up by a polyane film installed to prevent falls of small blocks.

11- Shallow foundations of the beam permitting a change of direction for the water pipe.

12- Preliminary nail pulling test carried out through to failure.



11

© GEOS INGENIEURS CONSEILS



12

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

Les principaux efforts de la culée des PRA sont récapitulés ci-dessous (tableau C) :

Les procédures SNCF le long des ouvrages en circulation imposent de limiter l'ouverture des passes de terrassement à une hauteur de 1 m. Par ailleurs, le premier lit de clous devait se trouver suffisamment proche de la tête de la paroi clouée pour bloquer dès les premiers terrassements les efforts transmis au parement par les culées des PRA. Enfin, il fallait tenir compte de l'encombrement de la foreuse sous l'ouvrage en place et conserver une distance de sécurité raisonnable entre le mât de la foreuse et les poutrelles enrobées.

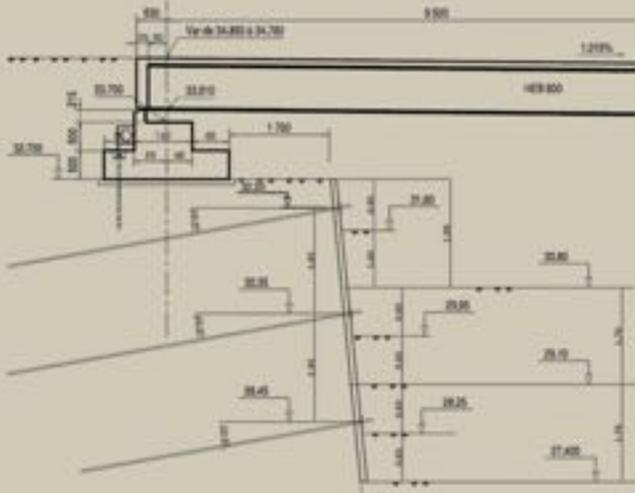
TABLEAU C : EFFORTS EN SOUS-FACE DES SEMELLES DES CULÉES DES PRA

| Numéro culée | (°) | $L_{comprimée}$ (m) | q_{max} (kPa) | q_{min} (kPa) | q_{ref} (kPa) |
|--------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| C1 | 19.69 | 1.80 | 817.2 | 0.0 | 612.9 |
| C0 | 8.02 | 2.2 | 549.6 | 118.4 | 441.8 |

TABLEAU D : COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ OBTENUS POUR LES DIFFÉRENTES PHASES DE CALCUL

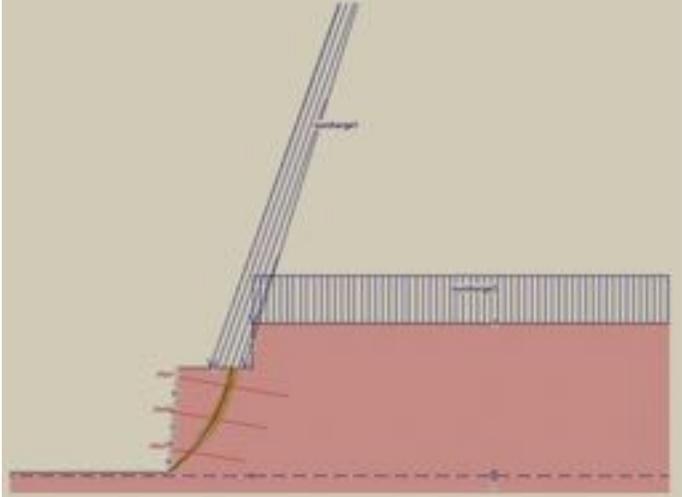
| | F sécurité | F recherché |
|---|------------|-------------|
| Phase 1 - Terrassement à 29,95 NGF - 1 ^{er} lit de clous | 0.96 | 1 |
| Phase 2 - Terrassement à 28,25 NGF - 1 ^{er} + 2 ^e lit de clous | 1 | 1 |
| Phase 3 - Terrassement final à 27,40 NGF - 1 ^{er} + 2 ^e + 3 ^e lit de clous | 0.96 | 1 |

COUPE DE CALCUL DE LA PAROI CLOUÉE SOUS LA CULÉE C0 DU PRA



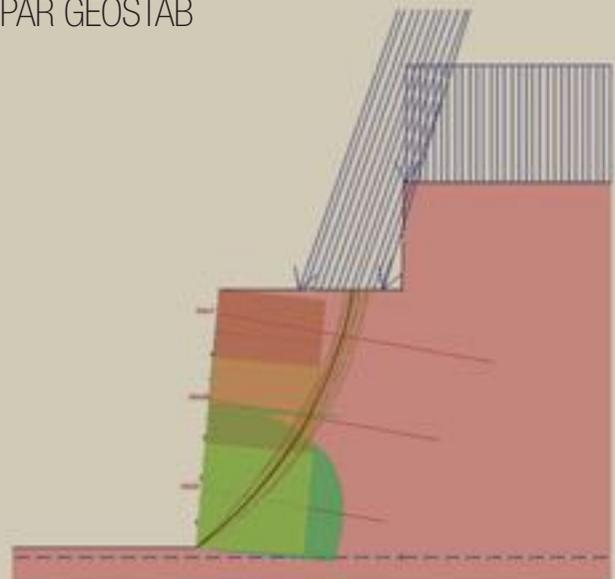
13

SORTIE GEOSTAB DU CALCUL DE STABILITÉ DE LA PAROI CLOUÉE EN PHASE 3



14

EFFORTS DE TRACTION CALCULÉS PAR GEOSTAB



15

Pour respecter l'ensemble de ces contraintes Géos Ingénieurs Conseils a produit la coupe de calcul suivante qui a été validée par la SNCF et par l'entreprise Bouygues TP (figure 13). Les calculs de stabilité ont été réalisés à l'aide du logiciel de calcul *Geostab* développé par Géos Ingénieurs Conseils.

Les vérifications ont été menées pour chacune des passes de terrassement principales en respectant la norme NF P 94-270. En accord avec le Bureau d'Étude Géotechnique de la SNCF, les clous travaillaient en traction pure quel que soit l'angle d'attaque du cercle de rupture, afin de ne pas être trop défavorable au regard de la très bonne qualité des terrains rencontrés. Compte tenu des charges des PRA, le premier lit était constitué de barres à forte limite élastique (950 MPa pour une barre diamètre 40 mm) et les deux derniers lits par des barres plus classiques (limite élastique 500 MPa). Les coefficients de sécurité calculés étaient très proches de 1 et considérés comme satisfaisants (figure 14 et tableau D).

Le parement est justifié selon l'additif 2002 aux recommandations Clouterre 1991 et l'Eurocode 2.

Les 2 paramètres dimensionnants sont la traction des clous et la poussée des terres sur le parement. Trois types de traction en tête de clou sont à prendre en compte pour justifier la résistance du parement :

- La traction T_0 prise en compte dans les justifications de stabilité d'ensemble ;

13- Coupe de calcul de la paroi clouée réalisée sous la culée C0 du PRA.

14- Sortie Geostab du calcul de stabilité de la paroi clouée en phase 3.

15- Efforts de traction T0, T1, T2 calculés automatiquement par le logiciel Geostab.

13- Cross section of the design of the soil-nailed wall executed under rail-bridge abutment C0.

14- Geostab output of the soil-nailed wall stability calculation in phase 3.

15- Tensile loads T0, T1, T2 calculated automatically by the Geostab software.

- La traction T_1 nécessaire pour assurer la stabilité du parement par frottement contre le sol ;

- La traction T_2 nécessaire pour assurer le confinement du sol.

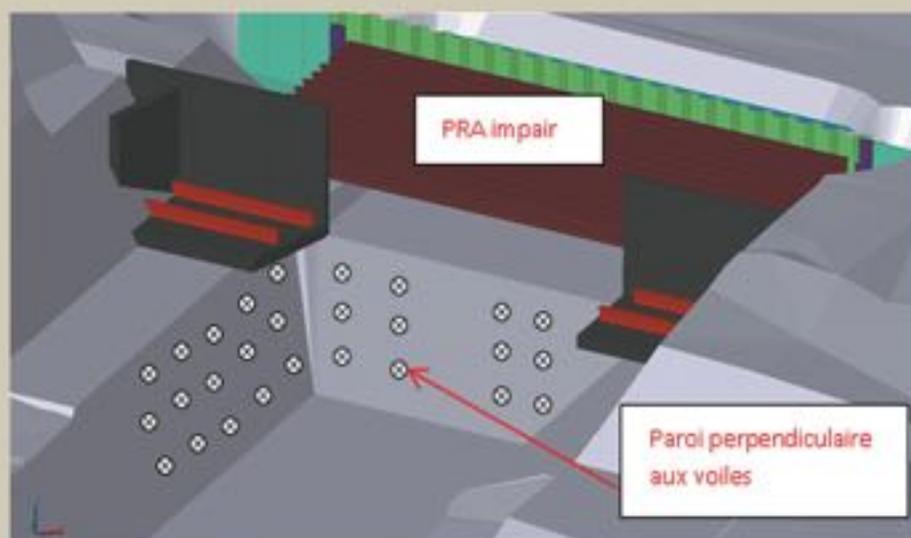
Le logiciel *Geostab* permet de calculer

directement ces valeurs (figure 15). La méthode de Culmann est utilisée pour la détermination des poussées et permet de tenir compte d'une forme et d'une surcharge quelconque de terre-plein à l'amont de l'écran. La réalisation de la

paroi clouée sous les voies s'est déroulée à partir de mai-juin 2014. Préalablement, la mise en place du pont route a nécessité la réalisation de clouages anticipés côté rue de la Paix à proximité des ouvrages annexes (figure 16). ▽

| N° | X ₀ | Y ₀ | R | F _a | F _{so} | CL1 196,08 | CL2 196,08 | CL3 196,08 | Z |
|--|----------------|----------------|---------|----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| 1 | 24,732 | 04,182 | 0,7022 | 0,962 | 0,332 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 2 | 25,700 | 02,900 | 0,5900 | 0,970 | 0,390 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 3 | 24,270 | 04,700 | 0,4022 | 0,972 | 0,349 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 4 | 25,110 | 03,700 | 0,1022 | 0,974 | 0,333 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 5 | 26,470 | 03,200 | 0,2022 | 0,975 | 0,374 | 959,48 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 6 | 20,290 | 07,200 | 0,8,973 | 0,973 | 0,338 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 7 | 23,730 | 05,400 | 0,9,985 | 0,985 | 0,392 | 959,99 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 8 | 28,200 | 03,710 | 0,5,982 | 0,982 | 0,381 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 9 | 19,090 | 08,420 | 0,6,970 | 0,980 | 0,349 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| 10 | 21,270 | 08,220 | 0,2,992 | 0,992 | 0,329 | 952,00 | 0,0000 | 0,0000 | 196,00 |
| Efforts maximums dans les têtes (FS = 1) | | | | | | 894,88 | 423,25 | 204,85 | 1734,9 |
| Efforts T0 (FS = 1) | | | | | | 180,22 | 180,49 | 112,24 | 470,99 |
| Efforts T1 (FS = 1) | | | | | | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Efforts T2 (FS = 1, T2/Pa = 1,8, Sa = 2) | | | | | | 120,84 | 171,21 | 196,29 | 488,34 |
| Maximum 20,71, 92 | | | | | | 180,22 | 171,21 | 196,29 | |

VUE 3D DES PAROIS CLOUÉES PROVISOIRES



16

© BOUTIGUES TP

16- Vue 3D des parois clouées provisoires permettant la mise en œuvre du pont-route.

17- Clous en fibre de verre de la paroi clouée parallèle aux voies SNCF côté Rue de la Paix.

18- Paroi clouée réalisée sous les PRA, avec identification des 3 rangées de clous.

16- 3D view of the temporary soil-nailed walls allowing setting up of the road bridge.

17- Fibreglass nails of the soil-nailed wall parallel to the railway tracks on rue de la Paix side.

18- Soil-nailed wall executed under the rail bridges, with identification of the 3 rows of nails.



17

© GEOS INGENIEURS CONSEILS



18

© GEOS INGENIEURS CONSEILS

La paroi clouée perpendiculaire aux voies SNCF a été démolie à l'avancement des terrassements et des opérations de clouage/bétonnage sous les PRA lancées depuis la Rue Diderot. Des clous fibre de verre ont été mis en œuvre sur cette partie de l'ouvrage (figure 17).

Sous les PRA, un système de drainage approprié pour l'évacuation des eaux (nappe drainante et cunette de récupération) a été mis en œuvre pour éviter toute mise en charge à l'arrière du voile.

Le drainage était conçu avec deux objectifs, d'une part la maîtrise de

QUELQUES DATES

- **Week-end du 10-11 novembre 2013** : Mise en place de la 1^{re} partie du pont-rail côté rue de la Paix
- **Fin novembre 2013** : Mise en place du pont-route rue de la Paix
- **Octobre 2013 à janvier 2014** : Préfabrication de la 2^e partie du pont-rail côté rue Diderot
- **Février 2014 à avril 2014** : Travaux préparatoires (déviation des réseaux, travaux divers)
- **Week-end du 20-21 avril 2014** : Mise en place de la 2^e partie du pont-rail côté rue Diderot
- **Mai à décembre 2014** : Terrassement sous les ponts pour la future Voie Nouvelle Départementale à Sartrouville et Montesson et réalisation des parois clouées

l'eau pendant la construction du soutènement, d'autre part la réduction des pressions interstitielles lorsque l'ouvrage était en service.

La figure 18 montre les trois lits de clous réalisés sous l'ouvrage, le béton projeté brut (pas de talochage car l'ouvrage est provisoire) et un fond de fouille en partie inondé suite à de fortes précipitations (mise en œuvre d'un pompage pour récupération des eaux stagnantes).

Sur la figure 19, on constate que le perçement sous les PRA est réalisé et que les parois clouées sous les ouvrages en U côté rue Diderot sont en cours.



© GEOS INGENIEURS CONSEILS

19

BILAN DES TRAVAUX

Les travaux de gros œuvre les plus importants ont consisté en la préfabrication et au ripage de 2 ponts-rail de 700 et 1 000 t permettant le passage d'une future route départementale sous 5 voies SNCF (RER A, Paris/Le Havre, Saint Lazare...). Les opérations de terrassement sous ces voies en service ont nécessité la mise en œuvre de parois clouées optimisées et fortement sollicitées avec un phasage de réalisation adapté aux conditions de site très défavorable par plots alternés avec de très faibles hauteurs d'ouverture de passe. Les opérations de contrôle (essais de clous, mesures des déplacements des voies...) ont montré que le choix de ce mode de soutènement s'est révélé pertinent et très bien adapté au contexte géologique et aux contraintes techniques imposées au cahier des charges. □

19- Vue sur le pont-rail côté rue Diderot.

19- View over the rail bridge on rue Diderot side.

QUELQUES CHIFFRES

- Poids total du pont-rail (poutrelle enrobée HEB 800) : 1 700 t
- Surface de paroi clouée sous l'ouvrage : 636 m²
- Type de clous : Barres Gewi® f_y = 950 MPa et 500 MPa et barres fibre de verre type Durglass®
- Épaisseur du voile béton projeté : 25 cm

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF
- MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : SNCF
- MAÎTRE D'ŒUVRE GÉOTECHNIQUE : SNCF
- ENTREPRISE : Bouygues TP
- BET STRUCTURE : AIA Ingénierie
- BET GÉOTECHNIQUE : Géos Ingénieurs Conseils

ABSTRACT

NEW SARTROUVILLE-MONTESSON ROAD - DOUBLING OF RD 121- CONSTRUCTION OF A ROAD BRIDGE AND RAIL BRIDGE (EARTHWORKS - TEMPORARY SOIL-NAILED WALLS - STRUCTURE FOUNDATIONS)

LAURENT SAUSSAC, GEOS - OLIVIER PANNOUX, GEOS

Work for doubling the RD 121 road between Sartrouville and Montesson required skidding of two rail bridges, to enable the Paris-Le Havre line to pass under the railway tracks, and a road bridge, to allow road reconnection for rue de la Paix. These operations required major earthworks in marls, stony marls and coarse limestone, comprising in particular: a prefabrication area for the road bridge, additional earthworks in limited available space for skidding of the road bridge and rail bridges (setting up of soil-nailed walls), earthworks under railway tracks in service, requiring the execution of soil-nailed walls (steel nails and fibreglass nails) with alternating road studs and low openings. Géos Ingénieurs Conseils carried out all the 'G3' work on the project's geotechnical structures, namely complete engineering for the stability of embankments and soil-nailed walls, and verification of the structures' load-bearing capacity. □

NUEVA VÍA SARTROUVILLE-MONTESSON - DESDOBLAMIENTO DE LA RD 121- CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE-CARRETERA Y DE UN PUENTE FERROVIARIO (EXCAVACIONES - PAREDES ATORNILLADAS PROVISIONALES - CIMENTACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES)

LAURENT SAUSSAC, GEOS - OLIVIER PANNOUX, GEOS

Las obras de desdoblamiento de la carretera nacional RD121 entre Sartrouville y Montesson han precisado la instalación de dos puentes ferroviarios para permitir el paso bajo las vías de la SNCF de la línea Paris-Le Havre, y de un puente-carretera para restablecer la rue de la Paix. Estas operaciones han requerido obras importantes de movimiento de tierras, en un terreno compuesto de margas, grava y piedra caliza bruta, que incluyen: un área de prefabricación del puente-carretera, los movimientos de tierras adicionales en zonas de dominio limitadas para el paso del puente-carretera y de los puentes ferroviarios (instalación de muros claveteados), la excavación bajo las vías de la SNCF en servicio, que han precisado la realización de pantallas claveteadas (pernos de acero y de fibra de vidrio) con clavos alternos y pasos de baja altura. Geos Ingenieurs Conseils ha realizado la totalidad de misión G3 de los trabajos geotécnicos del proyecto, esto es, el estudio completo de la estabilidad de los taludes y de las pantallas claveteadas y la comprobación de la capacidad de carga de las construcciones. □

RÉNOVATION D'ENVERGURE POUR LE VIADUC DU VIAUR

AUTEUR : SAMUEL GRUAND, RESPONSABLE OA, LASSARAT

À LA FRONTIÈRE ENTRE LE TARN ET L'AVEYRON SE DRESSE LE VIADUC FERROVIAIRE DU VIAUR, UN OUVRAGE AUSSI MÉCONNU PAR LE GRAND PUBLIC QUE MAJESTUEUX PAR SES DIMENSIONS ET SA LIGNE IMPOSANTE, AUTREFOIS TRÈS EMPRUNTÉ PAR LA LIGNE ALBI-RODEZ. LES TRAVAUX DE RÉNOVATION MENÉS PAR LA SOCIÉTÉ LASSARAT REDONNENT VIE À CE GÉANT D'ACIER DE MANIÈRE SPECTACULAIRE. CE PROJET EST LE PLUS GRAND CHANTIER DE PROTECTION ANTICORROSION EN FRANCE DEPUIS DE NOMBREUSES ANNÉES.



1
© LASSARAT

HISTOIRE DE LA CONSTRUCTION

Pour la construction du viaduc du Viaur (figure 1), c'est l'ingénieur Bodin (1847-1926) et sa société Batignolles qui furent sélectionnés, au détriment de Gustave Eiffel. En raison de sa grande portée de 460 m, la conception en double poutre avec porte-à-faux équilib-

rés type cantilever fut choisie, avec un point central d'équilibre dit « la clef ». La réalisation de cet ouvrage traversant la vallée du Viaur durera seulement 7 années, jusqu'en 1902, pour réaliser l'assemblage, rivet par rivet, des 3 800 t d'acier. Bien évidemment, comme en témoignent les photos d'époque (figure 2), les conditions de

1- Le géant d'acier enjam-bant la vallée.

1- The steel giant crossing the valley.

travail étaient particulièrement précaires et périlleuses (figure 3). On n'ose à peine imaginer de nos jours de telles conditions de travail. Aujourd'hui, le viaduc du Viaur est rénové de fond en comble, avec un traitement anticorrosion complet, ce qui lui permettra de résister aux dégradations du temps et concourra à un regain de sa notoriété.

613 — La construction du Viaduc du Viaur.
(Pont de Tanus) Tarn-Aveyron.



© MAIRE TANUS

2

2- Construction du viaduc.
3- Conditions de travail lors de la construction.

2- Construction of the viaduct.
3- Working conditions during construction.

était un système oléoglycérophthalique au minium de plomb avec mastic au minium de plomb et conservation d'anciens fonds contenant également du minium de plomb sur certaines zones. Une peinture bitumineuse aurait été appliquée en deux couches sur les fers Zorès.

DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE

Le rapport de diagnostic de l'ouvrage conclut logiquement à une présence de plomb et d'amiante sur l'ouvrage, ce qui impose des solutions spécifiques respectant à la fois la santé des travailleurs et l'environnement de l'ouvrage.

Au niveau de la protection anticorrosion existante, les expertises démontrent que l'adhérence du revêtement est très faible. De nombreux points de corrosion sont également soulignés, aussi bien sur le tablier que sur les arches. Ainsi, un décapage complet de l'existant s'avère impératif pour repartir sur des bases saines, gage d'une bonne

perennité de l'ouvrage. Cette conclusion se retrouve habituellement après 25 à 30 ans de service sans entretien significatif. Au-delà, sans cette maintenance de la protection anticorrosion, des réparations nettement plus coûteuses et bloquantes doivent être envisagées. En 2011, un essai grandeur nature est effectué pour tester différentes méthodes de décapage, il en ressort que le décapage à l'eau en UHP (Ultra Haute Pression) et le décapage à l'abrasif obtiennent tous les deux des résultats satisfaisants en termes de mise en œuvre, de rendu et d'adhérence. Les systèmes de peinture anticorrosion à base de primaire zinc sont prohibés pour éviter l'effet de corrosion galvanique avec les traces de plomb restantes sur les zones inaccessibles de l'ouvrage.

Un premier appel d'offres lancé en 2012 se révèle infructueux en raison du changement de la réglementation en matière de protection sur les travaux de désamiantage. Par la suite, un essai sur site est lancé pour caractériser les enjeux de cette nouvelle problématique. Le résultat de ces tests confirme la présence d'amiante et identifie les valeurs d'empoussièrement pour les méthodes de décapage. Ainsi, le décapage par UHP émet plus de fibres d'amiante que la méthode par décapage à l'abrasif, tout en restant conforme aux exigences. Lors du deuxième appel d'offres, le groupement mené par la société Lassarat remporte, fin décembre 2013, le marché de rénovation du viaduc, financé dans le cadre du Plan Rail Midi-Pyrénées par la Région, l'État et RFF.

CHOIX DE LA MÉTHODOLOGIE

Pour des raisons de protection du personnel et de l'environnement, la méthode générale de décapage par abrasif sera privilégiée au détriment de l'UHP, le sablage étant moins émetteur de fibres dangereuses pour l'homme. D'un point de vue technique pur, la méthode par sablage assure une préparation de surface optimale avant mise en peinture et les garanties anticorrosion sont optimales au standard de l'OHGPI (Office d'Homologation des Garanties de Peinture Industrielle).

La problématique d'accès a également eu une place prépondérante dans l'étude technique. Les choix se sont orientés majoritairement vers une cinématique spécifique par échafaudages suspendus de marque Hussoor, échafaudage à la fois spécialisé dans les ouvrages d'art et dans la problématique amiante. ▶

ÉTUDES PRÉALABLES HISTORIQUE DE LA PROTECTION ANTICORROSION DE L'OUVRAGE

Depuis sa construction, l'ouvrage a fait l'objet de plusieurs remises en peinture partielles. Les documents d'archives indiquent que des réfections générales ont eu lieu en 1947, 1966 et 1979. Ces remises en peinture consistaient

en un décapage localisé à la brosse métallique et/ou à l'abrasif perdu (pour la dernière mise en peinture), mais en aucun cas il n'y a eu une mise à nu de l'ouvrage et, à chaque réfection, on a procédé par rajout sur l'existant. La dernière remise en peinture de l'ouvrage date de 1979 et s'est étalée sur 2 années. Le système mis en œuvre

© MAIRE TANUS

3

EXÉCUTION DES TRAVAUX IMPLANTATION - DIMENSIONNEMENT

Compte tenu du manque de place aux abords de l'ouvrage et de l'impossibilité de s'implanter sur l'ouvrage en raison du trafic ferroviaire, l'implantation du chantier est un vrai casse-tête pour les équipes. Le dimensionnement par CAO-DAO (figure 4) est alors un sérieux atout pour déterminer les matériels et leurs positionnements sur ce site. L'idée est également de préserver les espaces naturels et le voisinage, tout en limitant les distances entre les zones techniques et les zones de travail, néfastes en termes de pertes de charge dans les réseaux. Avec toutes ces contraintes, la société Lassarat décide de diviser le chantier en 2 parties symétriques et autonomes (figure 5), ce ne sera plus un 1 viaduc à traiter mais 2 demi-viaducs ! Cette option présente plusieurs avantages : elle diminue la concentration des équipes et du matériel, optimise le dimensionnement, sécurise les approvisionnements, garantit les délais.

PRÉPARATION DU CHANTIER

En suite de l'implantation de chantier, les échafaudages, montés par la société Hussor, ont débuté avec la mise en place d'un plancher complet sous le tablier (figure 6). Ce plancher a été monté à l'aide de chaînes suspendues à des étriers prenant sur les semelles inférieures de l'ouvrage. À partir de ce plancher, des échafaudages ont été

montés de part et d'autre pour assurer l'ossature du confinement et les accès pour le personnel aux zones à traiter. Afin de respecter l'intégrité de l'ouvrage et des échafaudages, des notes de calcul et procédures ont été étudiées, notamment des procédures de déconfinement en cas de fort vent et des procédures d'aspiration pour limiter la charge sur échafaudage.

4- Implantation CAO/DAO du matériel.

5- Symétrie de l'implantation.

4- CADD layout of the equipment.
5- Layout symmetry.

En parallèle aux échafaudages, pour optimiser les flux, des gaines sont solidement fixées entre les zones techniques et les zones de travail. Ces réseaux véhiculeront le renouvellement d'air de l'enceinte confinée, l'air respirable pour le personnel, l'abrasif utilisé, les déchets récupérés, l'électricité, la peinture nécessaires au bon déroulement des travaux et permettront aux

IMPLANTATION CAO/DAO DU MATÉRIEL



4

© LASSARAT

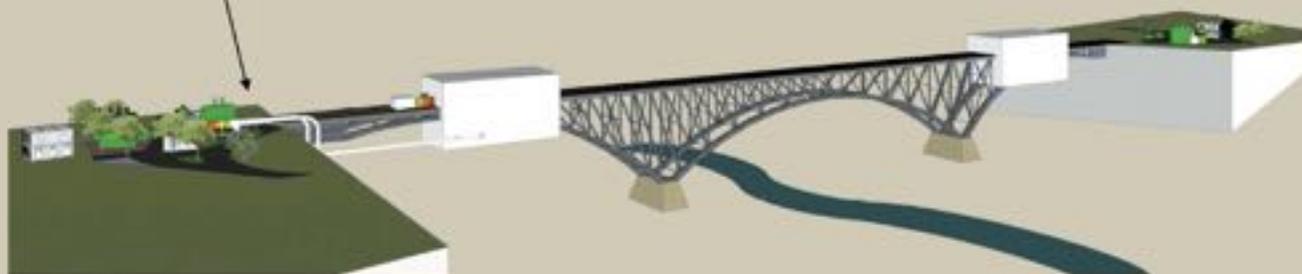
SYMÉTRIE DE L'IMPLANTATION

Installation d'une base vie côté Nord (Naucelle)

L'installation se réalisera sur le parking, face à l'hôtel du Viaduc du Vaur.

Installation d'une base vie côté Sud (Tanus)

L'installation se réalisera sur l'aire de Pique-Nique, sur la commune de Tanus.



5

© LASSARAT



6

© LASSARAT

équipes de limiter de longues et fatigantes manutentions. Compte tenu du volume des travaux, la logistique complète a été entièrement étudiée pour aboutir aux solutions techniques les plus avantageuses.

Une fois que le matériel a été mis en place et testé, un essai de convenance a permis de valider la bonne adéquation du process, de la méthodologie et du résultat à obtenir, en accord avec la maîtrise d'œuvre.

1^{re} PHASE : LE TABLIER

L'objectif de la première partie du chantier a été de traiter le tablier en un temps particulièrement restreint, de manière à pénaliser le moins possible le trafic ferroviaire.

6- Montage du plancher d'échafaudage.

7- Hélicoptage des colis d'échafaudage.

6- Assembling the scaffolding floor.

7- Helicopter transport of scaffolding packages.

Ainsi, pendant les 6 mois dédiés, les opérations de changement de rails, de rénovation métallique, d'échafaudage, de confinement et de décapage-peinture se sont enchaînés à un rythme très soutenu. Pour satisfaire ce délai, un phasage par tronçons successifs a été étudié avec des tâches importantes réalisées en temps masqué. Le double objectif étant de limiter la co-activité et de pouvoir assurer les impératifs par les équipes de production. Pour y parvenir, une réflexion sur l'ergonomie des postes de travail a permis de maintenir les cadences exigées tout en limitant la pénibilité du travail.

Toutes ces mesures ont permis de réussir à remettre la ligne à la SNCF à temps.

2^e PHASE : LES ARCHES

Les arches sont actuellement en travaux selon un phasage déterminé, avec des zones suspendues à l'ouvrage et des zones qui partent du pied des piles. Pour optimiser ses manutentions, l'échafauteur a eu recours à l'hélicoptage des colis (figure 7), cette solution a permis d'éviter le terrassement d'un chemin dans la vallée et de diminuer les manutentions longues et fastidieuses.

TRAITEMENT ANTICORROSION

En terme de qualité, l'objectif premier de la protection anticorrosion est d'obtenir une préparation de surface au degré de soin Sa 2.5, c'est-à-dire une mise à nu du subjectile, avec une rugosité Moyen G. ▷



7

© LASSARAT



8

© LASSARAT

Les décapeurs font leurs autocontrôles sous la surveillance étroite des responsables d'équipe et des contrôleurs externes, en respect des normes 8501. En effet, la préparation de surface est primordiale dans l'efficacité de la protection anticorrosion et de sa tenue à long terme.

Ensuite, l'application du système anticorrosion peut avoir lieu, un soin particulier est réservé aux zones difficiles d'accès, en effectuant des applications manuelles, dites pré-touches. Pour le reste, l'application par pistolet airless permet d'exécuter un travail de qualité en accord avec les standards requis. D'un point de vue technique, le système de peinture est composé d'une couche primaire époxy à 80 µ d'épaisseur sèche, une couche intermédiaire époxy à 90 µ d'épaisseur sèche et une couche de finition polyuréthane à 80 µ d'épaisseur sèche. Par nature, l'application requiert un savoir-faire spécifique et une grande expérience, le diplôme ACQPA reconnaît les compétences du personnel d'exécution et garantit une maîtrise des travaux.

Les conditions d'exécution sont également un facteur déterminant de la

réussite des travaux, que ce soit pour la température atmosphérique et de support et le taux d'hygrométrie relative. Pour parer aux conditions météorologiques difficiles, un ensemble de matériel de traitement de l'air est activé.

GESTION DES ÉQUIPES

Un chantier n'est rien sans les hommes. Le conducteur de travaux principal veille à la bonne gestion des équipes. En effet, l'organisation est le maître-mot de la réussite du projet et il faut coordonner quotidiennement jusqu'à 100 personnes lors des pics d'activité ! Un important travail d'organisation et de planification des entreprises impliquées et de relation avec la maîtrise d'œuvre est conduit par l'ingénieur travaux permanent du chantier.

La sécurité est également un objectif majeur du projet. Chaque matin, l'animatrice HSE conduit un point sécurité avec les équipes sur des thèmes précis : travaux en hauteur, maîtrise des risques amiante, gestion de la circulation, ordre et rangement, gestes et postures, etc. Les situations dangereuses font l'objet d'une remontée d'information par les exécutants dans

8- Confinement des zones avant travaux.

8- Confinement of the areas before the works.

un souci d'amélioration continue et cela fonctionne plutôt bien : depuis le démarrage des travaux, aucun accident n'est à déplorer.

Le développement économique local est privilégié avec l'emploi de travailleurs locaux ou de sociétés régionales. Pour les travaux dangereux ou nécessitant un savoir-faire spécifique, ce sont des équipes spécialisées issues des quatre coins de l'hexagone qui sont requises.

CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES ET RÉGLEMENTAIRES

Pour les protections collectives, un confinement étanche de la zone de travail est mis en place avec des bâches thermodurcissables de 320 µ

d'épaisseur (figure 8). L'étanchéité est particulièrement soignée pour satisfaire aux tests de fumée avant travaux. Pendant les opérations, cette zone est alors mise sous extraction d'air avec de puissants dépoussiéreurs, spécialement conçus par la société Lassarat pour cette affaire, assurant à la fois le renouvellement d'air et la dépression requise et cela 24 heures sur 24.

En ce qui concerne les opérateurs, tous sont expérimentés, formés et habilités aux travaux de désamiantage par des organismes externes à l'entreprise. Ils observent des sessions de travail spécifiques à ces travaux de décontamination. Les équipements de protection individuelle sont particulièrement importants : en plus des équipements de sablage et de peinture habituels, les opérateurs portent en permanence un masque facial à adduction d'air extérieur avec une combinaison entièrement étanche. À chaque entrée ou à chaque sortie de zone, une procédure de nettoyage corporel est obligatoire à l'intérieur des sas à 5 compartiments. De plus, des analyses périodiques de l'air confortent la bonne mise en œuvre de l'ensemble du processus.

Avant déconfinement, en plus du contrôle visuel, une analyse d'air dite « libératoire » vient assurer l'absence de fibres d'amiante pour pouvoir déconfiner la zone de travail et passer à la suivante. Dans une démarche de développement durable, une nouveauté de ce chantier a été l'emploi massif d'énergie électrique. À cet effet, des lignes électriques haute tension ont été détournées et on compte jusqu'à 2 transformateurs sur chaque implantation. Cette énergie électrique ainsi amenée a permis d'économiser environ 1 000 000 litres de fuel, des dizaines de transports d'approvisionnement et de diminuer nettement les rejets nocifs dans l'atmosphère.

De même, les produits utilisés en peinture ont été sélectionnés pour leurs caractéristiques environnementales. En effet, ce sont des peintures à liant époxydique à haut extrait sec, qui réduisent fortement les impacts néfastes de COV dans l'atmosphère.

9- Mise en place de résine sur boulon HR.

9- Placing resin on a HS bolt.

RÉNOVATION MÉTALLIQUE

Avant la remise en état de la protection anticorrosion, il est prévu de réparer les défauts d'ordre structurel de la charpente métallique : rivets cassés ou « sonnant creux », déconsolidation des attaches des longerons, foisonnement sur les membrures supérieures, corrosion d'éléments secondaires. Zone par zone, des constats après sablage et application du primaire sont effectués pour identifier les zones et les points singuliers à traiter. En conséquence, les interventions des équipes de compagnons métalliers de Baudin-Chateauneuf sont organisées à l'avancement des travaux de peinture. Le mode opératoire de remplacement

de pièces consiste à chasser les rivets au marteau pneumatique, à déposer les pièces à remplacer, à aléser les trous à un diamètre supérieur et à mettre en place les pièces neuves avec des boulons injectés à la résine.

Ces boulons HR 10.9 sont usinés préalablement à leur mise en œuvre, un trou d'injection est réalisé dans la tête de vis. Les opérations d'injection sont réalisées en l'absence de passage de trains, pour s'affranchir des vibrations (figure 9). Par conséquent, il est nécessaire que les conditions de température et d'hygrométrie garantissant la polymérisation de la résine soient compatibles avec les intervalles de passage des trains. □



CHIFFRES CLÉS

SURFACE À TRAITER EN ANTICORROSION : 67 000 m²

PEINTURE : 50 000 l

ABRASIF : 3 500 t

ÉCHAFAUDAGE (EN ROULEMENT) : 1 000 t

CONFINEMENT : 45 000 m²

ÉCONOMIES DE CARBURANT : environ 1 000 000 l

EFFECTIF : de 50 à 100 personnes selon les opérations

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

MAÎTRISE D'OUVRAGE MANDATÉE : Systra

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Ingerop (Mandataire) / Ioa

SPS : Elyfec

CONTRÔLE EXTERNE : Apave, Bureau Veritas, Bec

ENTREPRISE MANDATAIRE : Lassarat

DÉSAMIANTAGE ET PROTECTION ANTICORROSION : Lassarat

RÉNOVATION MÉTALLIQUE : Baudin Chateauneuf

ÉCHAFAUDAGES : Hussor Erecta

TRAVAUX FERROVIAIRES : Aquitaine Rail

ABSTRACT

LARGE-SCALE RENOVATION FOR THE VIAUR VIADUCT

SAMUEL GRUAND, LASSARAT

This major project is a constant challenge for the teams in charge of work performance. In a restricted and protected space, the work volumes require major technical and organisational innovations by the contractors. Since the last renovation work dating from 1980, the constraints have changed enormously: compliance with asbestos regulations, environmental conservation, quality standards and safety and operating requirements. Faced with these requirements, engineering structure renovation activities, and especially corrosion protection treatment, have been considerably modernised and transformed. □

IMPORTANTE RENOVACIÓN DEL VIADUCTO DEL VIAUR

SAMUEL GRUAND, LASSARAT

Este proyecto de gran envergadura constituye un desafío permanente para los equipos responsables de la realización de las obras. En un espacio limitado y preservado, el volumen de las obras exige a las empresas importantes innovaciones técnicas y organizativas. Desde la última rehabilitación, que data de 1980, las restricciones han evolucionado enormemente: respeto de la normativa relativa al amianto, respeto del medio ambiente, normas de calidad e imperativos de seguridad y explotación. Frente a estas exigencias, las técnicas especializadas para la renovación de obras de fábrica, en especial el tratamiento anticorrosión, se han modernizado y transformado considerablemente. □



1
© COFEX MÉDITERRANÉE

TRAVAUX DE RENFORCEMENT DE LA DIGUE DE LA MONTAGNETTE, PAR LA TECHNIQUE DU BÉTON PROJETÉ PAR VOIE SÈCHE

AUTEURS : PASCAL MERCIER, INGÉNIEUR TRAVAUX, SYMADREM - CATHERINE LARIVE, CHEF DU PÔLE MATÉRIAUX, STRUCTURE ET VIE DE L'OUVRAGE, CETU - LIONEL LLOBET, DIRECTEUR D'AGENCE, COFEX MÉDITERRANÉE

LE BÉTON, EN L'ABSENCE DE COFFRAGE, PEUT TENIR TOUT SEUL SUR UN SUPPORT VERTICAL OU HORIZONTAL (EN SOUS-FACE) À LA CONDITION QU'IL Y SOIT PROJETÉ À TRÈS GRANDE VITESSE. C'EST UNE TECHNIQUE ORIGINALE, MAIS DIFFICILE À EXÉCUTER, OÙ L'ADRESSE DU PORTE-LANCE DEVIENT CAPITALE. PLUS LA VITESSE DE PROJECTION EST GRANDE, PLUS LE BÉTON EST COMPACT. ON Y RELÈVE GÉNÉRALEMENT DE TRÈS BONNES RÉSISTANCES, SURTOUT PAR VOIE SÈCHE. LA DIGUE DU DELTA DU RHÔNE, À TARASCON, A ÉTÉ RENFORCÉE PAR CETTE TECHNIQUE SUR 4,5 KM, REPRÉSENTANT 35 000 M² DE BÉTON PROJETÉ.

LE CONTEXTE

La digue de La Montagnette, qui protège la ville de Tarascon des crues du Rhône, est très ancienne et a subi de nombreuses brèches, notamment lors de la crue de 1856. Elle a fait l'objet, entre 1872 et 1883, d'un rehaussement avec le confortement du parement amont et la création d'un parapet sommital. Plus récemment, la

crue de décembre 2003 a enclenché une réflexion globale du Lac Léman à la mer. La mobilisation de l'État et des Régions Provence-Alpes Côte d'Azur a abouti en 2007 à la signature du « Plan Rhône », avec comme priorité la protection contre les inondations. Dans le cadre de ce plan, d'importants travaux de renforcement et de sécurisation des ouvrages sont en cours.

1- Atelier de projection du parement amont de la digue.

1- Shotcreting equipment for the break-water's up-stream facing.

L'OBJECTIF

Une réflexion globale a été menée dans le cadre du Plan Rhône, suite aux crues de 2002 et 2003. L'État a nommé un préfet coordonnateur de bassin pour piloter le projet. L'enjeu majeur du Plan Rhône est naturellement la protection des biens et des personnes contre les inondations. D'autres volets s'y ajoutent. Concernant l'opération en cours,



© COFEX MÉDITERRANÉE
2

elle s'inscrit dans la partie confortement des quais menée sur les communes de Tarascon, Beaucaire et Arles. S'agissant de travaux à proximité d'un patrimoine historique, le Château Royal de Tarascon, le volet patrimonial et environnemental a été pris en compte dès le projet. Les principales contraintes concernaient les quais et le château du Roi René, situés en milieu urbain. Les travaux devaient avoir un minimum d'impact sur l'environnement. Il a fallu limiter au maximum les nuisances pour les riverains. Sur la Montagnette, il fallait faire attention aux différents réseaux en place (eau, télécommunications...), aux habitations proches, aux cultures ainsi qu'à la préservation des zones humides (faune et flore) proches du chantier.

2 & 3- Rejointoiement de la partie maçonnée de la digue.

4- Pose de la pierre de couronnement, servant de rehausse à la digue.

2 & 3- Repointing the masonry part of the breakwater.

4- Placing the capping stone to raise the breakwater's height.

C'est le SYMADREM (syndicat mixte interrégional), qui a établi un programme de sécurisation des ouvrages de protection, depuis le barrage de Vallabrègues jusqu'à la mer. Ce programme inclut l'ensemble des travaux à effectuer pour une sécurisation complète des digues et un impact global des aménagements (figures 1 et 2).

LE DIAGNOSTIC

Le diagnostic a permis d'identifier de nombreuses pathologies sur les ouvrages de protection :

→ **Au niveau des quais** : une mauvaise étanchéité de la digue, une zone de faiblesse au droit du massif en béton en amont du pont ferroviaire, une présence d'arbres et de souches sur le talus aval.

→ **Au niveau de la digue de la Montagnette** : le vieillissement du béton du talus amont, la présence de terriers d'animaux fouisseurs sur le talus aval, des zones de transition digue/brèche.

→ **Au droit du Château Royal de Provence** : deux communications avec le fleuve en crue ayant provoqué des remontées d'eau à l'intérieur de l'édifice et une porte d'accès au fleuve fermée en urgence (blocs et batardeau en bois) pour éviter les entrées d'eau.

MISE EN ŒUVRE DU BÉTON PROJETÉ

35 000 m² de revêtement en 7 cm d'épaisseur, connecté à la maçonnerie de la digue par 160 000 ancrages scellés. Ce nombre important de connecteurs a conduit à mettre au point un engin original, le *Superforateur* (figure 5), qui a d'ailleurs gagné le prix de l'innovation. Il se déplaçait le long de la digue, parallèlement à sa crête, en s'adaptant à la longueur toujours variable de la pente. Sur son châssis, 12 à 16 perforateurs électriques pouvaient fonctionner simultanément, effectuant ainsi jusqu'à 1 800 trous par jour. Un seul homme a été nécessaire pour assurer le fonctionnement courant. Cet appareil a permis d'optimiser le coût, le délai et la sécurité du personnel. Venait ensuite la pose des panneaux de treillis soudé puis la projection du béton elle-même. Le béton projeté par voie sèche (figure 6) était livré depuis une centrale à béton (BPE) locale et stocké sur chantier dans des silos de distribution. En raison de la quantité très importante, la projection s'est faite à partir de nacelles élévatoires (figure 1) afin d'être au plus près des supports et d'avoir un état de surface le plus parfait possible. ▷



© COFEX MÉDITERRANÉE
3



4

QUEL EST L'INTÉRÊT DE LA TECHNIQUE DU BÉTON PROJETÉ

Le principal intérêt de la technique de projection du béton est bien sûr de s'affranchir de la mise en place d'un coffrage. Le béton peut être projeté sur toutes sortes de supports : des parois existantes, rocheuses ou en terrains meubles, des ouvrages existants en béton ou maçonnerie ou bien des coffrages perdus, souples ou rigides, permettant de réaliser des formes très variées. L'un des grands domaines d'emploi du béton projeté est donc naturellement le soutènement, aussi bien de tunnels que de talus ou de fouilles (parois clouées, berlinoises, puits marocains...) (figure 7 et 8). Beaucoup de renforcements de structures sont aussi réalisés en béton projeté (renforcement de tunnels, de galeries hydrauliques, de bâtiments, ponts, parkings...). Un deuxième intérêt de la projection est la distance de transfert du béton, qui peut aller, selon les techniques, de quelques dizaines de mètres à plus de 1 000 m. Ceci permet de travailler dans des zones inaccessibles aux engins. Un autre intérêt est l'adhérence du béton sur son support, obtenue par collage grâce à un adjuvant activateur en voie mouillée ou par accrochage chimique et mécanique, lié à la force de projection notamment en ciment au contact du support). Enfin en termes de coût, le béton projeté est avantageux lorsqu'on raisonne en coût global. La réduction des délais et l'absence de coffrage interviennent de façon importante dans le bilan final.

QUEL EST LE PRINCIPE DE LA PROJECTION

Le principe de base est toujours le même : le béton est envoyé sur le support par un jet d'air comprimé, mais il se décline de deux façons radicalement différentes, suivant que l'on transporte dans la conduite les matériaux composant le béton individuellement ou bien déjà malaxés. Dans le premier cas, on parle de projection par voie sèche (figure 9) ; dans le deuxième, de projection par voie mouillée. La projection par voie sèche consiste à transporter par air comprimé les matériaux secs et à introduire l'eau au niveau de la lance. La projection par voie mouillée consiste à pousser dans la conduite de transfert un béton déjà malaxé et à introduire à la lance l'air comprimé nécessaire à sa projection ainsi qu'un activateur permettant son raidissement



5

© COFEX MÉDITERRANÉE

quasi instantané sur le support. Dans les deux cas, la force de projection permet le compactage du béton et assure la résistance, la compacité, l'adhérence, etc. La voie sèche en revanche, génère des pertes par rebond dans des proportions variables (figure 10). La vitesse des matériaux étant bien supérieure par voie sèche que par voie mouillée, les pertes sont donc plus fortes (souvent jusqu'à 30 % sur parois verticales et pouvant atteindre, voire dépasser, 50 % en plafond). Mais la cohésion entre le support et le béton projeté est très forte par voie sèche, ce qui est primordial pour assurer le monolithisme d'un renforcement de béton. C'est en grande partie pour cette raison que la voie

5- Le Superforateur, outil prototype mis au point pour réaliser les percements des connecteurs.

6- Atelier de projection avec silos de stockage.

5- The 'Superforateur', a prototype tool developed to perform drilling for connectors.

6- Shotcreting equipment with storage silos.

sèche reste très utilisée en réparation de structures (figure 11). Elle permet de renforcer une structure existante, de traiter un béton corrodé ou de reconstituer un béton tel qu'il était à l'origine. Certaines entreprises maîtrisent bien ce procédé. Cela dit, les deux techniques ont leur intérêt selon les situations. Il faut préciser que les pertes générées peuvent être très variables selon la maîtrise plus ou moins efficace du porte-lance.

LE MATÉRIEL DE PROJECTION

Les machines de projection par voie mouillée peuvent assurer des débits bien supérieurs aux machines par voie sèche, ce qui les rend particulièrement adaptées pour les chantiers ayant besoin de gros volumes en peu de temps. Les deux types de matériels peuvent être équipés de bras manipulateurs télécommandés permettant à l'opérateur de projection de ne pas porter le tuyau et de se positionner dans une zone moins exposée. Les risques liés aux rebonds et aux poussières peuvent être traités par des équipements individuels de protection (casques avec visières intégrales et masques respiratoires). Les risques dus aux chutes de béton frais sont liés à la maîtrise des épaisseurs maximales par l'opérateur. Le rôle du projeteur (porte-lance) est très important, d'ailleurs les marchés publics exigent de plus en plus des projeteurs certifiés. Il existe pour cela



6

© COFEX MÉDITERRANÉE



© COFEX MÉDITERRANÉE

7

des formations et des certifications du personnel. En France, l'Asquapro (Association pour la Qualité de la Projection des bétons) travaille à la promotion des techniques de projection. Elle en propose régulièrement. Elle met aussi sur son site Internet www.asquapro.com des fascicules techniques très complets sur l'ensemble des problématiques du béton projeté : domaines d'emplois, mise en œuvre, formulation, contrôles, dimensionnement, etc.

QUELLE EST L'ÉVOLUTION DE CETTE TECHNIQUE

La projection par voie sèche a peu évolué dans son principe. Certaines techniques - la pré-humidification ou le pré-mouillage permettent de limiter les poussières au niveau de la lance. Pour le transport, il existe des matériels spécifiques qui évitent la ségrégation des matériaux ainsi que les poussières sur toute la longueur à parcourir. En termes de matériaux, les progrès marquants remontent au milieu des années 90 avec l'apparition des bétons RIG offrant une Résistance Initiale Garantie de 3 MPa à 3h jusqu'à une température de 10°C.

La technologie du béton projeté par voie mouillée a, elle aussi, fait un bond qualitatif avec la mise sur le marché d'activateurs sans alcalins. La sécurité des personnels, la préservation de l'environnement et la qualité du béton en ont directement bénéficié. De plus,

7- Projection d'une paroi clouée.

8- Projection d'une micro-berlinoise.

7- Shotcreting a soil-nailed wall.

8- Shotcreting a micropile Berlin wall.

le béton projeté a maintenant des performances durables et peut être utilisé pour des revêtements définitifs.

De nouveaux robots de projection permettent d'obtenir un flux de béton quasi continu, évitant les surdosages en activateur. La projection, entièrement automatisée, peut être couplée avec un levé au scanner des surfaces à projeter et un contrôle de l'épaisseur mise en œuvre. Les matériaux utilisés par voie mouillée sont des bétons malaxés,

souvent fabriqués en centrale BPE. Ils bénéficient de tous les progrès des bétons standard. Leurs spécificités : être suffisamment fluide pour passer en machine (généralement S3) et avoir assez de pâte pour bien enrober les gravillons et éventuellement les fibres (au moins 400 kg/m³ de liant). Les fibres sont d'ailleurs de plus en plus utilisées dans les bétons projetés. En France, cela fait une trentaine d'années que l'on connaît les fibres métalliques. On utilise maintenant parfois en tunnels des macrofibres synthétiques dont les capacités d'absorption d'énergie peuvent rivaliser avec celles des fibres métalliques. Elles simplifient aussi la mise en œuvre du dispositif d'étanchéité par géomembrane. Des études sont actuellement menées en faveur du développement durable, ainsi que sur l'utilisation des laitiers.

CONCLUSION SUR LA TECHNIQUE DU BÉTON PROJETÉ

La projection est une technique parmi d'autres de mise en place des matériaux de construction et principalement des mortiers et des bétons.

Il existe d'ailleurs d'autres domaines où l'on emploie cette technique : la fabrication de moules en plastique armé, les revêtements et renforcements par flocage de fibres minérales pulvérisation de vernis ou de peinture, grâce à l'utilisation d'appareils à air comprimé. ▷

© COFEX MÉDITERRANÉE



8

Dans tous les cas, le principe de la projection reste le même. Il consiste à :

- Malaxer et homogénéiser les matériaux secs ou déjà mouillés ;
- Les transporter dans une canalisation rigide ou souple grâce à une pompe mécanique ou sous la pression de l'air comprimé (figure 12) ;
- À projeter plus ou moins violemment, grâce à la pression de l'air comprimé, le matériau sur les supports à revêtir.

Le serrage (vibration) ne pouvant être réalisé en raison de l'absence de coffrage, le matériau doit être projeté sur le support avec le plus possible de violence afin de le compacter au maximum. C'est ce qui favorisera sa résistance et sa pérennité.

C'est la dextérité du porte-lance qui permettra de limiter les pertes par rebond. En effet, il devra tout d'abord constituer un matelas suffisamment gras (donc riche en liant) afin que les premiers granulats puissent s'y faire piéger. Pour cela, l'opérateur va devoir, de lui-même, régler l'arrivée d'eau au niveau de la lance.

Cette technique a été utilisée pour la première fois en Amérique en 1907. Mais ce n'est que vers les années 60 que cette méthode commence vraiment à être utilisée.

Le choix de la technique, « voie sèche » ou « voie mouillée » va dépendre :



- Du type de matériau à projeter ;
- De la nature des travaux à effectuer ;
- De la résistance nominale au jeune âge attendue ;
- Des qualifications des opérateurs.

Dans le cas des bétons, la taille maximale des granulats est limitée par l'épaisseur de la couche à réaliser (en une seule passe), par le diamètre des canalisations et par la longueur de transport.

On se limite généralement à 10 mm pour la voie mouillée et 20 mm en voie sèche.

Les passes successives, en fonction du type de matériau, sont limitées, en voie sèche, de 5 à 6 cm.

L'épaisseur totale d'une couche peut atteindre, elle aussi en fonction du type

9- Machine à projeter par voie sèche.

10- Pertes de projection en pied de paroi.

9- Dry shotcreting machine.

10- Shotcreting losses at the base of the wall.

9

© COFEX MEDITERRANÉE



10

© COFEX MEDITERRANÉE



11



12

de matériau et du principe de projection, à une trentaine centimètres.

Les avantages de la projection :

- Béton plus compact et moins poreux (donc moins sensible à la carbonatation et aux chlorures) ;
- Meilleure adhérence au support ;
- Réduction des délais de d'exécution ;
- Possibilité d'effectuer des revêtements dans des endroits peu accessibles ;
- Réalisation d'ouvrages aux formes géométriques compliquées ;
- Prix plus compétitifs.

11- Réparation d'un soutènement.

12- Alimentation d'une machine à projeter par trémie de stockage.

11- Repairing a retaining structure.

12- Supplying a shotcreting machine from a storage bin.

Les enduits sont constitués de mortiers de liant hydraulique ou de liant hydraulique modifié (LHM) conditionné en sacs. Ils sont généralement projetés par voie mouillée.

La projection n'est sans doute pas une méthode universelle à appliquer dans tous les cas. Elle a ses limites et ses

domaines préférentiels. Elle peut se révéler plus rapide et plus économique que d'autres procédés. Parfois même, elle peut être la seule envisageable. C'est dire qu'il faut y penser et faire objectivement pour chaque cas une étude économique en comparant entre eux les différents procédés possibles. □

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

GRANULOMÉTRIE : 0/8 mm

CLASSE DE RÉSISTANCE : C25/30

(Résistance en compression > 25 Mpa à 28 jours)

CLASSES D'EXPOSITION : X0, XC3, XD1, XF1

TYPE DE GRANULAT : silico-calcaires

TYPE DE CIMENT UTILISÉ : CEM II/A-S 42.5 N CE CP2 NF

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Confortement et rehaussement partiel de la digue sur 4,5 km
- 4 500 m de pierres de couronnement à poser (figure 4)
- 35 000 m² de béton projeté
- 18 000 m² de rejointoiement de maçonnerie (figure 3)
- 160 000 connecteurs à sceller

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : le SYMADREM

MAÎTRE D'ŒUVRE : Brl Ingénierie

ENTREPRISES : Groupement constitué de Cofex Méditerranée (mandataire), de Gtm Sud et de Freyssinet

ABSTRACT

STRENGTHENING WORKS ON THE MONTAGNETTE BREAKWATER, BY THE DRY SHOTCRETING TECHNIQUE

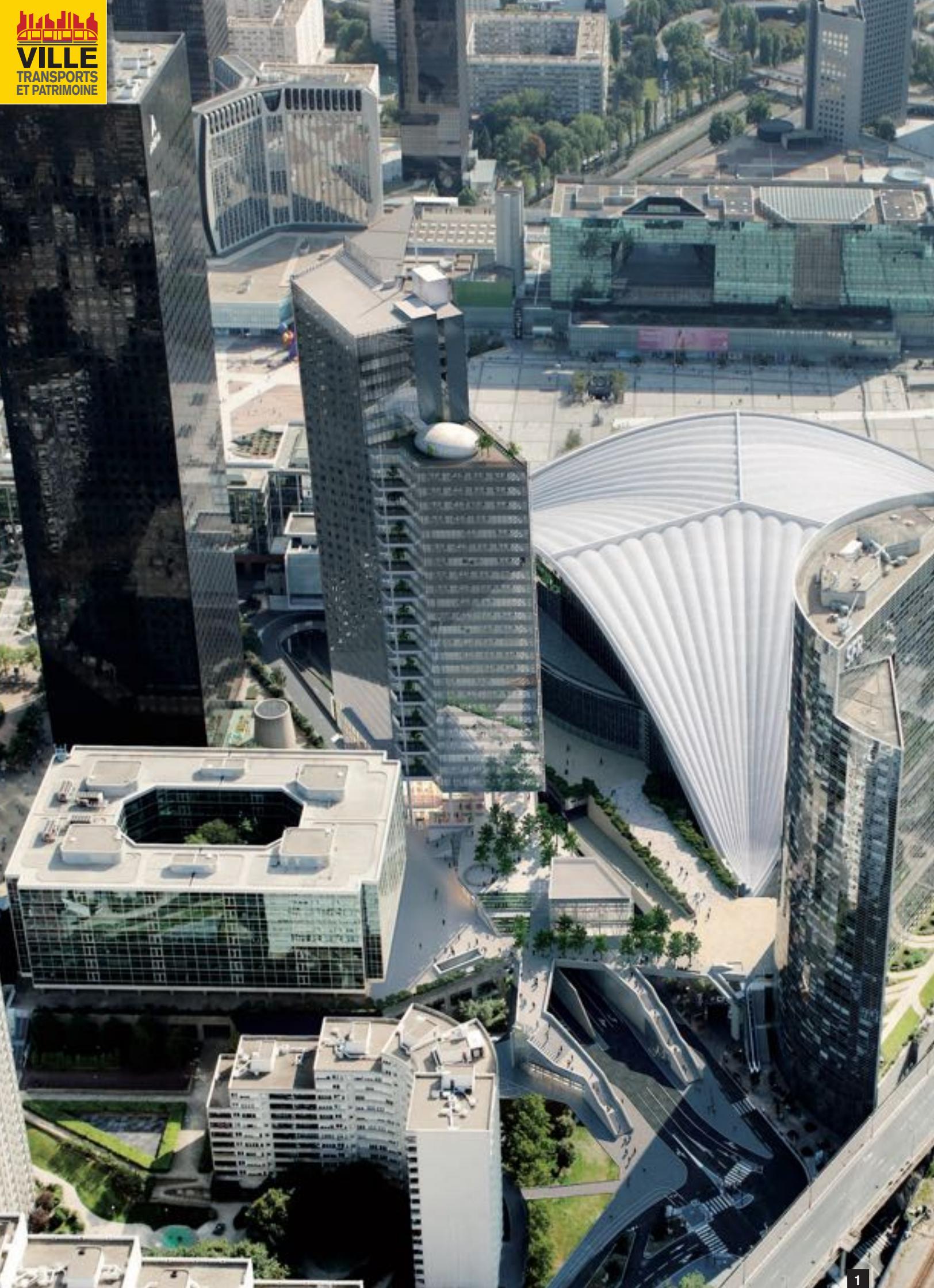
PASCAL MERCIER, SYMADREM - CATHERINE LARIVE, CETU - LIONEL LLOBET, COFEX

The Rhone River has forever caused numerous disasters by overflowing. Its discharge into the Mediterranean Sea ranks it second after the Nile. This flow, accumulated all along its 812-km length, remains a constant threat for the regions located furthest downstream on its path. The city of Tarascon, which has very frequently suffered from this, therefore had to improve the strength of the existing breakwater, called 'of La Montagnette'. This structure, created in the 14th century, is formed of an earth embankment protected on the surface, and on the river side by a masonry breast wall. It is this side which underwent major works involving the execution of a shotcrete coating over the entire 35,000 m² of the breast wall. □

OBRAS DE REFUERZO DEL DIQUE DE LA MONTAGNETTE MEDIANTE LA TÉCNICA DEL HORMIGÓN PROYECTADO POR VÍA SECA

PASCAL MERCIER, SYMADREM - CATHERINE LARIVE, CETU - LIONEL LLOBET, COFEX

En todas las épocas, los desbordamientos del Ródano han provocado numerosas catástrofes. Clasificado como segundo río de la cuenca del Mediterráneo después del Nilo, su caudal, acumulado a lo largo de 812 km, constituye una amenaza permanente para las regiones situadas en proximidad de su desembocadura. La ciudad de Tarascon, a menudo afectada por las crecidas, debía mejorar la resistencia del dique existente, llamado de La Montagnette. Esta construcción del siglo XIV está formada por un terraplén de tierra en la superficie y, por el lado del río, por un muro de contención de mampostería. Esta cara ha sido objeto de obras importantes, con la realización de un revestimiento de hormigón proyectado en el conjunto de los 35.000 m² del muro de contención. □



TOUR TRINITY À LA DÉFENSE. CONCEPTION STRUCTURELLE

AUTEURS : JEAN-MARC JAEGER, DIRECTEUR, SETEC TPI - YOANN GALLE, INGÉNIEUR PRINCIPAL, SETEC TPI

LES TRAVAUX DE LA TOUR TRINITY VONT DÉMARRER À LA DÉFENSE. L'OPÉRATION S'INSCRIT DANS LE CADRE DU PLAN DE RENOUVEAU DE LA DÉFENSE ET COMBINE À LA FOIS UN AMÉNAGEMENT URBAIN ET LA CONSTRUCTION D'UN IGH. CET OUVRAGE ATYPIQUE VA ÊTRE RÉALISÉ AU-DESSUS DES 4 VOIES DE L'AVENUE DE LA DIVISION LECLERC, ACCÈS À L'AUTOROUTE A14. CONÇUE PAR L'AGENCE D'ARCHITECTURE CROCHON-BRULLMANN & ASSOCIÉS, CETTE TOUR DE 140 M DE HAUTEUR MISE SUR LA LÉGÈRETÉ ET LA RAPIDITÉ DE CONSTRUCTION. LA TOUR PROPREMENT DITE S'APPUIE SUR UNE COUVERTURE ROUTIÈRE QUI LUI SERT DE SOCLE DE RÉPARTITION.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

CONTEXTE DU PROJET

L'ÉPADESA a engagé depuis 2007 un Plan de Renouveau de la Défense visant à redynamiser le développement du quartier d'affaires de la Défense. C'est dans ce contexte qu'est prévue la construction de l'ensemble Trinity comprenant un IGH et des espaces ouverts au public. Le projet est implanté au-dessus de l'avenue de la Division Leclerc (RN 192) le long du CNIT.

La tour repose sur une dalle ou « ouvrage de couverture des voiries » qui recouvre une partie de la RN192 et ses contre-allées. Cette couverture permet de créer une liaison piétonne entre la dalle Coupole et celle du CNIT.

INTERVENANTS

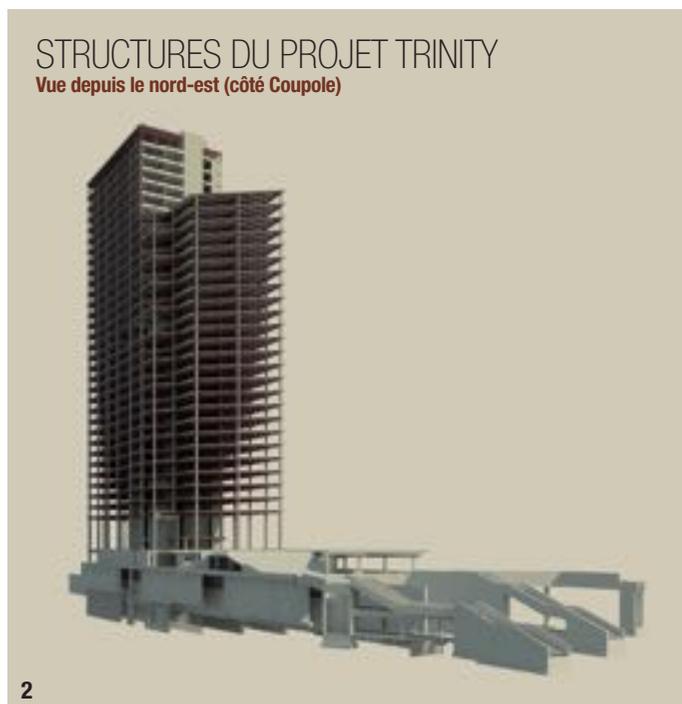
Le projet Trinity dans son ensemble est porté par Unibail-Rodamco qui en assure la maîtrise d'ouvrage.

La maîtrise d'œuvre a été confiée à un groupement comprenant notamment l'agence d'architecture Crochon Brullmann + Associés et Setec Tpi, en charge de la maîtrise d'œuvre structure.

L'ÉPADESA assure la maîtrise d'ouvrage des espaces publics et des infrastructures accompagnant la réalisation de la couverture Trinity.

L'État, dont l'ouvrage couvre partiellement les voiries de la RN192, joue un rôle fort par l'examen des dossiers réglementaires qui lui sont transmis concernant en particulier l'ouvrage de couverture.

À la date de rédaction du présent article l'entreprise de construction n'a pas encore été désignée.



© MAQUETTE NUMÉRIQUE SETEC TPI

1- Photomontage du projet.

2- Structures du projet Trinity - vue depuis le nord-est (côté Coupole).

1- Photomontage of the project.

2- Structures of the Trinity project - view from the North-East (Coupole side).

DESCRIPTION ET PARTICULARITÉS DU PROJET

La tour a une forme générale pouvant s'assimiler en plan à un parallélogramme.

Les étages courants sont inscrits dans un rectangle de 87 m de long x 31 m de large, pour une surface brute d'environ 1 800 m².

Le défi posé par le projet Trinity est de réaliser un immeuble de grande hauteur, le long du CNIT et situé au-dessus des voies de la RN192.

Le projet comportera 36 étages dont 30 étages de bureaux.

Les voies resteront en circulation pendant les travaux.

Le site est fortement enclavé entre le CNIT et les bâtiments voisins : l'immeuble SGAM et la tour AREVA.

Un ouvrage de couverture des voiries supporte l'IGH.

La superstructure de l'IGH a été conçue en fonction de l'ouvrage de couverture, pour limiter les descentes de charges et pour répartir au mieux celles-ci au niveau du substratum :

→ Les charges descendent du haut de la tour jusqu'à la couche de Calcaire le plus verticalement possible, les poteaux de la tour et les voiles du noyau s'alignent sur les piédroits ;

→ Les planchers sont légers, en structure mixte. Les éléments verticaux - poteaux et voiles de contreventement - sont en Béton Haute Performance pour apporter de la raideur et contrôler les déplacements horizontaux en tête de tour.

Les fondations sont réalisées sous les piédroits de l'ouvrage de couverture. La conception de base prévoit des micropieux pour descendre les charges.

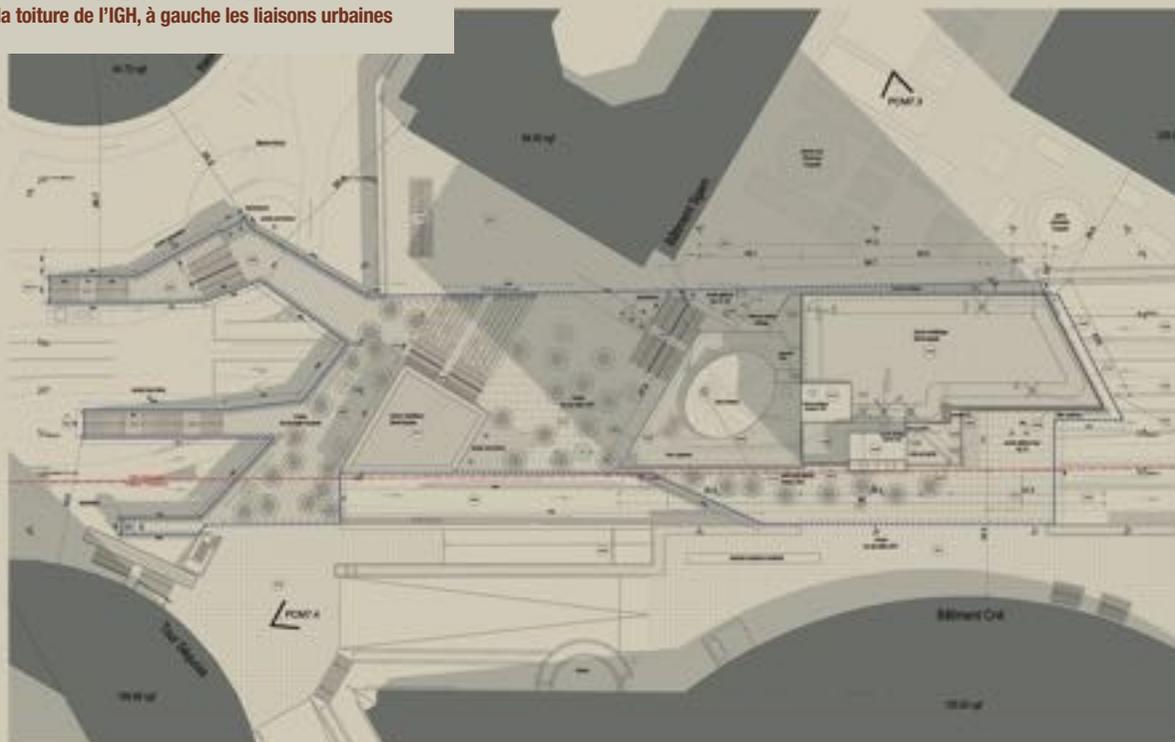
Un socle de répartition en média structure permet d'étaler les charges de l'IGH selon la capacité portante des micropieux.

La tenue au feu de l'ouvrage de couverture est un facteur fondamental compte tenu de son rôle porteur de l'immeuble ; elle a été étudiée dans le détail.

Les points saillants de l'étude de conception qui seront développés ci-après sont les suivants :

PLAN MASSE DU PROJET

À droite la toiture de l'IGH, à gauche les liaisons urbaines



3

© CROCHON-BRULLMAN + ASSOCIÉS

3- Plan masse du projet. À droite la toiture de l'IGH, à gauche les liaisons urbaines.

4- Implantation au sein du quartier d'affaires de La Défense.

3- Layout plan of the project. On the right, the roof of the high-rise building, on the left urban links.

4- Location in the business district of La Défense.

- L'utilisation de la maquette numérique et du BIM pour contrôler la géométrie du projet en cohérence avec les calculs de structure et en coordination avec les autres lots ;
- Le choix technique de fondations sur micropieux ;
- Deux niveaux de répartition des charges pour contrôler les tassements induits sur les avoisinants: le socle en média structure et la couche de Calcaire ;
- Les études poussées d'interaction sol-structure ;

IMPLANTATION AU SEIN DU QUARTIER D'AFFAIRES DE LA DÉFENSE



4

© PLAN SETEC TPI

5- État existant en 2011. À droite le CNIT, au fond le tunnel de l'A14.

6- Coupe en travers du projet : couverture, socle et amorce de l'IGH.

5- Existing condition in 2011. On the right the CNIT building, in the background the A14 tunnel.

6- Cross section of the project: roof covering, base and start of the high-rise building.



© SETEC TPI 5

En travers, la hauteur libre minimale prise en compte est de 4,75 m au droit de la RN 192 et de 4,30 m au droit des contre-allées, majorée des revanches de construction et de protection des équipements. La figure 5 illustre l'état existant et la figure 6 l'état projeté. Les contraintes d'exploitation sont essentielles pour l'organisation du chantier, compte tenu du trafic de véhicules sur les voies de la RN 192 et sur la contre-allée Coupole.

OUVRAGES EXISTANTS ET MITOYENS

Parmi les ouvrages existants, les murs de soutènement de la RN 192 et la passerelle Leclerc sont démolis, la passerelle étant remplacée dans son fonctionnement par les liaisons urbaines créées dans le cadre du projet. Les réseaux actifs existants situés dans le périmètre de construction du projet ont été déviés par l'EPADESA avant le début des travaux de l'ouvrage.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

La nature des formations et leurs caractéristiques géotechniques moyennes sont estimées sur la base de sondages de reconnaissance géotechniques réalisés en 2011 et d'essais de laboratoire. ▷

- La structure mixte et les tassements différentiels ;
- La tenue au feu et le test des bétons fibrés.

qui comprennent notamment les adaptations de voirie et le dévoiement des réseaux.

CONTRAINTES DU PROJET ET CRITÈRES DE CONCEPTION

IMPLANTATION ET ÉTAT EXISTANT

Le projet est compris entre : à l'est l'ensemble Coupole, au sud le tunnel d'accès à l'autoroute A14, à l'ouest le CNIT. L'ouvrage de couverture n'est pas directement dans la continuité du tunnel A14, mais libère une trémie

aérodynamique d'environ 50 m. La figure 5 illustre, les caractéristiques des différentes voies couvertes.

Les contre-allées montent vers la dalle de La Défense tandis que la RN 192 plonge sous cette dalle, d'où un dénivelé atteignant 6 m au plus haut. La largeur totale de la trémie routière perçant la dalle de La Défense est d'environ 42 m entre le nu Coupole et le nu CNIT.

VOIES FRANCHIES

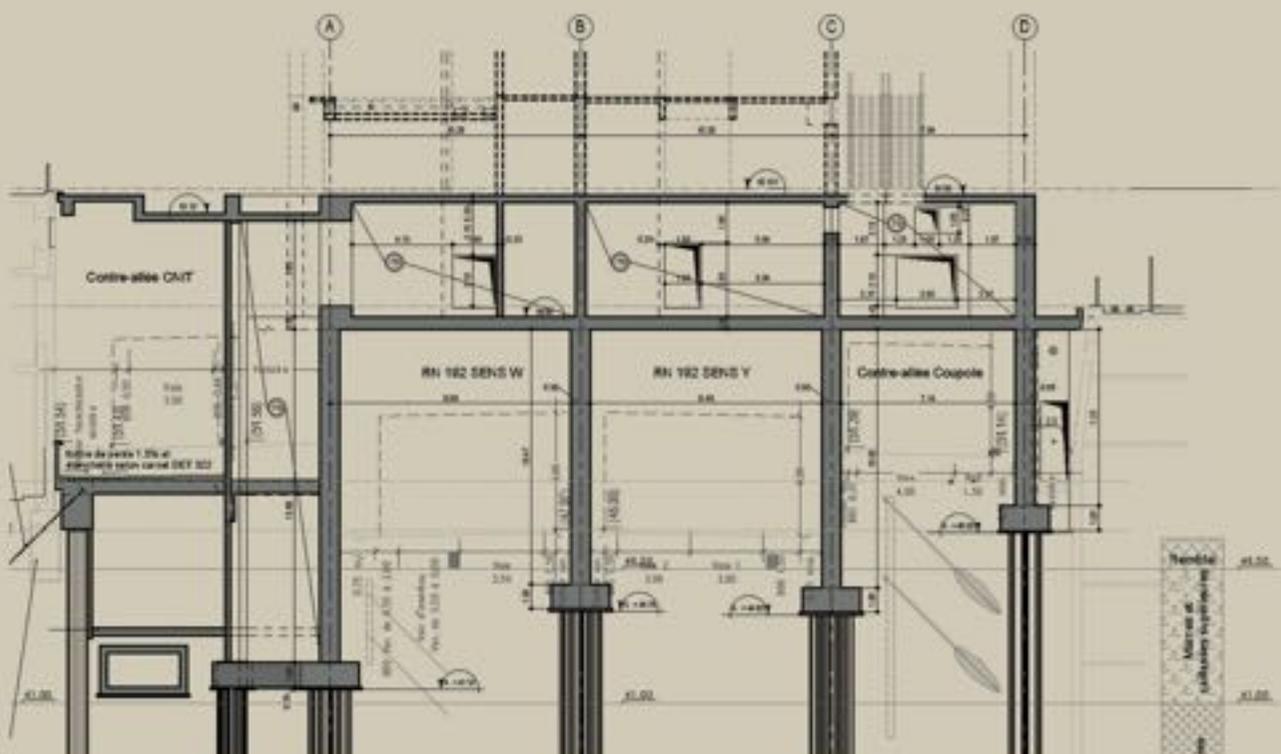
Le tracé et le nivellement des voiries existantes sont globalement conservés.

CALENDRIER

La conception du projet ont débuté en 2011 et ont abouti fin 2014 à l'émission du D.C.E. Les travaux de construction de l'ensemble Trinity devraient commencer fin 2015 pour s'achever courant 2018.

Au préalable, l'EPADESA a fait réaliser les travaux de libération du site en 2014

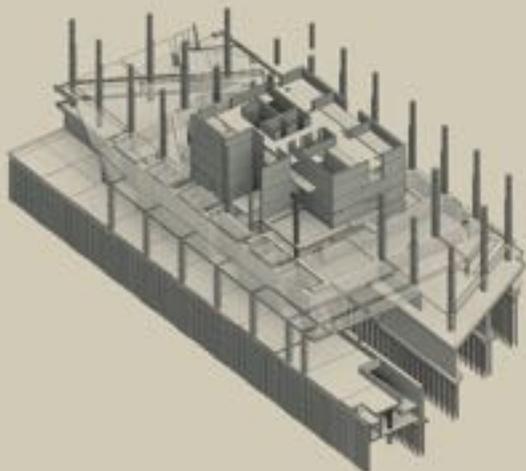
COUPE EN TRAVERS DU PROJET : COUVERTURE, SOCLE ET AMORCE DE L'IGH



© PLAN SETEC TPI 6

OUVRAGE DE COUVERTURE

Socle et amorce des verticaux de l'IGH



7



8

© MAQUETTE NUMÉRIQUE SETEC TPI

Ces essais ont été analysés par Terrasol, filiale du groupe Setec, dans le cadre des missions géotechniques G1 et G2. La coupe géologique est typique de La Défense, avec successivement : des remblais d'épaisseur variable, les Marnes et Caillasses jusqu'à +33 NGF environ avec une couche plus altérée en surface, le Calcaire Grossier jusqu'à +17,5 NGF, puis les Sables de Cuise, les Fausses Glaises, les Sables d'Auteuil et le Marno-calcaire de Meudon à partir de -21,5 NGF. Ces formations sont quasi horizontales sur le site de La Défense. La nappe phréatique a été reconnue à 25,5 m NGF environ dans le Calcaire Grossier.

CRITÈRES DE CONCEPTION

Pour l'ouvrage de couverture, la faible emprise chantier disponible entre les

voies de circulation pour la réalisation des fondations impose une conception minimisant les descentes de charges : optimisation du poids global et étalement des charges sur toute l'emprise en plan.

Pour l'IGH, les critères de déplacement sont : flèche en tête de tour inférieure au 500^e de la hauteur, flèche différentielle entre deux étages sous l'action du vent inférieure au 500^e de la hauteur entre étages, accélération en tête de tour limitée à 18 mg sous vent décennal.

OUTILS DE CONCEPTION

Compte tenu des contraintes énumérées ci-dessus, la conception structurelle a été menée à l'aide d'outils pointus permettant une grande maîtrise des études et de la géométrie des ouvrages.

7- Ouvrage de couverture, socle et amorce des verticaux de l'IGH.

8- Structure en tête de tour avec la poutraison métallique (planchers supérieurs non représentés).

9- Étage type.

7- Covering structure, base and start of the high-rise building's uprights.

8- Structure at the top of the tower with metal beams (top floors not shown).

9- Typical storey.

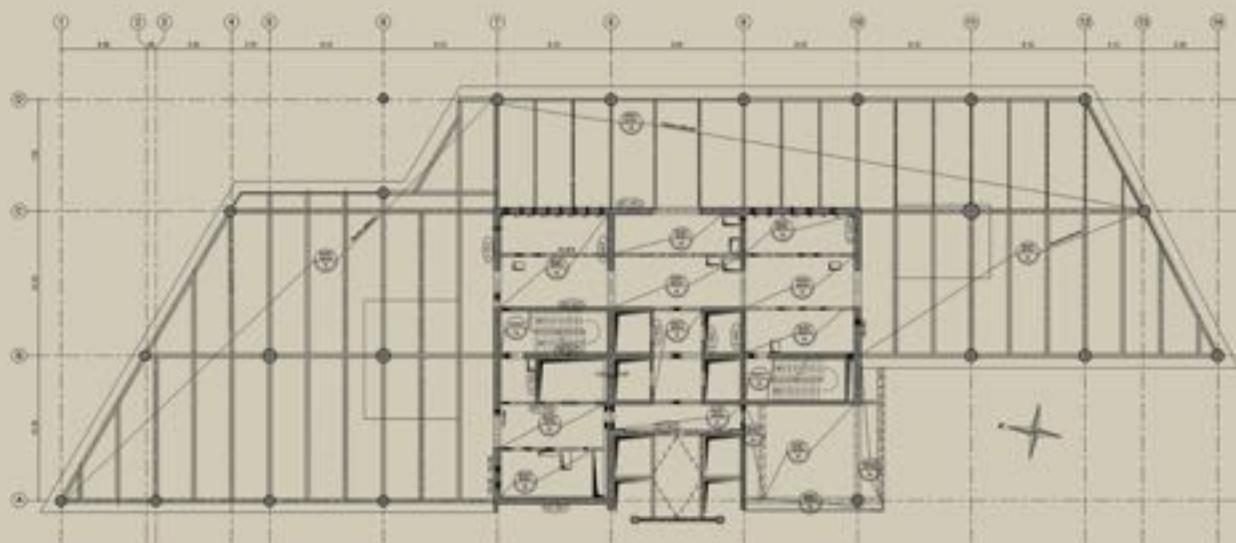
En premier lieu le BIM (*Building Information Modelling*) : toutes les structures ont été définies dans une maquette 3D Revit, qui a servi à l'établissement des plans de conception.

On a ainsi pu maîtriser la géométrie du projet et ses évolutions à chaque instant, toute modification étant automatiquement répercutée sur tous les plans et coupes rendus ainsi cohérents entre eux.

Les extraits de plans et vues 3D du présent article sont tous issus de la maquette, qui permet de plus un suivi en temps réel des quantités de matériaux du projet.

Enfin la volumétrie des structures a pu être partagée avec le BET Fluides pour valider en 3D plusieurs points de synthèse complexes. Les outils de calculs se composent des traditionnels

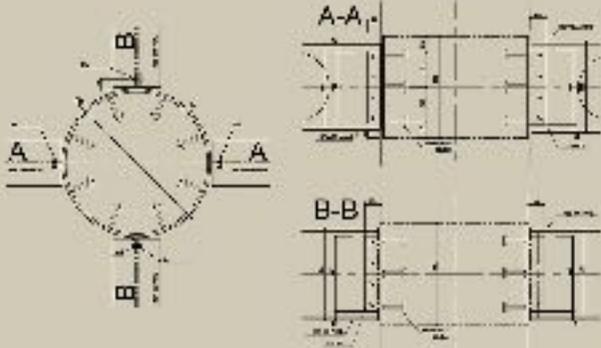
ÉTAGE TYPE



9

© PLAN SETEC TPI

ASSEMBLAGE POUTRE-POTEAU MASQUÉ DANS LE FAUX-PLAFOND



10

© PLAN SETEC TPI

modèles aux Éléments Finis, qui ont été complétés par des outils d'optimisation des structures développés par Setec Tpi et permettant de définir, avec une grande réactivité, le système optimal de contreventement dans le respect des contraintes de conception.

CONCEPTION GÉNÉRALE DE LA STRUCTURE COUVERTURE ROUTIÈRE SUPPORTANT UN IGH

La géométrie de l'ouvrage de couverture est calée sur celles des voiries existantes.

Les principales contraintes portent sur la rigidification du socle, qui doit permettre d'une part de répartir les charges descendantes sur toutes les files d'appuis, et d'autre part d'encastrer le noyau pour respecter les

10- Assemblage poutre-poteau masqué dans le faux-plafond.

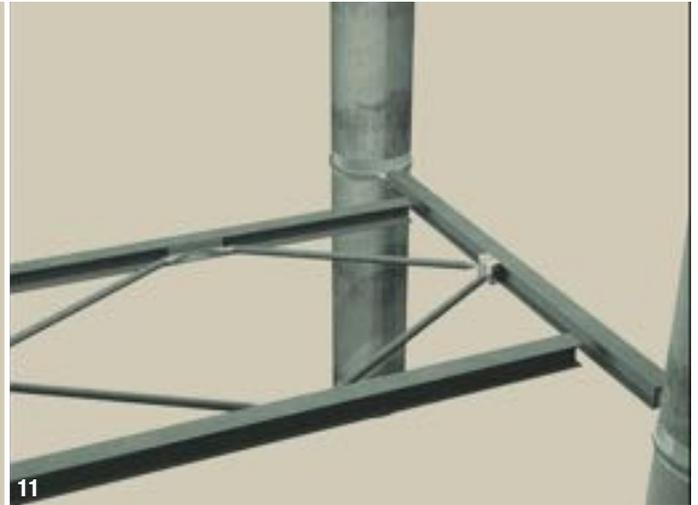
11- Assemblage poutre-poteau visible dans les gaines d'ascenseurs.

12- Plancher haut du socle. À droite la zone sous IGH.

10- Beam-column joint concealed in suspended ceiling.

11- Beam-column joint visible in lift shafts.

12- Floor above the base. On the right the area under the tower.



11

© SETEC TPI - T/E/S/S

critères de service de l'IGH (figure 7). Les hypothèses de base de la conception sont donc les suivantes.

MINIMISATION DES DESCENTES DE CHARGES

L'IGH supporté doit être aussi léger que possible compte tenu des contraintes d'emprises chantier précédemment exposées. Ceci passe par une conception des ossatures avec planchers légers en bacs acier, poutraison acier et verticaux en Bétons Hautes Performances pour limiter leur section et donc leur poids.

CONTINUITÉ VERTICALE DES STRUCTURES

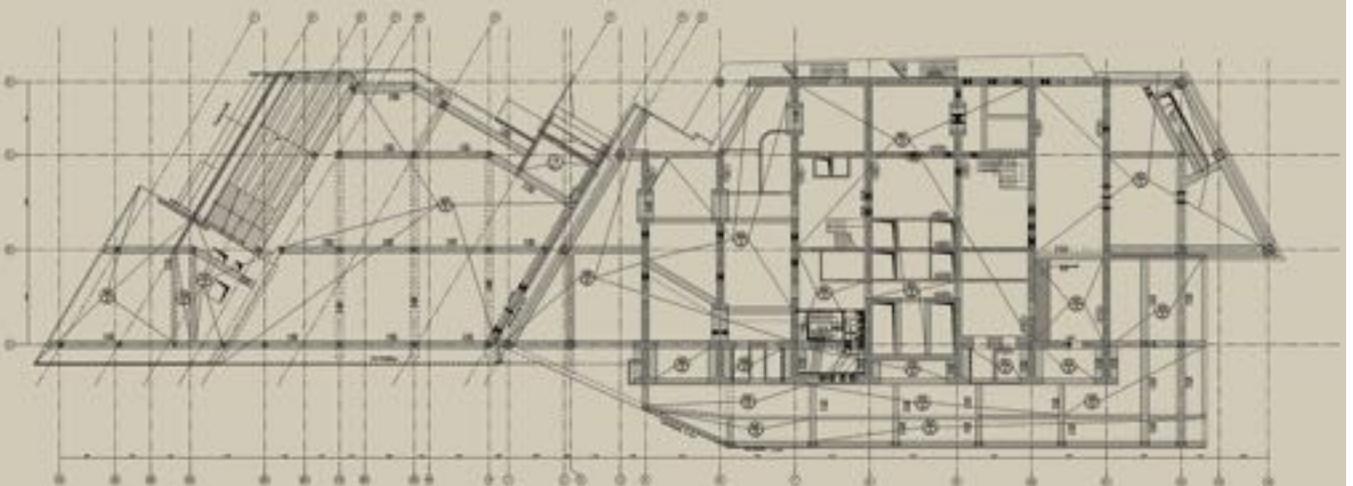
Les structures porteuses du projet Trinity sont conçues de sorte que les descentes de charges arrivent directement

sur les piédroits, sans reprise d'efforts dans la dalle de couverture.

ÉTALEMENT DES DESCENTES DE CHARGES

La descente de charges totale de l'IGH et de la portion de couverture qui le supporte est de l'ordre de 76 000 tonnes à l'ELS quasi permanent - dont 55 000 tonnes pour l'IGH seul - et 90 000 tonnes à l'ELS caractéristique, d'où un chargement linéaire « moyen » des piédroits de 2,7 MN/ml. Pour obtenir une répartition des charges homogène, un quadrillage de voiles dans les deux directions en « bac à glaçons » est mis en œuvre sous le noyau de l'IGH qui concentre les descentes de charges : en longitudinal les quatre piédroits files d'appuis de la couverture, en transversal les voiles disponibles sur toute la largeur du socle. ▷

PLANCHER HAUT DU SOCLE. À DROITE LA ZONE SOUS IGH



12

© PLAN SETEC TPI

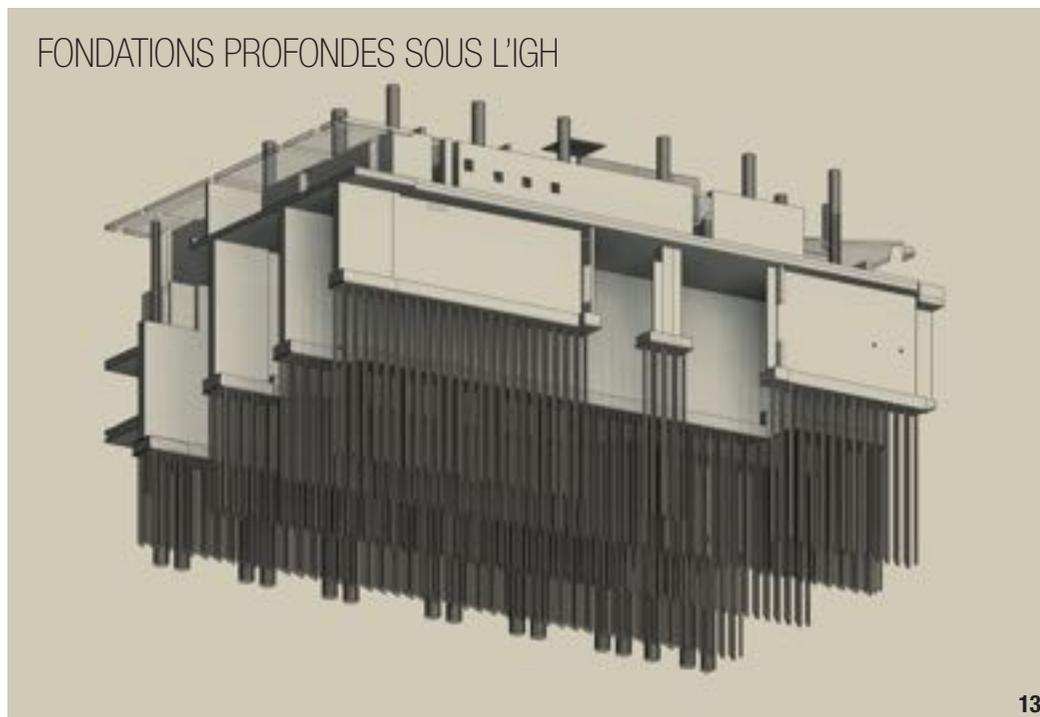
FONDATEMENTS PROFONDES SOUS L'IGH

13- Fondations profondes sous l'IGH.

14- Maquette de l'IGH et de l'environnement proche pour les essais en soufflerie.

13- Deep foundations under tower.

14- Mock-up of the tower and the nearby environment for wind tunnel tests.



13

© SETEC TPI



14

© CSTB

Les calculs de structure montrent l'efficacité du raidissage : les deux files centrales reprenant chacune de l'ordre de 30% de la descente de charges et les files extrêmes 25% et 15%. La contrainte de compression dans les piédroits reste modérée, de l'ordre de 6 MPa.

LES DIFFÉRENTES PARTIES DE L'OUVRAGE

PLANCHERS DE L'IGH

La hauteur courante entre étages est de 3,80 m de fini à fini de plancher. Les planchers de l'IGH sont réalisés à l'intérieur du noyau en béton armé et à l'extérieur du noyau en charpente acier, comme illustré sur la figure 8, supportant des planchers à dalles minces coulés sur bac collaborant pour un poids de 350 kg/m². Le choix de l'acier découle aussi des grandes portées imposées par le site :

10,29 m + 10,29 m + 7,94 m correspondant aux entraxes des piédroits. Le solivage suit une trame de 2,7 m cohérente avec les façades et avec le calepinage des éléments en plafond.

OSSATURE PORTEUSE DE L'IGH

Le noyau central est en voiles minces C60/75 régnant sur toute la hauteur de la tour ; il descend une partie des charges verticales jusqu'au niveau de socle et assure le contreventement de l'IGH (figure 9).

Il se compose d'un tube central rigide en torsion et d'un caisson ajouté côté ouest pour assurer un bras de levier suffisant vis-à-vis des efforts de flexion.

Sa forme échancrée résulte des contraintes de transparence en façade imposées par les ascenseurs panoramiques, les salles de réunions et les jardins extérieurs.

Les trois voiles principaux dans le sens de la longueur sont directement situés dans le prolongement vertical des piédroits de la couverture.

Les poteaux sont conçus en béton, C80/95, pour homogénéiser les tassements avec ceux du noyau et ainsi limiter les mouvements différentiels entre les structures. Ce point est d'autant plus important que le noyau se situe en façade, les vitrages étant peu aptes à encaisser des déformations importantes. Leur liaison poteau béton/poutres acier est réalisée par l'intermédiaire d'une virole en acier disposée en tête de chaque poteau et permettant des assemblages acier/acier comme illustré sur les figures 10 et 11. Une variante en poteaux tout acier a été étudiée mais elle n'a pas permis d'obtenir un compromis satisfaisant entre la contrainte de limitation des déformations et le coût de construction.

LE SOCLE : UN NIVEAU DE TRANSFERT

Le niveau « socle » règne entre deux dalles de niveaux fini +57,30 et +62,10 NG respectivement et constitue l'infrastructure de l'immeuble.

Ces dalles permettent de faire la liaison entre les parvis du bâtiment CNIT à l'ouest, et de l'esplanade Coupole côté est.

Il abrite notamment un restaurant interentreprises et des locaux techniques. Les zones situées sous le noyau de l'IGH subissent les plus fortes descentes de charges du projet. Des voiles de transfert sont implantés dans le socle au droit de ces noyaux de manière à réaliser la répartition des charges verticales entre les quatre files d'appuis des piédroits : 4 voiles transversaux sous le noyau et 3 voiles supplémentaires de part et d'autre du noyau pour diffuser les charges (figure 12).

Les 7 voiles de transfert ainsi formés sont épais de 70 cm pour présenter une raideur suffisante.

LES PIÉDROITS : ÉTALEMENT DES DESCENTES DE CHARGES

Les quatre lignes d'appuis sont implantées sur le terre-plein central de la RN192, et entre la RN192 et ses contre-allées. Ce sont des voiles pleines en béton armé de manière à isoler les tubes entre eux vis-à-vis de l'incendie. On crée ainsi des lignes d'appuis raides dans leur plan qui permettent de diffuser les charges concentrées issues du noyau sur une grande longueur, et d'ainsi lisser les pics de descentes de charges. Leur épaisseur varie de 50 cm (hors IGH) à 80 cm (sous IGH) dans le respect des contraintes d'encombrement entre les voiries.

15- Exemple de matrice de souplesse déduite du modèle géotechnique (à gauche) et approximation par des ressorts linéaires (à droite).

16- Courbes temps-température.

15- Example of a flexibility matrix deduced from the geotechnical model (on the left) and approximation by linear springs (on the right).

16- Time-temperature curves.

LA COUVERTURE DES VOIRIES

La couverture des voiries est essentiellement réalisée par la dalle de niveau fini +57,30 NGF, ainsi qu'une portion de la dalle +62,10 NGF couvrant la sortie de la RN 192 W.

Un fonctionnement monolithique avec continuité de la dalle entre les différentes travées et encastrement sur les piédroits a été retenu. Elle est conçue en béton armé avec une épaisseur de 50 cm de manière à résister à deux incendies pouvant se déclarer simultanément sous la couverture (en tunnel) et sur la couverture (dans le niveau de socle).

L'arase supérieure est calée au niveau fini +57,30 NGF de manière à s'aligner avec le parvis Coupole existant, déduction faite des surépaisseurs nécessaires aux aménagements pay-

sagers (en extérieur) ou complexes de sol (en intérieur).

En sous-face, l'arase inférieure de la dalle de couverture doit respecter les hauteurs libres minimales vis-à-vis du trafic routier et des équipements suspendus.

À ces contraintes s'ajoute la volonté de réaliser une planéité de l'intrados la plus homogène possible, pour des raisons esthétiques et aérodynamiques.

LES CONTREFORTS : REPRISE DES EFFORTS HORIZONTAUX

Compte tenu des ouvertures pour le passage de la circulation automobile, le fonctionnement de la structure vis-à-vis des charges transversales est nécessairement de type portique.

Hors IGH, le contreventement est assuré par effet portique des piédroits et de la dalle de niveau fini +57,30. Sous l'IGH, le besoin de raideur est bien plus fort en raison des résultantes d'efforts de vent. L'ouvrage est raidi par 7 contreforts implantés en correspondance des 7 voiles transversaux du socle. L'ensemble formé par la liaison contreforts/voiles du socle est illustré sur la figure 6.

FONDATIONS

Les principes de fondation ont été déduits de caractéristiques de sol de manière à satisfaire plusieurs critères propres au site : emprise au sol restreinte, sous-sol occupé et préchargé par les fondations des structures avoisinantes.

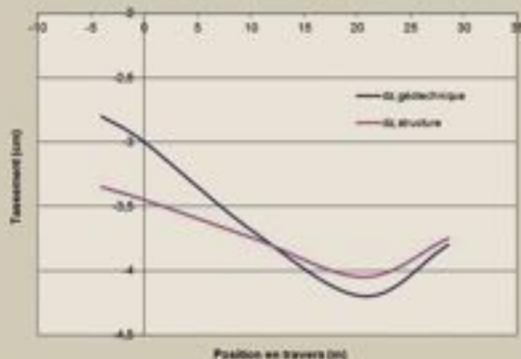
Sous IGH les fortes charges conduisent à écarter la solution semelle superficielle pour des difficultés d'emprise au sol, de même que la solution puits pour éviter les points durs sous la structure. On dispose des files de micropieux type IV injectés à haute pression qui descendent les charges dans les Marnes et caillasses et sont arrêtés au-dessus du toit du Calcaire Grossier (figure 13) du fait du faible encombrement du matériel de chantier. En fonction des descentes de charges par zone on dispose de 2 à 4 unités par mètre linéaire de piédroit. Le système est complété par des pieux forés de plus fort diamètre disposés sous les contreforts de manière à bloquer les déplacements horizontaux. Hors IGH, de plus faibles charges autorisent le recours à des semelles superficielles ancrées dans les Marnes et Caillasses.

ÉTUDES DE STRUCTURE

On présente ci-après quelques points d'études particuliers du projet.

EXEMPLE DE MATRICE DE SOUPLASSE DÉDUITE DU MODÈLE GÉOTECHNIQUE (à gauche) ET APPROXIMATION PAR DES RESSORTS LINÉAIRES (à droite)

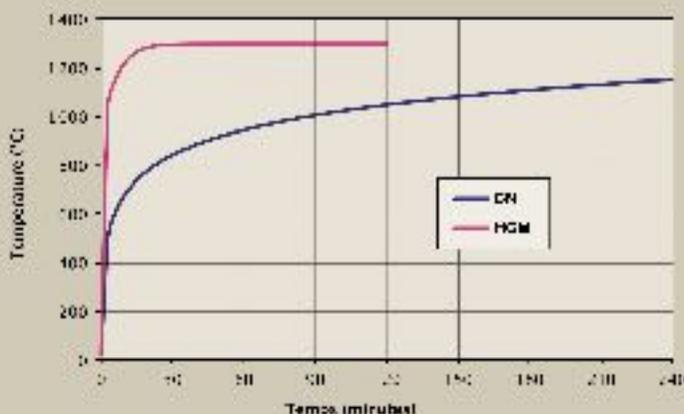
$$\begin{pmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{21} \\ d_{22} \\ \vdots \\ d_{n1} \\ d_{n2} \\ \vdots \end{pmatrix}_{\text{géotechnique}} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1i} & r_{1j} & \dots \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2i} & r_{2j} & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \\ r_{i1} & r_{i2} & & r_{ii} & r_{ij} & \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \\ r_{j1} & r_{j2} & & r_{ji} & r_{jj} & \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \\ r_{n1} & r_{n2} & & r_{ni} & r_{nj} & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{11} \\ R_{12} \\ \vdots \\ R_{i1} \\ R_{i2} \\ \vdots \\ R_{j1} \\ R_{j2} \\ \vdots \\ R_{n1} \\ R_{n2} \\ \vdots \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ \vdots \\ d_{21} \\ d_{22} \\ \vdots \\ d_{n1} \\ d_{n2} \\ \vdots \end{pmatrix}_{\text{structure}} = \begin{pmatrix} 1/k_{1,1} & & & & & \\ & 1/k_{2,2} & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & 1/k_{i,i} & & \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & 1/k_{j,j} \\ & & & & & & \ddots & \\ & & & & & & & 1/k_{n,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{11} \\ R_{12} \\ \vdots \\ R_{i1} \\ R_{i2} \\ \vdots \\ R_{j1} \\ R_{j2} \\ \vdots \\ R_{n1} \\ R_{n2} \\ \vdots \end{pmatrix}$$



© SETEC TPI

15

COURBES TEMPS-TEMPÉRATURE



- Courbe CN selon EN 1991-1-2 § 3.2.1.
- Courbe HCM selon Instruction technique en annexe n°2 de la circulaire n° 200-63 du 25/08/2000, § 4.2.1.

Ces deux courbes sont redéfinies dans le guide CETU Comportement au feu des tunnels routiers § 3.3.

© SETEC TPI

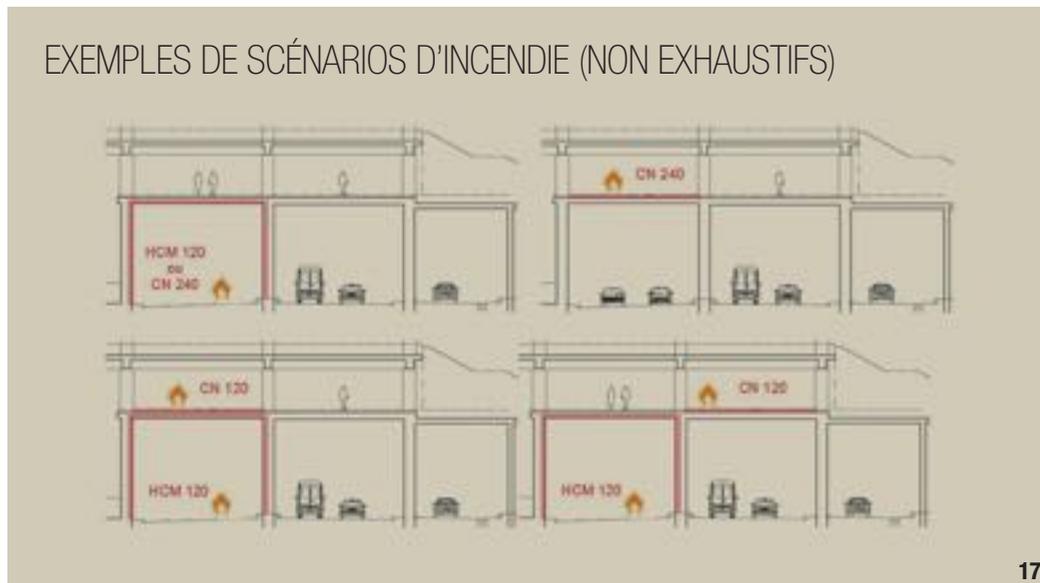
16

ESSAI EN SOUFFLERIE

Les charges de vent sur l'IGH constituent la plus grande part des actions horizontales. Elles ont été déterminées sur la base d'essais en soufflerie réalisés au CSTB de Nantes (figure 14). Ces essais, prenant en compte 36 directions de vent, ont permis de réduire la résultante globale de près de 30 % par rapport au calcul standard de l'Eurocode 1.

INTERACTION SOL-STRUCTURE

Le processus d'étude de l'interaction sol-structures est itératif et repose sur la convergence de deux modèles de calculs : l'un pour le sol, l'autre pour la structure. Ces deux modèles sont réalisés en 3D pour tenir compte de la répartition des descentes de charges dans les deux directions horizontales. Le modèle général de calculs de structure est un modèle Ansys rétabli par Setec Tpi et modélisant toute la structure de l'IGH et de l'ouvrage. La réaction des fondations et du sol est modélisée par des ressorts de comportement élastique linéaire disposés en tête des fondations. Terrasol a développé un modèle géotechnique aux éléments finis Plaxis, permettant de déduire une matrice de souplesse de sol. Cette méthode illustrée en figure 15 est très puissante car elle permet d'éviter les itérations fastidieuses entre les modèles de calculs géotechniques et de



structure. En pratique une seule entité - le BE structure - réalise le calage des ressorts de sols et vérifie la convergence des calculs : sous la descente de charges du modèle de structure, on compare les déplacements du modèle de structure et ceux du modèle de sol (via la matrice de souplesse et moyennant un traitement par tableur). Après quelques itérations sur les raideurs de ressorts et les descentes de charges induites, la convergence est atteinte quand les déplacements calculés sont identiques.

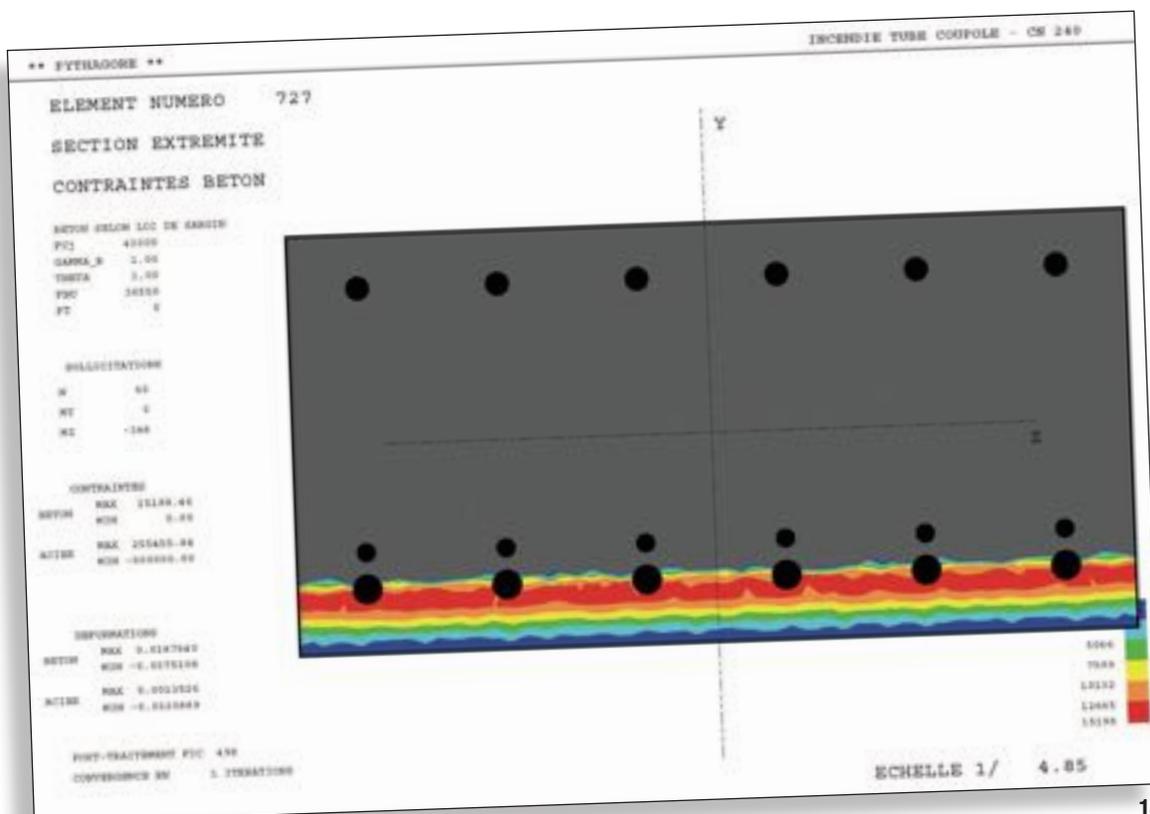
Deux jeux de modules de sol sont définis dans la note de synthèse géotechnique et les études structurelles ont pris en compte ces fourchettes pour tester la robustesse de la conception vis-à-vis de variations d'hypothèses. En effet la variation des raideurs relatives entre le sol et la structure modifie la répartition des descentes de charges et, par analogie avec le cas d'une poutre sur appuis élastiques, a des effets différents suivant le critère considéré : tassements, descentes de charges maximale, ferrailage des piédroits.

CALCULS D'ENSEMBLE

Une fois calé, le modèle de structure a ensuite permis de réaliser les calculs d'ensemble : efforts de contreventement dans l'IGH, estimation des déplacements d'ensemble, édition des descentes de charges sur les fondations.

ÉTUDES AU FEU

Le texte de référence pour la prise en compte de la sécurité en tunnel routier est l'instruction technique relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier annexée à la circulaire n°2000-



17- Exemples de scénarios d'incendie (non exhaustifs).

18- Isocontraintes de compression dans une section soumise à un incendie CN 240 en face inférieure (logiciel Pythagore).

17- Exemples of fire scenarios (non-exhaustive).

18- Compression isostresses in a section subjected to a 'CN 240' fire on the underside (Pythagore software).

63 d'août 2000. La méthodologie de justification du génie civil est définie d'après le guide du Cetu de mars 2005 *Comportement au feu des tunnels routiers et ses Compléments de mars 2011*.

Au regard des longueurs des trois tubes composant l'ouvrage, toutes inférieures à 300 m, la circulaire ne s'applique pas au projet. Toutefois elle a été prise en compte pour la conception et l'intégration d'équipements de sécurité (études équipements réalisées sous Maîtrise d'Ouvrage de l'EPADESA).

TENUE AU FEU DE L'OUVRAGE DE COUVERTURE

Le niveau de résistance au feu retenu pour les structures de l'ouvrage de couverture des voiries est N3 c'est-à-dire CN 4 heures et HCM (hydrocarbures majoré) 2 heures selon la figure 16. Il se justifie par la présence de niveaux habités au-dessus de la dalle de couverture. On considère que le feu est susceptible de se produire soit en tunnel, soit juste au-dessus de la dalle de couverture dans le socle, soit simultanément dans ces deux endroits.

La figure 17 illustre différents scénarios possibles.

ESSAIS AU FEU

Compte tenu du risque d'écaillage sous incendie HCM, les bétons qui seront mis en œuvre sur chantier doivent obligatoirement avoir préalablement fait l'objet d'essais au feu pour caractériser ce phénomène.

Le Maître d'Ouvrage a souhaité anticiper ces essais en phase conception de manière à proposer dès le stade du D.C.E. plusieurs formules béton déjà testées. Des essais portant sur trois formules et plusieurs configurations de chargement ont été réalisés en 2014 au Cstb de Champs-sur-Marne. La méthodologie de formulation des bétons et d'essais retenue s'apparente à une « étude simplifiée » au sens des Compléments au guide du Cetu.

CALCULS AU FEU

En phase conception la résistance au feu des structures résistance est évaluée sur la base de calculs de type G3 au sens du guide du Cetu prenant en compte les autocontraintes, la modifi-

cation des lois de comportement des matériaux et les grands déplacements. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Pythagore développé par Setec Tpi.

On a recours à des modèles portiques représentatifs d'une « tranche » de 1 m d'ouvrage, bien adaptés à l'analyse de phénomènes fins comme les non linéarités géométriques et de matériaux qui se présentent en situation d'incendie. L'écaillage du béton est pris en compte dès le début du calcul par une réduction de la section béton, l'épaisseur sacrifiée étant déduite des essais au feu.

La figure 18 montre un extrait du calcul. Pour cet exemple, l'échauffement en face inférieure induit une compression en bas de la section sous l'effet des dilatations gênées et une mise en traction des armatures supérieures.

La contrainte décroît à proximité du parement exposé au feu du fait de la réduction du module de déformation avec la température.

CONCLUSION

Les conditions spécifiques du site de la tour Trinity, à l'aplomb de la RN192, ont engendré les grands principes de conception illustrés dans cet article : continuité verticale des structures traversées selon le tracé des voiries, légèreté des ossatures de l'IGH, étalement des charges, résistance à l'incendie en tunnel.

Ces contraintes ont été surmontées par l'emploi d'outils modernes et réactifs : le BIM et les logiciels d'optimisation des structures développés en interne. Une nouvelle étape du projet s'engage avec le démarrage à venir du chantier de construction. □

CHIFFRES CLÉS

COUVERTURE :

- 3 tubes de 127 à 148 m de longueur
- Largeur totale : 40 m
- Emprise : environ 4 700 m²

IGH :

- Emprise : 87 m de long x 31 m
- Surface SHON : environ 53 000 m²
- 36 niveaux de planchers dont 30 de bureaux
- Hauteur des fondations à la toiture : 150 m
- Volume béton : 30 000 m³
- Poids de charpente : 1 900 t
- Poids y compris ouvrage de couverture : 76 000 t ELS quasi-permanent
- Efforts de vent : 10,4 MN

PRINCIPAUX ACTEURS DU PROJET

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SCI Trinity Défense (Unibail-Rodamco)

AMÉNAGEUR : EPADESA

MAÎTRISE D'ŒUVRE : groupement solidaire constitué de :

- Architecte : Crochon-Brullmann + Associés
- Bureau d'études structure : Setec Tpi
- Maître d'œuvre d'exécution : Egyde
- Bureau d'études fluides : Barbanel
- Économiste : AE75
- Bureau d'études VRD : Progexial

CONTRÔLE TECHNIQUE : Socotec

FILIALES DU GROUPE SETEC IMPLIQUÉES DANS LE PROJET

MOE STRUCTURE : Setec Tpi

GÉOTECHNICIEN : Terrasol

ÉTUDE DES ASSEMBLAGES ARCHITECTONIQUES : T/E/S/S

DOSSIER D'EXPLOITATION SOUS CHANTIER : Setec International

ÉTUDE DE FORMULATION DES BÉTONS N3 : Lerm

DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL DE LA QUALITÉ DES SOLS : Hydratec

ABSTRACT

TRINITY TOWER AT LA DÉFENSE. STRUCTURAL DESIGN

JEAN-MARC JAEGER, SETEC TPI - YOANN GALLE, SETEC TPI

The design of Trinity Tower in the Défense business area near Paris takes up the challenge of a high-rise building overhanging access roads to the A14 motorway. The basic concepts are therefore lightness of the tower structures, load spreading by means of rigid infrastructure, and continuous footing foundations on micropiles to limit the land requirements of the construction site. The road roof covering thus formed is designed in accordance with the fire rules applicable to tunnels. Design engineering was performed using high-performance tools including computer modelling and BIM. □

TORRE TRINITY EN LA DÉFENSE. DISEÑO ESTRUCTURAL

JEAN-MARC JAEGER, SETEC TPI - YOANN GALLE, SETEC TPI

El diseño de la torre Trinity en La Défense ha supuesto un gran desafío en tanto que edificio de gran altura construido en voladizo sobre las vías de acceso a la autopista A14. Los conceptos básicos corresponden a la ligereza de las estructuras de la torre, la distribución de las cargas mediante infraestructuras rígidas y unos cimientos corridos sobre micropilotes para limitar las zonas de ocupación de las obras. La cubierta vial así formada se ha dimensionado de acuerdo con las normas contra incendios aplicables a los túneles. Los estudios se han llevado a cabo utilizando herramientas eficaces, como la maqueta digital y el BIM. □



1
© ARCH. P. BERGER & J. ANZIUTTI

DES HALLES DE PARIS AU PROJET DE LA CANOPÉE

AUTEURS : MARIE-VÉRONIQUE PÉRON, CHEF DE PROJET STRUCTURES CANOPÉE, INGEROP -
ADRIEN LE BRET, CHEF DE PROJET BÂTIMENT, INGEROP - FRANÇOIS SERET, INGÉNIEUR, INGEROP

LE PROJET DES ARCHITECTES PATRICK BERGER ET JACQUES ANZIUTTI S'ACHÈVE AU CŒUR DU QUARTIER HISTORIQUE DES HALLES. DANS UNE SÉRIE DE QUATRE ARTICLES DONT CELUI-CI EST LE PREMIER, EST DÉCRITE LA GENÈSE DE CE PROJET REMARQUABLE COIFFÉ PAR LA CANOPÉE, OÙ S'IMBRIQUENT LE SAVOIR-FAIRE DES MÉTIERS DU BÂTIMENT ET CELUI DES GRANDES STRUCTURES.

LE CONTEXTE ET L'HISTOIRE

La Canopée s'inscrit dans l'opération de réaménagement du site parisien des Halles.

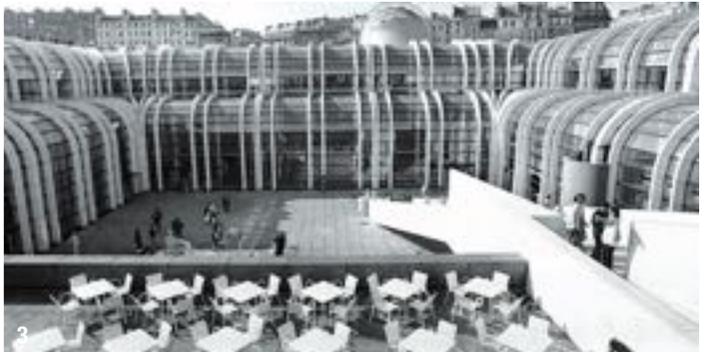
Le quartier des Halles est l'un des plus anciens de Paris. Il abritait déjà au XII^e siècle un marché en plein cœur de la ville. Philippe Auguste y fait construire les premières halles.

C'est en 1870 que sont inaugurées les Halles de Paris. Ce marché de gros comprend dix pavillons, chacun dédié à une spécialité. Reprenant le nom de l'architecte initiateur du projet, les Halles Baltard deviennent le point névralgique de la capitale. Jusqu'au début des années 60, elles restent un endroit florissant et prospère comme le décrit Zola dans « Le Ventre de Paris »,

**1- Canopée
des Halles.**

**1- The
Canopée.**

avant de devenir obsolètes (figure 2). En 1960, leur transfert vers le MIN de Rungis est décidé. Pour les parisiens, il s'agit du « déménagement du siècle ». Il débute le 27 février 1969 pour se conclure en 1973. Il reste alors un immense trou, immortalisé par le photographe Robert Doisneau. Près de 20 ans plus tard, le trou est enfin comblé par la plus grande réalisa-



© MAIRIE DE PARIS
2

© MAIRIE DE PARIS
4

**2- Les Halles
Baltard - Années
1870 à 1970.**
**3 & 4- Forum des
Halles - Années
1980 à 2010.**

**2- Les Halles
Baltard -
1870 to 1970.**
**3 & 4- Forum des
Halles -
1980 to 2010.**

tion d'urbanisme souterrain construite en France.

En 1979, le maire de Paris, Jacques Chirac inaugure le Forum des Halles, et le quartier renoue avec sa vocation de point central de Paris en redevenant une zone de rencontres et d'échanges. L'architecture, caractéristique de l'époque, est signée Claude Vasconi et Georges Pencreac'h.

Le forum abrite un centre commercial, une gare RER et des équipements de loisirs. Centre névralgique parisien, il reste, encore aujourd'hui, l'une des premières zones d'accès dans la capitale avec ses 3 lignes de RER, ses 5 lignes de métro et ses 14 lignes de bus à proximité.

L'ensemble du complexe souterrain avec la réalisation du nouveau Forum est achevé en 1986 (figure 3).

Plus que trentenaire, le site des Halles a vieilli et s'est révélé inadapté à ses divers usages :

- 3 000 salariés dans 170 commerces du centre commercial,
- 800 000 personnes utilisant le pôle d'échanges Châtelet-Les-Halles,
- 150 000 personnes fréquentant le forum,

- 17 000 m² d'équipements publics,
- 4,3 km de voies souterraines,
- 3 parkings publics,
- 4,3 ha de jardin.

Un nouveau souffle s'impose (figure 4).

LE CONCOURS DU CARREAU DES HALLES

En 2007, la rénovation du quartier des Halles, de par son ampleur et son rôle de porte de Paris, est l'un des projets d'urbanisme les plus importants au niveau régional et national et attire l'attention au niveau international.

La Ville de Paris lance un concours international au printemps 2007 dit du « Carreau des Halles » intégrant un vaste ré-aménagement du pôle d'échanges Châtelet-Les-Halles et du jardin adjacent (figure 5).

La proposition de « Canopée » imaginée par Patrick Berger et Jacques Anziutti avec Ingerop, Ingénierie en charge de la conception technique des ouvrages et Base Consultants conseil environnemental, est retenue par la Mairie de Paris.

Patrick Berger a présenté son projet comme : « *Au cœur de Paris, une forme vivante naît du sol. La morpho-*

logie de l'Architecture résulte d'un équilibre entre toutes les dynamiques du site. Il y a celles de tous les parcours publics environnant le projet, celles des diverses circulations le traversant, celles émergentes du Forum, celle du champ extérieur du Parc et celle tout aussi animée de l'empreinte des Halles dans la mémoire du quartier.

La complexité de toutes ces géométries s'organise et s'équilibre dans un projet selon un motif unique (figures 6 et 7). »

Le projet intègre des enjeux politiques, économiques et sociaux.

Il doit donner un nouveau souffle au Forum des Halles. Il doit être repensé comme un lieu de rencontres et d'échanges dans l'hyper centre de la capitale pour en devenir son nouveau cœur. Le Forum des Halles est un réel monument d'urbanisme souterrain avec sa vaste ville du dessous, sa gare ferroviaire, son centre-commercial aux 170 boutiques - le plus grand de la capitale - et ses nombreux équipements publics de la Ville de Paris (figure 8).

À aucun moment, le site ne peut s'arrêter de fonctionner.

Autour des Halles, le secteur piéton-

nier reçoit chaque jour pas moins de 300 000 personnes dans ses rues marchandes.

Signalé par la Canopée, le nouveau Forum devient une porte emblématique. Il se positionne dans l'enchaînement des grands espaces publics parisiens et métropolitains.

Conservé à l'identique depuis les années 1970, le Forum des Halles a fini par devenir inadapté à son usage en raison de l'accroissement de la quantité des visiteurs et voyageurs. Le nouvel espace d'accueil du public a donc été pensé pour s'intégrer dans les standards du XXI^e siècle, mais aussi pour créer un lien entre le dessus et le dessous de la ville (figure 9).

Un jardin rénové, une promenade piétons et un patio couvert par une immense verrière, un nouveau paysage urbain et convivial, grâce à cette Canopée, le cœur de Paris est redessiné.

LES GRANDES LIGNES ARCHITECTURALES DU PROJET

Extraits de la notice architecturale élaborée par Patrick Berger et Jacques Anziutti.



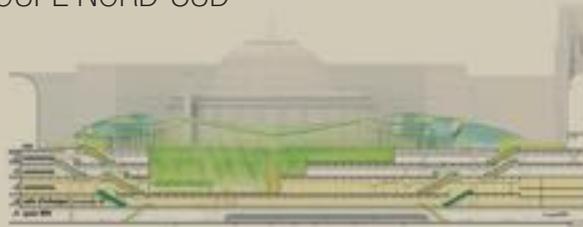
5

VUE DEPUIS LE PARC



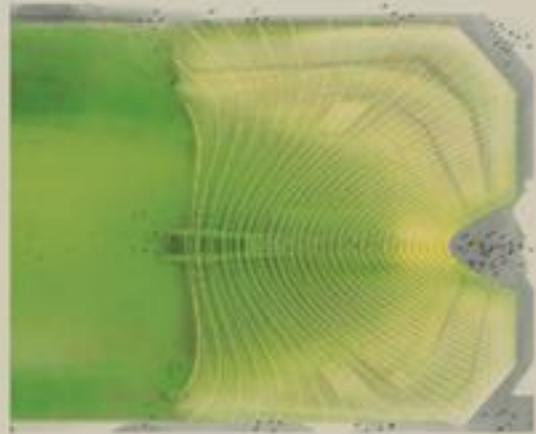
6

COUPE NORD-SUD



8

VUE DE DESSUS



7



9

LE PÉRIMÈTRE DU PROJET

En plan, la Canopée est inscrite dans un rectangle de 140 par 120 mètres de côté environ, délimité, au nord par la rue Rambuteau, à l'est par la rue Pierre Lescot, au sud par la rue Berger, à l'ouest par le jardin des Halles. Cette délimitation correspond à l'Ancien Forum des Halles (figure 10).

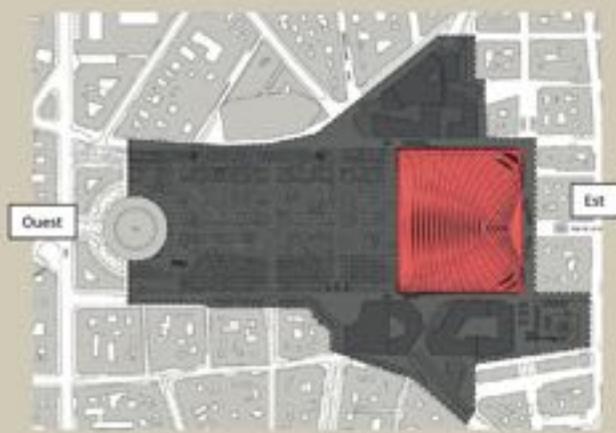
En volume, le projet comprend la Canopée qui est construite en superstructure du Forum à partir du rez-de-chaussée et la recomposition du « cratère de l'Ancien Forum des Halles » transformé en patio ouvert sur le jardin (figure 11).

L'INSERTION URBAINE

Les dominantes dans la conception de l'œuvre de Patrick Berger se déclinent suivant quelques thèmes forts :

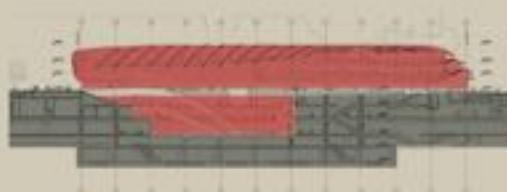
- Une morphologie d'axe est-ouest avec la mise en relation de trois monuments : la Bourse du travail, la Canopée et le centre Georges Pompidou ;
- Une orientation de la Canopée vers le jardin et une continuité entre le jardin et le patio de la Canopée ; le jardin descend progressivement par des gradins vers le premier

PÉRIMÈTRE DU PROJET EN PLAN



10

PÉRIMÈTRE DU PROJET EN VOLUME



11

5- Intégration de la Canopée dans la rénovation du quartier.

6- Vue depuis le Parc.

7- Vue de dessus.

8- Coupe nord-sud.

9- Vue aérienne.

10- Périmètre du projet en plan.

11- Périmètre du projet en volume.

5- Integration of the Canopée into the district's renovation.

6- View from the Park.

7- Plan view.

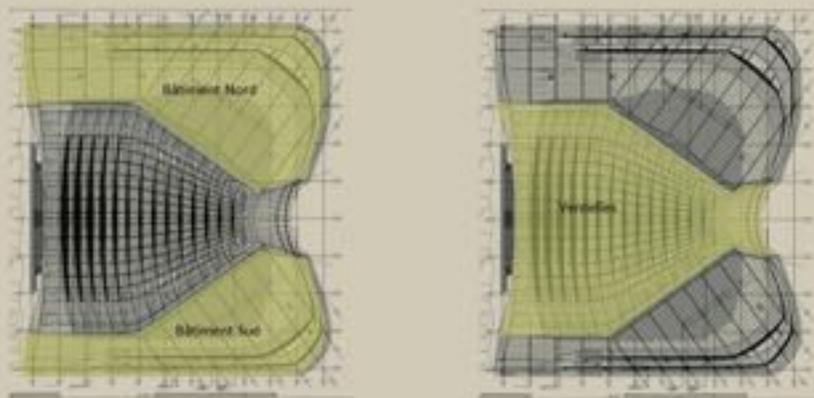
8- North-South section.

9- Aerial view.

10- Plan view of the project area.

11- Elevation view of the project area.

LE PROJET



© PATRICK BERGER - JACQUES ANZIUTTI

12

sous-sol du forum en libérant un vaste espace public ;

- Un espace central continu servant de hall extérieur pour les services culturels et le forum et facilitant les échanges et manifestations éphémères ;
- Un patio et la place basse (Niv 21.40 NGF) recentrés ;
- Une Canopée, à la hauteur des arbres, espace ouvert, ventilé, lumineux où les conditions de confort en été et en hiver sont améliorées.

Le projet est constitué d'un seul bâtiment comportant deux ailes regroupées autour d'un patio ouvert couvert par des ventelles (figure 12).

12- Le projet.

12- The project.

La silhouette de la Canopée avec ses formes courbes respecte les vues depuis les différentes échappées visuelles dans le site : depuis la rue de la Cossonnerie, on aperçoit la Bourse du Travail sous les ventelles de la Canopée ; depuis la fontaine des Innocents, on aperçoit l'église Saint-Eustache.

LE PARTI ARCHITECTURAL

La morphologie de l'architecture résulte d'un équilibre entre toutes les dynamiques du site : parcours publics, circulations traversantes et émergentes du forum.

La complexité de toutes ces géométries s'organise et s'équilibre selon un motif unique.

La Canopée architecturale protège de la chaleur et des intempéries.

Le projet permet d'intégrer dans un seul élément architectural, les façades verticales, le traitement de sol et des sous-faces, et la cinquième façade avec un continuum de matériaux. L'enveloppe est réalisée par le biais d'un système

qui recouvre l'ensemble de la Canopée suivant un principe d'« ardoises » en verre qui forment couverture.

La couverture des équipements prolonge le système des ventelles :

- La toiture superpose trois feuilles de verre correspondant aux trois étages de la Canopée ;
- Ces feuilles sont rythmées par les mêmes nervures associées à la charpente des bâtiments ;
- Le rythme des ondulations des feuilles est associé à l'expression des différentes fonctions programmatiques, permettant ainsi de créer un rythme des ouvertures optimisé pour la Canopée ;
- Les extrémités de ces toitures sont composées de marquises en verre protégeant au rez-de-chaussée ;
- Le cheminement des piétons dans l'espace public.

Au-dessous, la lumière est apaisante, les bruits sont atténués tout en conservant une sensation de plein air avec sa couverture ajourée.

Le ciel se dessine suivant une animation diffuse.

Au-dessus, la matérialité d'ensemble est un composite en verre nuancé par la variété des arrangements entre éléments transparents, translucides ou opaques.

Ce n'est pas une verrière, il y a une profondeur visuelle dans la vibration de la matière. La pluie crée des jeux de ruissellement, le soleil y livre les reflets estompés du ciel.

L'eau, la lumière, l'air concrétisent les nervures curvilignes de la toiture. □

LE PROGRAMME FONCTIONNEL

Le projet est composé de trois pôles programmatiques :

- Le pôle Culture (Conservatoire, Bibliothèque, Pratiques Amateurs)
- Les espaces métropolitains
- Les surfaces commerciales

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Paris

MAÎTRE D'ŒUVRE :

Patrick Berger, Jacques Anziutti, Ingerop Conseil & Ingénierie

CONSTRUCTEUR :

Chantiers Modernes Tpi, Gtm Tp Île-de-France, Castel Fromaget, Viry

ABSTRACT

FROM HALLES DE PARIS TO THE CANOPÉE ROOF PROJECT

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP

The project of architects Patrick Berger and Jacques Anziutti has been completed in the heart of the historic Les Halles district of Paris.

A series of four articles, of which this is the first, describes the genesis of this remarkable project ending with the Canopée, in which the know-how of the building trades is combined with expertise in large structures. □

DESDE LAS HALLES DE PARÍS HASTA EL PROYECTO DE LA CANOPEA

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP

El proyecto de los arquitectos Patrick Berger y Jacques Anziutti en pleno centro del barrio histórico de Les Halles toca a su fin. En una serie de cuatro artículos, de la cual el presente es el primero, se describe la génesis de este destacado proyecto coronado por la Canopea, que ha exigido la concurrencia de competencias técnicas de construcción y de grandes estructuras. □



1
© DR

LES ESPACES CULTURELS ET COMMERCIAUX - LA CANOPÉE S'INSCRIT DANS LA TRAME EXISTANTE DU FORUM

AUTEURS : MARIE-VÉRONIQUE PÉRON, CHEF DE PROJET STRUCTURES CANOPÉE, INGEROP - ADRIEN LE BRET, CHEF DE PROJET BÂTIMENT, INGEROP - FRANÇOIS SERET, INGÉNIEUR, INGEROP

DEUXIÈME ARTICLE D'UNE SÉRIE DE QUATRE. LE COMPORTEMENT DES STRUCTURES PRÉCONTRAINES EXISTANTES, LES DÉMOLITIONS ET AJOUTS DE PLANCHERS POUR RECENTRER LE PATIO, LA COUTURE DES JOINTS DE DILATATION EXISTANTS ONT OBLIGÉ À DE GROS TRAVAUX EN SOUS-ŒUVRE, DANS UN CENTRE COMMERCIAL ET UNE GARE EN ACTIVITÉ.

LES PORTIQUES SURÉLEVÉS AVEC LEURS EXIGENCES ACOUSTIQUES

Les rives en marquises s'intègrent harmonieusement dans les formes courbes dessinées par l'architecte. La trame de l'existant.

La structure principale du Forum des Halles est organisée suivant une trame orthogonale de 11,313 m (est-ouest) x 16 m (nord-sud). Le projet Canopée est délimité par les

trames 104-115 et 05-14 (figure 2). Sur la vue en plan on reconnaît la trace de la zone RATP avec le passage du RER au niveau le plus bas et les structures de l'ancien forum des Halles. Des portiques orientés nord-sud sont constitués de poutres principales continues de 160 m de long pour les plus grandes supportant un réseau de planchers. La précontrainte par post-tension, à l'exception notable du niveau du rez-

1- Vue sur l'église Saint-Eustache de la Canopée des Halles.

1- View of Saint-Eustache church from the Canopée des Halles.

de-chaussée 35,50 NGF, a été massivement utilisée à travers toute la construction des années 70-80. Tous les planchers sont précontraints ainsi que tous les portiques. La précontrainte transversale des planchers règne sur plusieurs travées. Elle constitue, avec la précontrainte longitudinale des poutres, des ensembles structurels fortement imbriqués. Il existe en tout près de treize typologies de plancher.

Des joints de dilatation viennent découper régulièrement le Forum dans son ancienne configuration au niveau 35,50 NGF.

Ces joints sont prolongés, pour partie, au travers des porteurs sous-jacents sur une hauteur d'étage.

En sous face des niveaux 21,40 NGF, 31 NGF et 35,50 NGF sont généralement présents des appuis néoprène en tête des éléments porteurs. Il existe donc des joints de dilatation verticaux et horizontaux (figure 3).

Le projet neuf de la Canopée s'appuie sur la trame existante des portiques.

LE PROJET CANOPÉE - BÂTIMENTS

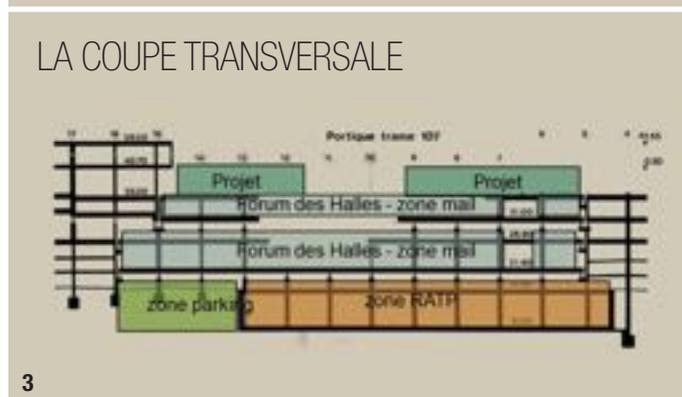
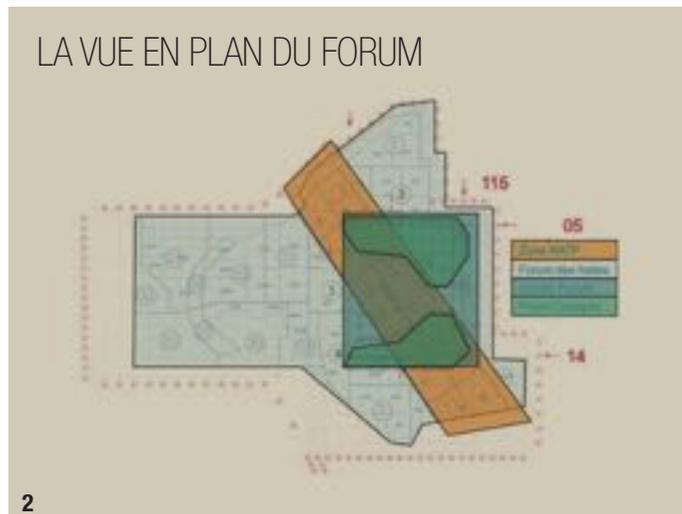
Le projet comprend :

- Le recentrement du patio sur la file centrale, file 10,
- La réalisation de 2 passerelles au sous-sol 1,
- La réalisation de 2 bâtiments Nord et Sud,
- Et la réalisation de la Canopée.

LES TRAVAUX DE GROS ŒUVRE

Les travaux de Gros Œuvre à réaliser consistent en :

- Le désamiantage local de têtes de poteaux avec leur renforcement ou changement d'appareils d'appui ;
- Le renforcement de certains éléments de la structure en place afin de supporter la nouvelle descente de charges ;
- La démolition de plusieurs parties de bâtiments et ouvrages ;
- L'ajout et/ou la suppression de planchers en rives de patio sur les niveaux RdC, sous-sols S1 et S2, afin d'opérer un recentrement du patio sur la file 10, axe majeur est-ouest à l'échelle globale du site ;
- La construction d'un nouveau bâti-



© INGEROP

- 2- La vue en plan du forum.
- 3- La coupe transversale.
- 4- Un renforcement de poteaux.

- 2- Plan view of the forum.
- 3- Cross section.
- 4- Column strengthening.

- La réalisation de 2 passerelles métalliques de 55 m de portée dans la hauteur du S1 ;
- Le rebouchage ou la création de trémies, en particulier dans le cadre de la modification de circulations verticales :
 - la création de nouvelles circulations verticales,

- le remplacement de certains ouvrages ou équipements (ex : appareils d'appui),
- l'adaptation de certains ouvrages à la configuration du nouveau projet.

Renforcement de la structure existante

Le Forum des Halles a été conçu dès son origine avec la perspective d'une surélévation verticale de 2 niveaux supposés en béton armé ; les éléments verticaux porteurs et les fondations ont été dimensionnés en conséquence. Néanmoins, cette extension n'avait été prévue que sur la zone occupée par les pavillons Willerval, soit au nord et à l'est du grand patio central.

Or, le projet actuel prévoit une occupation globale de l'espace disponible au nord, à l'est et au sud du patio : il en résulte une déficience quasi généralisée des porteurs sous les descentes de charges principales ramenées par le futur bâtiment au sud de la file centrale 10 et un renforcement beaucoup plus localisé au nord de cette même file.

En tout, le projet prévoit :

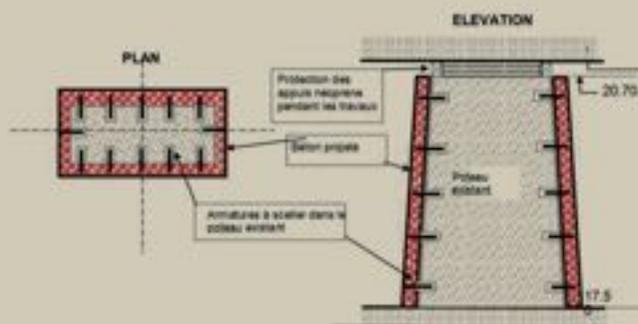
- 17 poteaux à renforcer (figure 4) ;
- 16 appuis néoprène à changer ;
- 3 semelles à renforcer soit pour une insuffisance de capacité portante du sol, soit pour une déficience de ferrailage transversal.

À titre d'exemple, le schéma (figures 5 & 6) montre les interventions prescrites sur le poteau P12-110 qui comporte un renforcement toute hauteur.

Couture des joints de dilatation de l'existant

Les bâtiments nord et sud du nouveau projet étant chacun monobloc et reposant sur les poteaux existants du Forum dont la capacité est limitée, il a fallu réduire les efforts horizontaux par appui en rendant l'existant monolithique. ▷

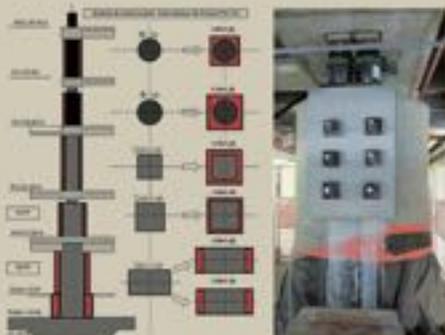
UN RENFORCEMENT DE POTEAUX



© INGEROP

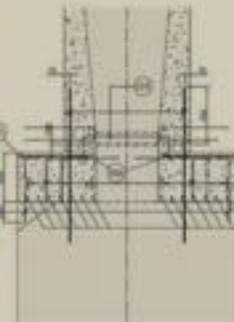
PRINCIPE DE RENFORCEMENT

au droit de la file 12-110



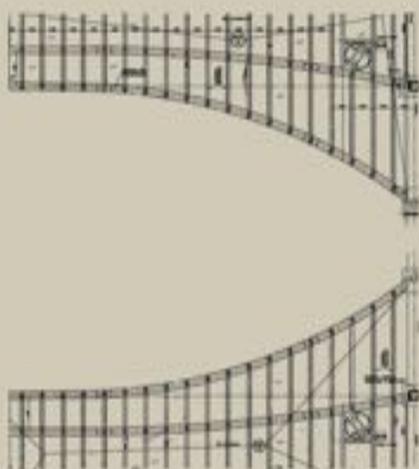
5

RENFORCEMENT DE SEMELLES



6

VUE EN PLAN DES PASSERELLES



7



8



9

5- Principe de renforcement au droit de la file 12-110.

6- Renforcement de semelles.

7- Vue en plan des passerelles.

8- Photo chantier - Pose d'une poutre.

9- Photo chantier - Un escalier.

5- Strengthening technique at the level of row 12-110.

6- Footing strengthening.

7- Plan view of foot bridges.

8- Site photo - Placing a beam.

9- Site photo - A stairway.

Tous les éléments de ce monolithe doivent pouvoir se déplacer en même temps afin de diffuser les efforts de façon répartie sur tous les poteaux.

Cela s'est traduit par la couture des joints de dilatation des deux plaques de l'existant.

La couture de ces joints se justifie par le fait que les effets de retrait, fluage et tassements différentiels sont déjà réalisés depuis l'origine de la construction et de par le fait que les locaux présents en sous face et en surface de la dalle du rez-de-chaussée assurent un fonctionnement qua-

siment en atmosphère contrôlée et à température stable, sans effet direct de l'ensoleillement.

Les deux plaques nord et sud restent indépendantes l'une de l'autre du fait de la présence du joint de dilatation est-ouest file 9 qui ne sera pas couturé.

Aménagement du patio intérieur

Afin de constituer la nouvelle forme du patio intérieur, trois ouvrages majeurs, deux passerelles Est et Ouest d'une portée de 55 m et l'escalier Nord du patio sont prévus.

Les deux passerelles métalliques réalisées dans la hauteur du premier sous-

sol permettent de recentrer le patio suivant l'axe central est-ouest. Chaque passerelle est constituée de deux poutres Vierendell à hauteur variable de hauteur maximale 4 m avec des membrures courbes en plan (figures 7 & 8). Des escaliers architecturés, constitués de caissons métalliques courbes, agrémentent les accès aux niveaux supérieurs (figure 9).

LES BÂTIMENTS CANOPÉE

Les bâtiments Canopée sont constitués par deux entités indépendantes distinctes :

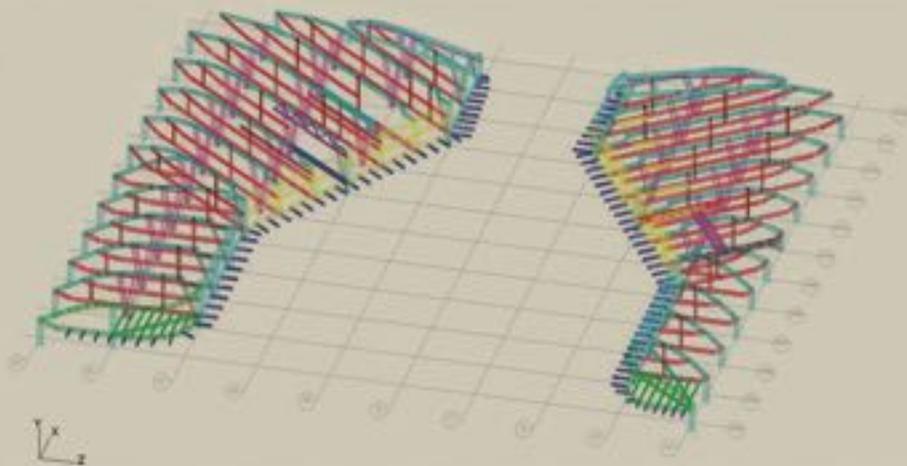
→ Le bâtiment Nord s'inscrivant sur 11 trames est-ouest et 3 trames nord-sud ;

→ Le bâtiment Sud s'inscrivant sur 11 trames est-ouest et 2 trames nord-sud.

Les bâtiments comportent quatre niveaux principaux dont les niveaux de planchers vont du R0 (+35.80 NGF - 0.00 projet) au R2 - Niveau technique (46.30 NGF - +10.5 projet).

L'altimétrie absolue de la toiture (verre compris) reste dans l'altimétrie maximale de +14,50 m par rapport au niveau de référence.

VUE SYNTHÉTIQUE DE L'OSSATURE PRINCIPALE



© INGEROP

10

10- Vue synthétique de l'ossature principale.

11- Photo chantier portiques.

12- Rives extérieures des bâtiments.

13- Portique type - Principe du report des charges des planchers sur les poteaux « V ».



© FRANCK BADAIRE

11

10- Synthetic view of the main framework.

11- Site photo of portal structures.

12- Outside edges of buildings.

13- Typical portal structure - Technique for transferring floor loads to "V" columns.

Les structures

L'ossature des bâtiments est articulée suivant une trame principale d'éléments structurels constituant des portiques ou refends principaux, sur lesquels viennent s'appuyer les planchers et ponctuellement, l'ossature de la Canopée (figure 10).

Ces portiques « principaux » s'appuient uniquement sur l'ancien Forum au droit des porteurs existants. Ils sont composés :

- En rive de patio : de poteaux + bracons en « I » ou « H » ;
- En rive extérieure de bâtiment : de poteaux acier tubulaires circulaires ;
- En travée : de poteaux PRS en « I » ou « H » assemblés en forme de « V » ;
- De traverses en PRS en forme de « H » ;
- De suspentes en « T », en « I » ou « H » en PRS ou en profilés du commerce ;

De manière générale, les bracons ou poteaux « V » permettent au cas par cas de réduire la portée des traverses et consoles.

Ils assurent une partie de la descente de charges et contribuent à la stabilité d'ensemble des bâtiments.

Leur inclinaison est variable de manière à permettre, en fonction de l'aménagement à venir du projet, de s'insérer de manière transparente au sein des locaux et particulièrement de maintenir la faisabilité d'une circulation interne. Des portiques secondaires dans le sens est-ouest participent au contreventement général des bâtiments (figure 11).

Pour chaque bâtiment, les ensembles portiques principaux et portiques secondaires sont orientés suivant plusieurs plans concourants et sont reliés entre eux par au moins 3 plans de liaisonnement (2 planchers et la toiture) conçus de manière à fonctionner en diaphragme rigide. Ces dispositions définissent le contreventement général du bâtiment.

Les caissons de rives extérieures du bâtiment servent également de support aux griffes constituant la marquise des rives de plancher (figure 12).

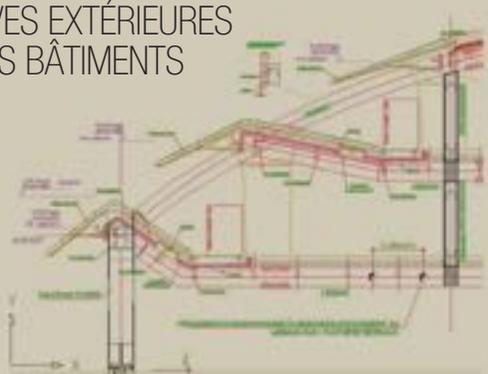
Les portiques sont articulés en pied par des appuis à grains.

La très grande majorité des assemblages est réalisée par boulonnage. Pour les portiques vus, la volonté architecturale est de masquer au mieux tout assemblage visible et les assemblages soudés sont privilégiés.

Les planchers et la contrainte acoustique

Les planchers sont prévus en bacs collaborant type Cofrastra70 + goujons soudés sur solives de planchers et traverses de portiques. Leur épaisseur est imposée par l'acoustique dont les exigences sont quasi omni-présentes sur le projet. ▶

RIVES EXTÉRIEURES DES BÂTIMENTS

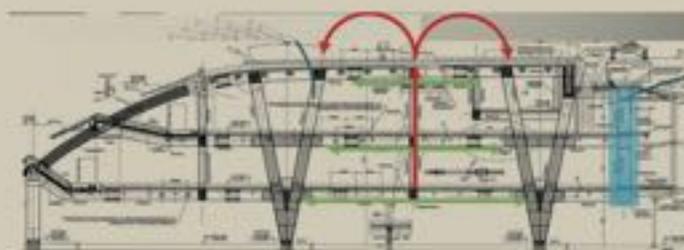


© INGEROP

12

PORTIQUE TYPE

Principe du report des charges des planchers sur les poteaux « V »



13



14

POUTRE VIERENDELL CÔTÉ LESCOT



15

Les parties relevées de planchers situées en façades extérieures des bâtiments sont traitées comme une couverture de toiture de bâtiment en charpente classique avec bacs secs incorporant directement les isolants thermiques et phoniques primaires, ainsi que des plenums de prise d'air.

Les façades et la toiture

Côté jardin, les façades se développent suivant un ensemble de poutres caisson curvilignes (figure 14).

Côté patio, une poutre treillis assure le ceinturage de la coursive. Côté Lescot (est) une poutre type Vierendell permet de franchir les 34 m de portée (figure 15). Les pannes de toiture de portée variant de 9,10 m à 11,50 m environ sont en profilés du commerce. Elles supportent les bacs de toiture incluant étanchéité et isolation ainsi que les plots supports de verre. □

14- Photo
Chantier -
Façade jardin.
15- Poutre
Vierendeel
côté Lescot.

14- Site photo -
garden facade.
15- Vierendeel
beam on
Lescot side.

Ces exigences vont pour les locaux dit de classe A (salle de diffusion/grand orchestre/open space/cultures urbaines...) jusqu'à une demande de 25 cm d'équivalent masse béton minimum. Cela implique une très forte contrainte de descente de charge. Cela permet par ailleurs de gérer les décaissements localisés et de maîtri-

ser le comportement dynamique pour le confort des usagers.

Les grandes portées de planchers sont par ailleurs réduites par la mise en place à mi-portée d'une suspente : les charges du RdC et du premier niveau sont ainsi partiellement relevées jusqu'à la traverse éventuellement renforcée du deuxième niveau (figure 13).

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Paris

MAÎTRE D'ŒUVRE :

Patrick Berger, Jacques Anziutti, Ingerop Conseil & Ingénierie

CONSTRUCTEUR :

Chantiers Modernes Tpi, Gtm Tp Île-de-France, Castel Fromaget, Viry

ABSTRACT

CULTURAL AND SHOPPING SPACES - THE CANOPEE FITS IN WITH THE EXISTING FRAME OF THE FORUM

M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP.

Second article in a series of four. *The behaviour of the existing prestressed structures, demolition work and the addition of floors to recentre the patio, and the interfaces with existing expansion joints required major underpinning works, in a shopping centre and a railway station in operation.* □

LOS ESPACIOS CULTURALES Y COMERCIALES - LA CANOPEA SE INSCRIBE EN LA TRAMA EXISTENTE DEL FORO

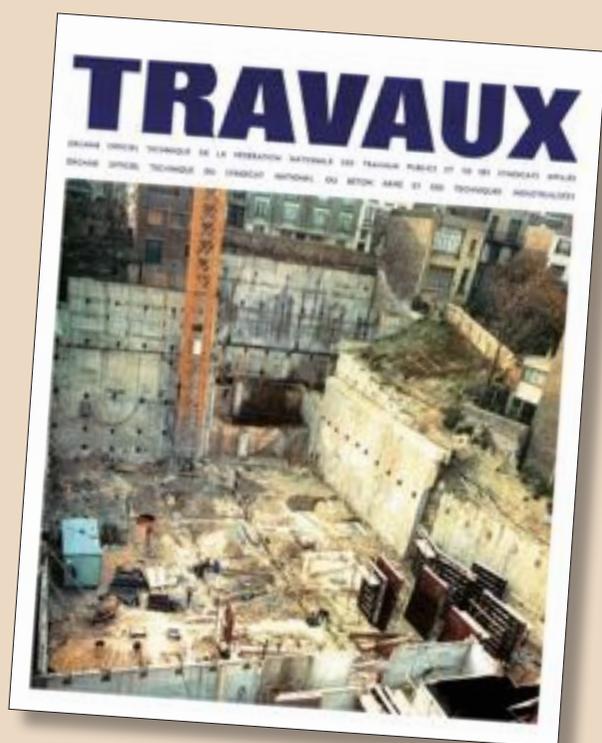
M.-V. PÉRON, INGEROP - A. LE BRET, INGEROP - F. SERET, INGEROP.

Segundo artículo de una serie de cuatro. *El comportamiento de las estructuras pretensadas existentes, el derribo y la incorporación de pisos para recentrar el patio y la costura de las juntas de dilatación existentes han necesitado grandes obras de recalce en un centro comercial y una estación en actividad.* □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : MÉTRO DE MILAN - LIGNE 2 - 4^e TRONÇON - DE LA PLACE DU 25 AVRIL À LA PLACE CÀDORNA

E. BOTTI, DOTT. ING., DIRECTEUR TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ DU MÉTROPOLITAIN DE MILAN
TRAVAUX N°477 - DÉCEMBRE 1974

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTP



Creuser sous une ville italienne est souvent une belle excursion sous des immeubles historiques et au milieu de vestiges antiques enfouis.

Mais Milan n'est pas Rome. Son sous-sol alluvionnaire a toutefois révélé, sur ce tronçon, des fondations séculaires et de nombreux réseaux avec lesquels il a fallu composer.

Les embarras de la circulation de surface il y a plus de quarante ans à Milan contraignaient à un creusement en tunnel. L'absence de nappe phréatique a été un facteur favorable. C'est une solution par injections de consolidation des terrains sablo-graveleux qui a été utilisée. En ce début des années 70, les

spécialistes italiens et français maîtrisaient bien ce procédé.

La méthode consiste à réaliser un réseau de forages équipés de tubes à manchettes et de procéder à une injection primaire de coulis bentonite-ciment pour traiter les couches perméables puis une injection secondaire de gel de silicate de sodium, plus pénétrant, pour traiter les couches sableuses moins perméables.

Les injections sont réalisées depuis la surface ou depuis des galeries en front. La résistance en compression simple du terrain consolidé obtenue sur ce chantier a été de l'ordre de 15 bars. Le creusement du tunnel en grande section a ensuite été effectué aisément à la fraise Alpine.

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: MILAN METRO - LINE 2 - SECTION 4 - FROM 25 APRIL SQUARE TO CADORNA SQUARE

TRAVAUX N°477 - DECEMBER 1974

E. BOTTI, DOTT. ING., TECHNICAL MANAGER OF THE MILAN METROPOLITAN COMPANY

Digging under an Italian city is often a beautiful excursion under historic buildings in the midst of buried ancient relics. But Milan is not Rome. However, its alluvial subsoil revealed, on this section, secular foundations and numerous networks which had to be coped with. Surface traffic nuisances in Milan more than forty years ago made it necessary to dig by tunnelling. The absence of an aquifer was a favourable factor. The solution used was consolidation grout injection in sandy gravel land. In the early 1970s, Italian and French specialists mastered this process well. The method was to execute a network of boreholes fitted with sleeve pipes and perform primary injection of bentonite-cement grout to treat the permeable layers and then secondary injection of sodium silicate gel, more penetrating, to treat the less permeable sandy layers. Grout injection was performed from the surface or from galleries at the tunnel face. The unconfined compressive strength of the consolidated ground obtained on this construction site was approximately 15 bar. Large-section tunnel driving was performed easily by Alpine cutter. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: METRO DE MILÁN - LÍNEA 2 - 4^o TRAMO - DE LA PLAZA DEL 25 DE ABRIL A LA PLAZA CADORNA

TRAVAUX N°477 - DICIEMBRE DE 1974

E. BOTTI, DOTT. ING., DIRECTOR TÉCNICO DEL METRO DE MILÁN

Perforar debajo de una ciudad italiana constituye frecuentemente una bonita excursión bajo edificios históricos, en medio de vestigios antiguos enterrados. Aunque Milán no es Roma, en este tramo su subsuelo aluvial ha revelado cimientos seculares y numerosas redes que ha sido preciso tener en cuenta. Hace más de cuarenta años, los problemas de tráfico en la superficie de Milán obligaron a excavar un túnel. La ausencia de capa freática fue un factor favorable. Se decidió utilizar una solución por inyecciones de consolidación de los terrenos areno-pedregosos. A principios de los años 70, los especialistas italianos y franceses dominaban perfectamente este procedimiento. El método consiste en realizar una red de perforaciones provistas de tubos con manguitos y proceder a una inyección primaria de mortero de bentonita-cemento para tratar las capas permeables, y seguidamente una inyección secundaria de gel de silicato de sodio, más penetrante, para tratar las capas arenosas menos permeables. Las inyecciones se realizan desde la superficie o desde galerías frontales. La resistencia en compresión simple del terreno consolidado obtenida en esta obra fue del orden de los 15 bares. La excavación del túnel de gran sección se realizó fácilmente con una fresadora Alpine. □

Métro de Milan : ligne 2 - 4^e tronçon de la place du 25 Avril à la place Cadorna

E. Botti

Dom. Ing.
Directeur technique de la Société de Métropolitain de Milan

1 DESCRIPTION GENERALE

L'embranchement de la ligne verte Porte Garibaldi - place Cadorna mesure 1 985 m de long et il est, actuellement, pour la multiplicité des problèmes connexes d'exécution, le tronçon le plus important jusqu'ici réalisé. Cet embranchement réunit la station Cadorna de la ligne rouge, déjà réalisée en 1960, ainsi que la correspondance avec la ligne verte, avec la station Garibaldi de la ligne verte en service depuis 1970 (fig. 1). Le long de ce tronçon ont été prévues deux stations : Moscova et Lanza qui ont respectivement :

- Garibaldi-Moscova : 743 m ;
- Moscova-Lanza : 622 m ;
- Lanza-Cadorna : 620 m.

Ces stations sont destinées à assurer un service de passagers très intense. En effet, elles se situent à la croisée de routes à grand trafic et au centre des activités typiques de la ville (bureaux, centres commerciaux, maisons de représentation, etc.).

Du point de vue de l'urbanisme, la zone compte également des habitations anciennes à caractère populaire, mais de grand intérêt historique, surtout pour les personnes qui les habitent. Cette zone est destinée à être aménagée en tenant compte principalement de la conservation des caractéristiques de l'environnement.

2 ETUDES DU TRACE

En 1970, des études avaient été faites en vue d'exécuter le tronçon à ciel ouvert avec des galeries superposées afin de contenir les constructions nécessaires à l'intérieur de la surface routière du Cours Garibaldi (fig. 2), qui est très étroit (15 mètres avec les trottoirs). L'Administration Municipale, sensible aux problèmes de l'exercice des activités commerciales et du trafic public et privé, déjà difficile dans une zone aux rues tortueuses et étroites, et certainement peu encline à subir une gêne aussi forte que celle qu'aurait entraîné le bouleversement complet du Cours Garibaldi, avait demandé à la M.M. S.p.A. d'établir un projet en vue de l'exécution du tronçon le plus possible en souterrain.

A ce stade les problèmes de construction de ce tronçon se sont révélés très importants si l'on tient compte de ce qui suit :

1. le niveau des rails, au terme des constructions faites vers la station Garibaldi, se trouvait à une profondeur de seulement 9,50 mètres de la surface et la distance entre les voies était de 9 mètres ;
2. le début du tronçon se trouvait exactement sous la place du 25-Avril, et traversait le centre des boulevards intérieurs de la ville et donc un nœud de routes très importantes ;

3. le réseau de services du sous-sol de la place du 25-Avril, de Largo La Foppa et du Foro Bonaparte (fig. 3) était constitué par un enchevêtrement chaotique de câbles, tuyaux et égouts ;

4. à 20 mètres à peine du début du tronçon la ligne passait sous l'Arc de la Porte Garibaldi (fig. 4) important monument, qui, avec les bureaux voisins de l'octroi, fait partie des murs espagnols antiques de Milan ; les fondations de ce monument, situées à seulement 3 mètres de profondeur, étaient constituées par un bloc massif en maçonnerie reposant sur des pieux en bois complètement détruits ;

5. à 50 mètres du début du tronçon, la municipalité de Milan, avait prévu une rue souterraine afin de dégager le croisement de Viale Crespi avec le Cours Garibaldi ;

6. à quelques mètres de la rue souterraine ci-dessus, un ensemble de services publics très important parmi lesquels une conduite de gaz de 1 000 mm de diamètre entravait la construction de la ligne ;

7. l'ouvrage à construire à l'entrée du Cours Garibaldi devait être conçu en hauteur et en largeur afin de permettre d'ajouter une voie qui constituerait, dans le futur, un dégagement spécial, le passage d'une ligne allant de la station Garibaldi vers rue Pesubio ;

8. le tronçon passant sous le Cours Garibaldi devait passer sous la rue mais tenant compte des constructions latérales dont certaines étaient vieilles, avec des dégradations encore visibles, produites par les bom-

Fig. 1 Plan général.





Fig. 2 Arco de la Porte Garibaldi.



Fig. 3 Portico del Bramante

bardements pendant la dernière guerre ; par exemple le numéro 117 (fig. 5) avait encore la façade complètement détruite, détachée de la construction placée derrière ; d'autres immeubles étaient nettement dangereux ;

9. la station Moscova devait tenir compte d'une série de problèmes dus au fait que la construction de la ligne étant prévue à ciel ouvert, deux nouveaux immeubles Cours Garibaldi n° 84-86 (fig. 6) avaient été bâtis sur des pieux établis à une profondeur tenant compte de ce mode de construction ;

10. la traversée sous les habitations du quartier Fossati (fig. 7), de l'Eglise Evangélique (fig. 8), du Portico del Bramante (fig. 9) devait être faite sans détruire les immeubles, car leur intérêt historique impliquait de les laisser disponibles pour une prochaine restauration, bien que ces constructions soient vétustes ;

11. la station Lanza devait être placée le plus près possible du croisement de Cours Garibaldi avec les rues Pontaccio-Tivoli à cause de l'importance de ce nœud comme point de correspondance des moyens de transport public, le tout devant être compatible avec le rayon de courbure des voies pour lequel on avait pensé ne pas descendre au-dessous de 200 mètres ;

12. la traversée par la ligne de Foro Bonaparte devait avoir lieu sans entraves pour le trafic, cette artère étant de première importance ;

13. l'activité de l'Institut technico-commercial « Schiaparelli » situé sur la zone prévue pour la station Lanza, devait être maintenue grâce à des solutions provisoires, mais il n'était pas possible

d'en prévoir le déplacement dans une autre zone pendant les travaux ;

14. le tronçon à construire devait se raccorder à la même profondeur et à l'endroit des constructions prévues pour le passage sous le Castello Sforzesco de la ligne n° 2 (verte) et déjà réalisées en 1960 ;

15. les ouvrages à côté du Castello Sforzesco devaient être faits en tenant compte de la présence de vieilles fortifications dont les maçonneries étaient restées enterrées sous le niveau de la rue, mais dont on avait déterminé, de façon certaine, la position et les caractéristiques (fig. 10) ;

16. les plantations qui se trouvent dans le Foro Bonaparte, d'essence rare, devaient être conservées.

17. les conduites souterraines d'eau et de gaz devaient, par mesure de sécurité, être remplacées par des tuyaux en acier ;

18. le terrain, où se faisait le travail, était constitué par une première couche d'une épaisseur de 4 + 5 mètres, de terrain de remblai et ensuite par du sable et du gravier de nature alluvionnaire sans présence d'eau comme le montrent les sondages qui sont indiqués dans la fig. 4.

19. la surface occupée par les constructions devait être réduite au maximum, car la ligne étant superficielle, les indemnités pour les expropriations auraient pu constituer une dépense non négligeable.

La réponse à tous ces problèmes a été donnée en choisissant opportunément aussi bien la méthode d'exécution que le tracé. Pour ce dernier, on a projeté de construire en partant de la place du 25-Avril

deux galeries distinctes très en pente (30‰), longues de 95 mètres, puis un ouvrage pour l'entrée de la troisième voie prévue, longue de 62 m, bâti à ciel ouvert et utilisé comme un puits de service durant les travaux, et enfin une série de galeries au diamètre variant de 11,60 m à 8,90 m et allant jusqu'à la station Moscova.

Cette station a été prévue avec trois corps principaux. Le premier à une extrémité sur 20 mètres abritant le mezzanine superficiel bâti à ciel ouvert, le deuxième à l'autre extrémité sur 62 mètres, bâti avec la méthode en galerie, composé par une galerie au diamètre unique de 14 mètres qui comprend les deux quais latéraux et les deux voies, le troisième intermédiaire long de 42 m composé par la travée centrale analogue à la précédente mais ouverte latéralement sur des espaces contenant les groupes d'escaliers de descente et de montée reliant le quai avec la mezzanine.

Après la station Moscova, le tracé prévoit une galerie à double voie de 8,90 m de diamètre, longue de 363 m jusqu'à l'entrée du puits de service placé avant le Portico del Bramante sur un emplacement prévu encore non construit.

Après le puits de service la galerie, sur une distance de 150 m se dédouble à nouveau en deux galeries séparées pour rendre plus facile et sûr le passage sous le quartier Fossati jusqu'à l'entrée de la station Lanza.

Cette station comprend un grand mezzanine, qui a été bâti sur une surface résultant de la démolition d'une aile de l'école Schiaparelli.

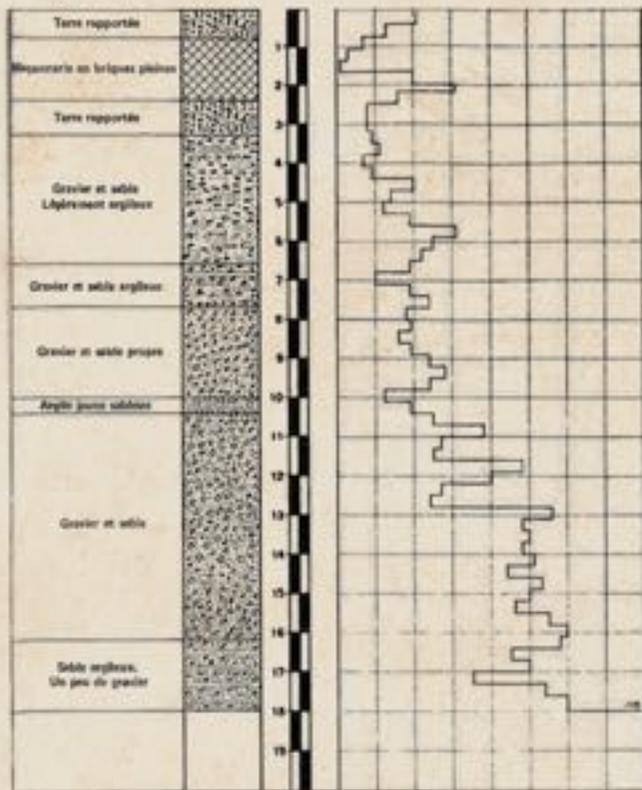


Fig. 4 Sondages du terrain : Essai de pénétration.

Afin de permettre le fonctionnement de l'école pendant les travaux on a bâti, place Marengo, une annexe provisoire supplémentaire composée de 13 salles de classe.

A l'autre extrémité de la station pour les 50 mètres de quai, on a projeté de construire en souterrain avec deux galeries distinctes contenant toutes les deux une plate-forme.

De la station Lanza partent, sur une longueur de 64 m, deux galeries distinctes, construites en tunnel, qui s'insèrent dans un ouvrage de raccordement prévu pour la liaison avec la galerie déjà construite en 1960 sous le Castello Sforzesco. Ce dernier ouvrage a

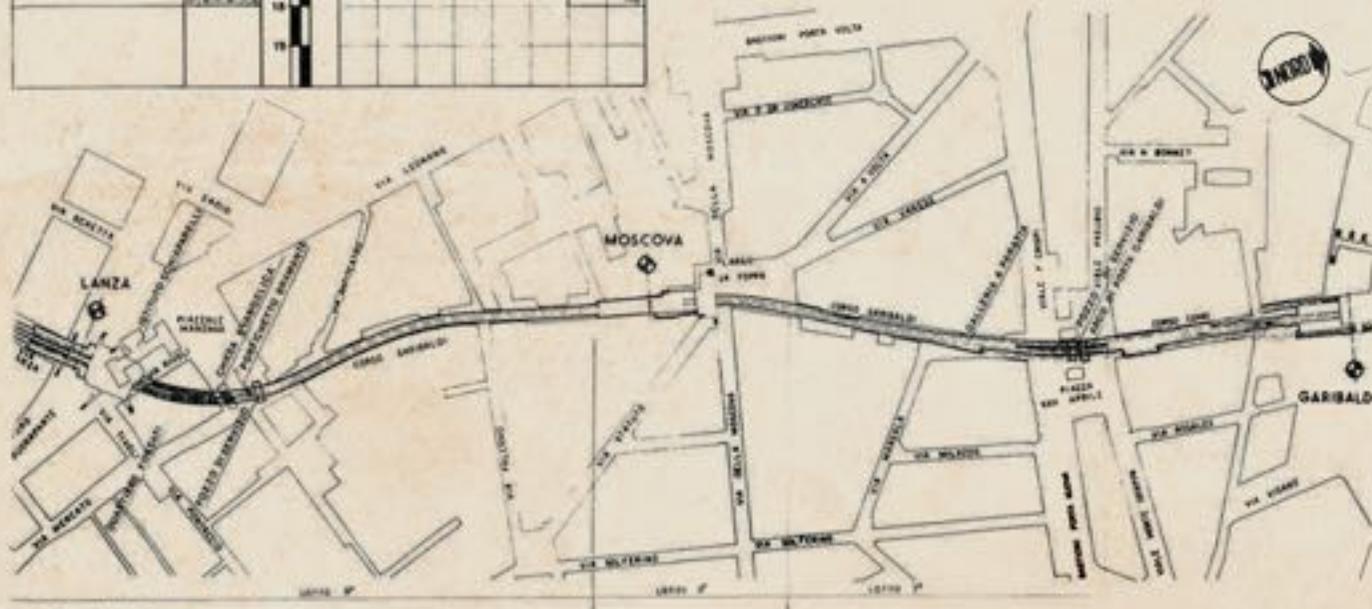


Fig. 5 Plan de la ligne.

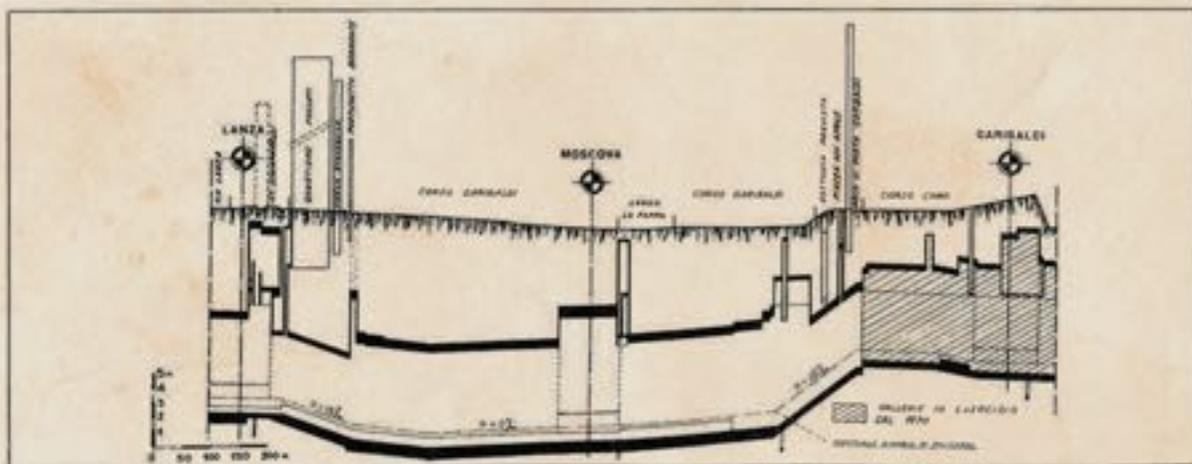


Fig. 6 Profil en long de la ligne.

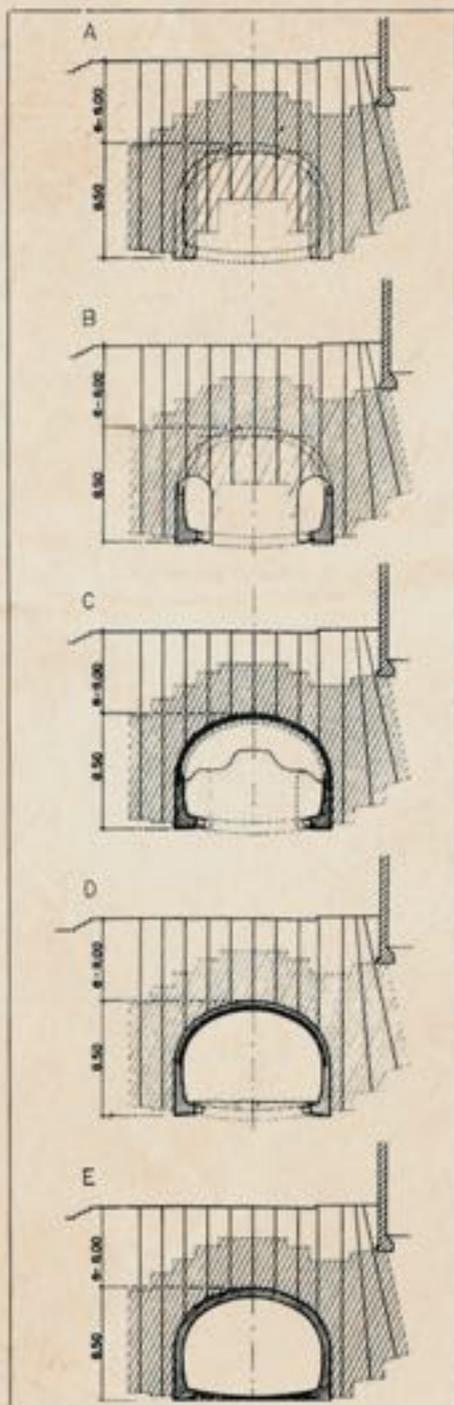


Fig. 7 Phases de la construction d'une galerie de plus de 30 mètres de diamètre : Phase A : Injections de consolidation du terrain ; Phase B : Construction des piedroits et galeries latérales ; Phase C : Pose des cintres de voûte et coulé du revêtement extérieur en béton projeté ; Phase D : Achèvement du revêtement de voûte par coulé en coffrages ; Phase E : Coulé du radier.

été projeté à ciel ouvert pour pouvoir avancer sûrement entre les innombrables murs ensevelis de la villa, restes des fortifications espagnoles.

Toutes les autres constructions jusqu'à la place Cardona et la station homonyme, y compris les quais pour la ligne verte ont déjà été réalisées lors de la construction de la ligne rouge.

3 METHODE DE CONSTRUCTION

En ce qui concerne la méthode de construction on a choisi naturellement, en raison de la complexité des ouvrages prévus, celle résultant des techniques les plus avancées et déjà expérimentées par la M.M. S.p.A., c'est-à-dire celle qui prévoit :

- la consolidation du terrain aussi bien avec des injections de mélanges de ciment et de bentonite qu'avec des mélanges chimiques à base de silicate de sodium ;

- le creusement de la galerie sur une longueur de 1 mètre, avec la formation d'un premier revêtement de 20 cm d'épaisseur en béton projeté armé avec des cintres grillagés et des filets à mailles 5 x 10 suivant les phases indiquées dans les figures pour les différentes sections de la galerie adoptée ;

- l'exécution d'un autre revêtement interne et de la voûte convexe en béton projeté.

Les plus grandes parties des injections sont faites grâce à la perforation à partir de la surface de la rue, sauf pour la galerie de la place du 25-Avril et pour celle sous les immeubles qui ont été prévus avec une galerie d'avancement construite à partir des puits de service respectifs sur des tronçons successifs longs de 10 mètres environ.

On a dû faire particulièrement attention aux fondations des immeubles correspondant à la galerie, c'est pourquoi le terrain a été systématiquement consolidé avec des injections de ciment et chimiques pour des résistances à une compression simple interne allant de 12 + 15 kg/cm² après 15 jours de séchage.

Les travaux du 7^e lot (Cours Como - Largo La Foppa) ont été adjugés à l'entreprise Codella S.p.A. qui, pour les travaux de consolidation du terrain, s'est servie de l'entreprise spécialisée Rodio S.p.A. Les travaux sont terminés.

Le creusement de la galerie du 7^e lot a été fait à l'aide de fraises du type « Alpine » avec d'excellents temps de production 8 + 10 m³ par heure effective de travail même si l'usure des dents fut très élevée.

La vitesse moyenne d'avancement de la galerie à double voie, avec injections depuis la surface et avec un seul front d'attaque a été de 4 mètres par jour avec trois équipes de travail selon un cycle d'opérations qui comprend :

- perforation pour la pose des tuyaux à soupape ;
- injections de ciment Tixocol ;
- séchage des injections de ciment (8 jours) ;
- injections chimiques à base de silicate de sodium ;

- séchage des injections chimiques (7 + 8 jours) ;
 - creusement et coulage de la calotte de pré-revêtement en béton projeté ;
 - creusement et coulage du pied-droit de pré-revêtement en béton projeté ;
 - coulage du revêtement interne en béton ;
 - coulage de la voûte convexe en béton ;
- tandis que pour les galeries à voie simple faites avec des injections depuis le tunnel de pré-avancement la vitesse moyenne d'avancement pour chaque galerie a été de 0,60 m avec un cycle d'opérations qui comprend :

- injections par le tunnel ;
- creusement du tunnel ;
- revêtement du tunnel en béton projeté ;
- perforation avec une sonde à air comprimé ;
- injections de ciment depuis le tunnel ;
- séchage des injections de ciment ;
- injections chimiques ;
- séchage des injections chimiques ;
- excavation et coulage du pré-revêtement en béton projeté ;
- coulage du revêtement interne en béton ;
- coulage de la voûte convexe en béton.

Pour chaque mètre cube de terrain à consolider on a injecté en moyenne :

- 12 % de mélanges de ciment ;
- 15 % de mélanges chimiques.

Les installations de dosage des mélanges et d'alimentation des tubes à soupapes ont toutes été automatisées.

Les mélanges des injections ont été ainsi dosés

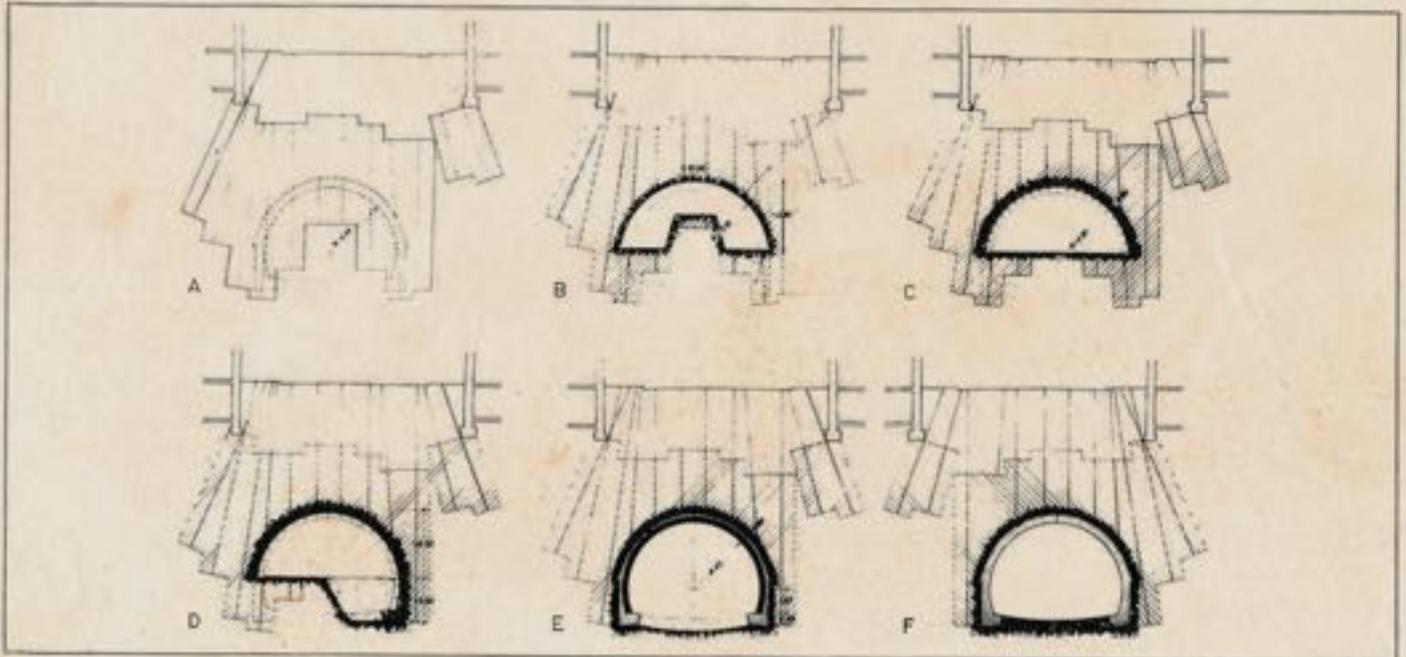
- mélanges de ciment (brevet Rodio) :
 - ciment Pozzolano 325 : 42/50 % (en poids de mélange sec) ;
 - matière inerte Tixocol 58 + 50 % (en poids de mélange sec) ;
 - eau : 150 + 140 litres pour 100 kg de mélange sec ;
- mélanges chimiques :
 - silicate de sodium 38° Baumé : 70 cm³ ;
 - acétate d'éthyle : 5,6 cm³ ;
 - acétate d'isobuthyle : 1,4 cm³ ;
 - eau : 30 cm³.

La résistance moyenne résultant des essais sur des éprouvettes de sable échantillon, avec injections seulement chimiques, a été de 15 kg/cm² après 15 jours de séchage.

La viscosité du mélange chimique au cours de l'emploi a été de 20 cP à la température de 20 + 24°.

Dans le terrain consolidé on a également fait des essais pressiométriques dans des sondages de la façon suivante :

- perforation à sec avec un appareil rotatif de 55 mm de diamètre ;
- remplissage du trou avec du mortier monogranulaire mélangé à une solution de silicate de sodium composée de :
 - silicate de sodium 38° Baumé : 50 % (pour 1 l de solution) ;
 - eau : 45 % (pour 1 l de solution) ;
 - réactif : 5 % (pour 1 l de solution) ;
- nouvelle perforation du trou après 20 heures avec une tige de 55 mm de diamètre.



Grâce à ce procédé les parois du trou se sont révélées aptes à une épreuve avec le pressiomètre Ménard : les diagrammes des résultats sont reproduits sur la figure 8.

Le module pressiométrique du terrain injecté est environ $1\,500 \rightarrow 2\,000 \text{ kg/cm}^2$ alors que celui du terrain naturel est évalué à $650 \rightarrow 700 \text{ kg/cm}^2$.

On a installé de nombreux points de repère pour les nivellements de précision afin de vérifier les tassements du terrain pendant les travaux.

Le béton projeté a été fait avec 450 kg de ciment ferrugineux-pozzolanique, superventilé 425 par mètre cube de mélange sec de matière inerte ; les matières inertes ont été dosées selon les granulométries suivantes :

- sable jusqu'à 3 mm : 35 % (en poids) ;
- sable de 3 à 7 mm : 25 % (en poids) ;
- petit gravier de 7 à 15 mm : 40 % (en poids).

L'additif employé est la « Sigunite » suivant la proportion de 4 % en poids de ciment pour la calotte et de 3 % pour les piedroits.

Les lances d'injections sont identiques à celles employées pour les mélanges secs.

Les travaux du 8^e lot (station Moscova) et du 9^e lot ont été adjugés à l'entreprise Quadrio Curzio et à l'entreprise Soconet qui effectuent les travaux de consolidation du terrain avec leur propre personnel.

Les travaux du 10^e lot (entrée Castello Sforzesco) ont été adjugés à l'entreprise Massimo Costa.

Ces travaux sont actuellement en cours de développement.

4 STABILITE

La stabilité des structures a été étudiée selon les concepts fondamentaux suivants :

1. provisoirement le revêtement en béton projeté a été contrôlé du point de vue statique pour déterminer s'il supportait tous les poids permanents intéressant le terrain situé au-dessus compte tenu de la contribution importante de poussées passives apportées à la suite de la consolidation du terrain qui avait été faite ;

2. en définitive, vu le manque de connaissances plus approfondies sur le comportement de la consolidation du terrain pour un temps indéfini on a établi que la structure résultant de la solidarisation du revêtement externe avec celui interne était en condition

Fig. 8 Phases de la construction d'une galerie de moins de 50 m de diamètre : A : injections de consolidation du terrain ; B : début de reprises de l'avancement-fouille à la ciel de voûte ; C : pose des cintres de voûte, coulé du revêtement extérieur en béton projeté ; D : fouille et pose alternées des piedroits, cintre par cintre. Coulé du revêtement en béton projeté ; E : coulé du revêtement intérieur à l'aide de coffrages montés sur rails ; F : coulé du radier.

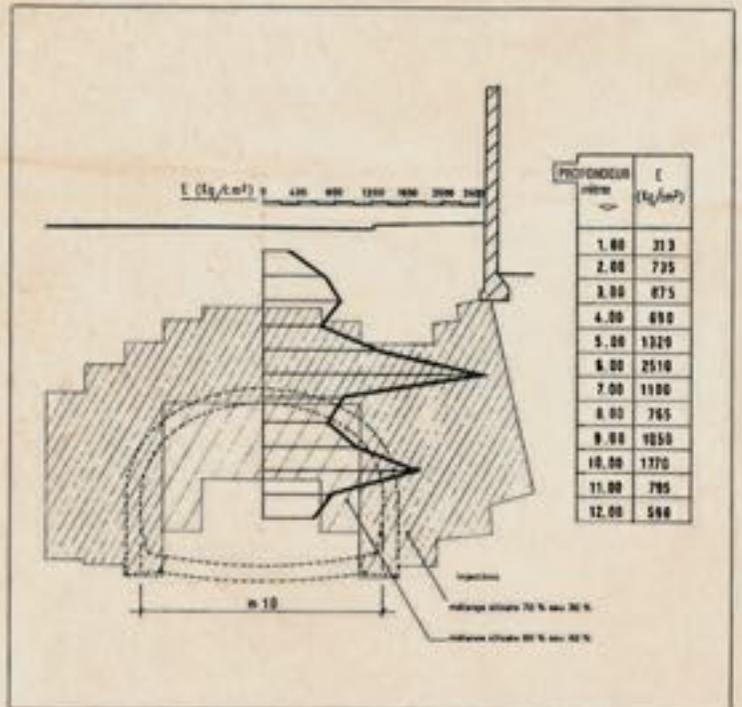


Fig. 9 Mesures pressiométriques.

de supporter, suivant les critères normaux de sécurité, tous les poids permanents et accidentels possibles qui jouent sur le terrain situé au-dessus avec une contribution des poussées latérales définies par le régime limite des actions actives compte tenu des nombreuses possibilités de réduction de l'état de cohésion du terrain suivant les événements successifs à la construction et pour l'instant contrôlables ou définissables sur le plan juridique.

5 EXPERIENCES ACQUISES PENDANT LES TRAVAUX DU 7^e LOT

Pour le tronçon déjà construit de la place du 25-Avril à Largo La Foppe, l'expérience a montré :

1. la validité absolue du procédé employé, en tenant compte que les mesures effectuées sont celles indiquées dans les figures, donc des entités entièrement compatibles avec les problèmes à résoudre ;
2. l'exécution des galeries de diamètre supérieur à 10 m en effectuant d'abord le piedroit et ensuite la calotte au lieu de la calotte d'abord et ensuite le piedroit, comme pour les galeries de diamètre inférieur, a permis de maintenir les tassements du terrain en surface et des immeubles parmi des valeurs très tolérables.
3. les consolidations faites depuis la surface ont été très rapides et ont donné de très bons résultats surtout grâce à l'emploi de machines à perforer à air comprimé et à l'injection à l'aide de tubes du type « valves continues » ;
4. les consolidations faites à partir des tunnels pilotes ont donné de très bons résultats, mais l'avan-

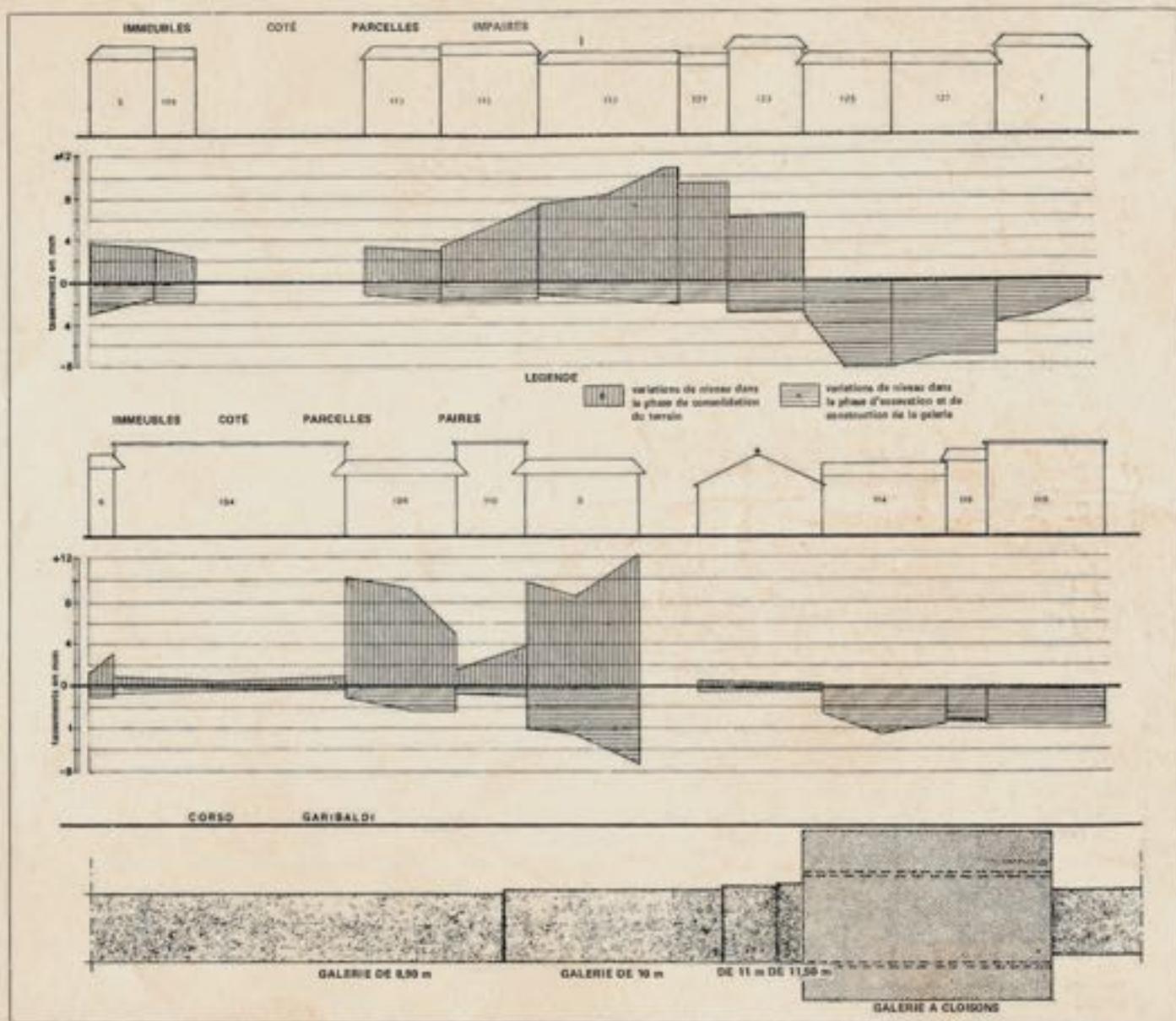


Fig. 10 - Mesures de précision pour la contrainte des immeubles.

cement des travaux a été limité à cause de la discontinuité du travail. C'est donc clair que dans ce cas il convient d'avoir plusieurs fronts d'attaque afin d'obtenir une vitesse d'avancement plus grande et d'aboutir à des cycles de travail continus grâce à une meilleure organisation de celui-ci ;

5. la phase de consolidation du terrain est très délicate, spécialement pendant l'injection des mélan-

ges de ciment, car des soulèvements imprévus, même des constructions, peuvent se produire si les pressions d'injection ne sont pas suffisamment maîtrisées. Dans ce cas les machines capables de limiter automatiquement la pression à la sortie de la pompe à 20 atm en changeant la vitesse d'introduction en conséquence, afin de tenir constante la quantité de mélange à injecter établie par rapport à l'indice des vides du terrain se sont révélées très utiles.

Les travaux ont été conduits par la M.M.S.p.A. en tant que concessionnaire de la municipalité de Milan, par l'entremise de sa propre direction des travaux. Les bureaux techniques de la M.M.S.p.A. ont également effectué avec leur propre personnel le projet d'exécution des structures, les contrôles des tassements de terrain, les mesures statiques, la coordination des services publics de surface et de sous-sol concernés par les travaux.

**Ensemble,
allons plus loin !**



Solide et fiable, le Groupe SMA est le premier assureur des acteurs du BTP ; ses experts vous accompagnent à chaque instant grâce à des solutions adaptées à vos enjeux.

L'écoute, la proximité et la réactivité sont les atouts qui nous permettent de répondre exactement à vos besoins.

Chaque jour, nous développons des solutions innovantes pour, ensemble, aller plus loin.



SMA BTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

www.groupe-sma.fr

SMA

SMA VIE

SMA ASSURANCES

SMA COURTAGE

SMA VIE COURTAGE