

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

VILLE ET PATRIMOINE. LA PRESQU'ILE DE GRENOBLE. EXO-STRUCTURE DE RENFORCEMENT DU PONT AERONAUTIQUE N°2 A ORLY. REPRISE EN SOUS-CŒUVRE PAR JET GROUTING DU CHATEAU DE VILLERS-COTTERETS. NOUVEAU SIEGE DU MONDE. NOUVEAU CENTRAL COUVERT POUR LE STADE ROLAND GARROS. LE PONT RAIL DU CANAL SAINT-DENIS. LA MODERNISATION DE LA VENTILATION AU TUNNEL DU FREJUS. LES TRESORS DE NOS ARCHIVES : REHABILITATION DE L'ILOT EDOUARD VII - FONDATIONS

N° 968 AVRIL/MAI 2021



NOUVEAU SIÈGE
DU MONDE
© JARED CHILSKI
PHOTOGRAPHY

LES TRAVAUX
PUBLICS FEDERATION
NATIONALE



Think steel first!*

Digue de Fouchy - Troyes | *Pensez acier

ArcelorMittal Palplanches

Des solutions innovantes et durables

Réduisez l'impact environnemental de vos projets avec les palplanches acier **EcoSheetPile™ Plus**, produites à partir d'acier 100% recyclé et avec 100% d'électricité renouvelable. Le label **EcoSheetPile™ Plus** s'intègre à la marque **XCarb™ de sources recyclées et renouvelables** d'ArcelorMittal, audité et certifiée de manière indépendante.

ArcelorMittal est le premier producteur de palplanches acier au monde à avoir élaboré une Analyse du Cycle de Vie (ACV), et ambitionne la neutralité carbone d'ici à 2050.

Toutes nos palplanches sont couvertes par une Déclaration Environnementale de Produit (DEP) qui permet d'évaluer précisément leur impact environnemental.

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
Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard
Datry (Setec), Olivier de Vriendt
(Spie Batignolles), Denis Etienne
(Bouygues), Philippe Gotteland (Fnfp),
Florent Imbert (Razel-Bec),
Nicolas Law de Lauriston (Vinci),
Romain Léonard (Demathieu Bard),
Claude Le Quéré (Egis), Véronique
Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau
(Soletanche Bachy), Jacques Robert
(Arcadis), Claude Servant (Eiffage),
Nastaran Vivian (Artelia),
Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente

Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Edouard 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
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée

Com'1 évidence
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
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).

Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
ISSN 0041-1906

ENVIRONNEMENTAL RIME AVEC PATRIMONIAL



© LÉON PROST

Si hier encore patrimoine rimait avec vieilles
pierres, aujourd'hui patrimonial rime avec envi-
ronnemental.

Pourquoi ? Tout simplement parce que le patrimoine,
c'est ce qui dure, ce que les générations se sont trans-
mis au fil des siècles. Quoi de plus durable en effet,
qu'un bâtiment de deux cents ans d'âge, résultant d'un
choix de matériaux adaptés, d'un soin attentif porté à
sa construction comme à son entretien, ledit bâtiment
ayant démontré sa capacité à évoluer en fonction des
usages et des techniques comme à accueillir de nou-
veaux programmes. La pérennité de ces édifices qui
ont résisté à l'épreuve du temps est le plus souvent
le fruit d'une économie de moyens, toujours une leçon
d'intelligence constructive.

À l'heure où le bio-mimétisme est devenue une source
d'inspiration reconnue, la paléo-inspiration est en passe
de devenir son pendant. En s'intéressant, par exemple,
au secret des bétons à la mer employés par les Romains
durant l'Antiquité, dont certains ouvrages sont parvenus
jusqu'à nous, les scientifiques du CNRS comme d'autres
institutions universitaires internationales ont ouvert
la voie. Il est grand temps que le patrimoine soit à son
tour appréhendé comme un réservoir d'expériences.

En finir avec la logique de la table rase...

Néanmoins la démolition est encore aujourd'hui trop
souvent considérée comme la plus simple des réponses
aux questions posées par l'adaptation d'un bâtiment.
J'en veux pour preuve les cas de la Butte rouge à Cha-
tenay-Malabry et de la glacière de Keroman à Lorient ;
deux magnifiques exemples d'un patrimoine bâti
aujourd'hui centenaire et pourtant menacé de démolition.

Rien ne saurait plus justifier la démolition systématique,
comme on l'a connue et pratiquée au cours du
XX^e siècle, sous l'influence conjuguée du modernisme
et d'une foi quasi aveugle dans le progrès, parfois
contrainte et forcée comme à l'issue des deux conflits
mondiaux. Il faut en finir avec cette logique de la table
rase. Avec l'épuisement progressif des ressources natu-
relles, l'explosion de la production de CO₂, le dérègle-
ment climatique, la démolition relève de l'anachro-
nisme : dans l'immense majorité des cas, démolir ne
devrait plus être une option aujourd'hui.

Comme avec l'obsolescence de l'architecture

À la charnière des XX^e et XXI^e siècles, un incroyable
renversement de perspective s'est opéré. Alors que
l'espérance de vie de l'être humain s'est considéra-
blement accrue grâce aux progrès de la science, celle de
nos constructions s'est trouvée réduite sous l'impact de
la réglementation de la construction et des conditions
de l'assurance : la durée de vie d'un bâtiment devenant
de fait plus courte que celle d'un être humain.

Considéré par certains comme un bien de consom-
mation comme les autres, qualifiant le logement et le
bureau de produits, l'obsolescence programmée a tou-
ché à son tour l'architecture. Un bien comme les autres,
à cette différence près que son impact écologique est
l'un des plus considérables qui soit et que la posture,
irrecevable sur le fond, n'est aujourd'hui plus tenable
d'un point de vue environnemental !

S'adapter est et a toujours été l'une des clés de la lon-
gévité, qu'il s'agisse de l'espèce humaine ou de l'archi-
tecture. Aujourd'hui, à l'évidence un cycle s'achève, et
il nous incombe de renouer au plus vite avec l'art de la
transformation et l'économie de moyens qui ont pendant
des millénaires été l'essence même de la pratique de
l'architecture.

PHILIPPE PROST

ARCHITECTE, URBANISTE ET PROFESSEUR
À L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE
DE PARIS-BELLEVILLE

VILLE



PATRIMOINE

LA PRESQU'ILE DE GRENOBLE EN PLEINE MUTATION © INNOVIA



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
LAURENT CALVALIDO**

RÉGION ÎLE-DE-FRANCE -
LA RÉVOLUTION DES TRANSPORTS
EST EN MARCHÉ

22 RESALIENCE -
**RENFORCER LA RÉSILIENCE DES VILLES ET
DES TERRITOIRES AUX ALÉAS CLIMATIQUES**



32

**LA PRESQU'ÎLE
DE GRENOBLE
EN PLEINE MUTATION**



38

**UNE EXO-STRUCTURE
EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ**

pour renforcer le pont
aéronautique n°2 à Orly



46

**REPRISE EN SOUS-ŒUVRE
PAR JET GROUTING**

du château de Villers-Cotterêts



52

**NOUVEAU SIÈGE
DU GROUPE LE MONDE**

un immeuble-pont pixélisé



58

**UN NOUVEAU
CENTRAL COUVERT**

pour le stade Roland Garros



66

**LE PONT RAIL
CANAL SAINT-DENIS**

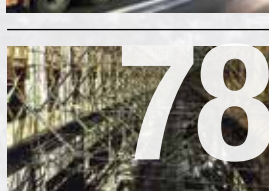
Un ouvrage en finesse de
la conception à la réalisation



72

**À MI-PARCOURS
DE LA MODERNISATION
DE LA VENTILATION**

au tunnel du Fréjus



78

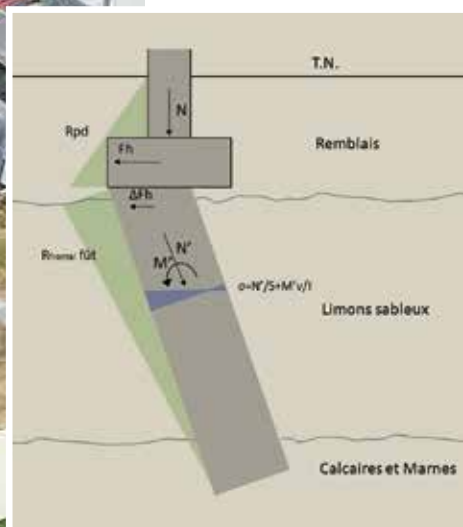
**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
RÉHABILITATION DE L'ÎLOT
ÉDOUARD VII - FONDATIONS**

Travaux n°725 - Novembre 1996



JET GROUTING AU CHÂTEAU DE VILLERS- COTTERÊTS FRANÇOIS I^{er} S'EST RÉTOURNÉ DANS SA TOMBE

Soletanche Bachy France, en groupement avec Bati-Idf, a renforcé en sous-œuvre par jet-grouting les fondations anciennes et réalisé des fondations nouvelles par micropieux sur le château de Villers-Cotterêts destiné à accueillir la future Cité Internationale de la Langue Française. C'est dans ce château, bâti par François I^{er} entre 1532 et 1556, qu'a été signé en 1539 le fameux traité de Villers-Cotterêts qui établit l'utilisation de la langue française dans les actes légaux et notariés. Ses articles 110 et 111, toujours en vigueur, auraient dû contraindre à trouver un nom français pour qualifier la technique du jet grouting utilisée. (Voir article page 46).



© SOLETANCHE BACHY

© CÉDRIC HELSLY

LE CENTRE NATIONAL DES ARTS PLASTIQUES À PANTIN FIN 2023

Le Centre national des arts plastiques déménage dans un bâtiment des années 1960 métamorphosé et conforté pour recevoir des stocks d'œuvres d'art.



Le bâtiment des années 1960 (ici en février) a abrité une usine d'embouteillage puis un entrepôt, à Pantin (Seine-Saint-Denis).

Le Centre national des arts plastiques (CNAP) sera relogé en 2023-2024 sur un seul site, à Pantin (Seine-Saint-Denis), au lieu de deux actuellement, à la Défense (3 700 m² sous dalle) et à Saint-Ouen-l'Aumône (Val-d'Oise, 10 000 m²). Le centre qui soutient et promeut la création contemporaine, abrite 90 000 œuvres d'art.

La nouvelle implantation mettra à disposition 25 600 m² de stockage, bureaux, espaces d'accueil, ateliers de traitement des œuvres, etc. La surface sera à partager avec les réserves du Mobilier national (mobilier officiel depuis le 17^e siècle). Le site a abrité une usine d'embouteillage avant d'être converti en entrepôt. Inoccupé, il a été acquis par l'État en

2017. La direction générale de la création artistique du ministère de la Culture a délégué la maîtrise d'ouvrage à l'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la culture (Oppic).

→ Comblant les vides du sous-sol

Le bâtiment qui date des années 1960, est curé, désamianté et déplombé par ATD, d'octobre 2020 à juin 2021. L'ancienne façade de bureaux est démolie ainsi que des logements et des quais de déchargement.

Son assise doit être confortée afin de supporter les futures charges. Des vides issus de la dissolution naturelle du gypse antéludien, ont été repérés jusqu'à 25 m de profondeur. Ils sont comblés par des injections gravitaires, opération réalisée par Soletanche Bachy France. Les 400 forages à des profondeurs entre 18 et 23 m devaient se terminer fin mars. Ils ont eu lieu en même temps que les démolitions et curages. Afin de respecter les délais, quatre foreuses ont été déployées, deux SM18 pour l'extérieur et deux modèles électriques de petit gabarit dans le sous-sol du bâtiment existant. Au total 10 000 m³ de mortier de comblement et de clavage auront été injectés, avec un maillage de 5 m par 5 au droit du bâti et de 7 m par 7 à l'extérieur. La maîtrise d'œuvre du projet a été

confiée à une équipe conduite par Bruther, architecte, et Data, associé, avec les bureaux d'études Inex (fluides), Bati-serf (structure), Gamba (acoustique), et BMF Conseil (économie de la construction).

La réhabilitation-reconstruction débute à la mi-2021 pour vingt-six mois (fin 2023).

→ Installation classée

À noter que le CNAP est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) du fait des masses combustibles stockées. Ce qui impose des distances entre bâtiments et limite les extensions sur la réserve foncière de 1 000 m², en fond de la parcelle.

Le Centre se situe au nord-ouest de Pantin, dans le périmètre du futur éco-quartier de la gare RER Pantin-4 chemins. ■



Le nouveau bâtiment se déploie sur 25 600 m².

LA PRISON DES BAUMETTES ENTIÈREMENT RECONSTRUITE EN 2024

Il faudra une douzaine d'années pour transformer la maison d'arrêt des Baumettes (Bouches-du-Rhône) en un établissement moderne et plus vivable pour les détenus.

La dernière phase démarre cet été et doit se terminer fin 2024. Elle a été confiée à Eiffage Construction Sud-Est en groupement de conception-réalisation avec Groupe 6 et WTF/A, architectes, et Inddigo, WSP France et CS Ingénierie, bureaux d'études.

La prison, qui abritait 1 600 détenus jusqu'en 2018, a été construite dans les années 1930 au sud-est de Marseille, le long des Calanques, relief accidenté. Elle est installée sur d'anciennes carrières et adossée à une falaise calcaire. La parcelle couvre à peine 9 hectares. L'opération a été découpée en deux de

façon à ne pas interrompre l'activité de la maison d'arrêt.

→ En plusieurs étapes

Les premiers travaux pour libérer la parcelle au sud (4,7 ha) ont commencé en 2012. Les détenus ont été déplacés dans la partie nord. D'anciens bâtiments ont été détruits en 2013 et 45 000 m² de plancher ont été reconstruits. Ils accueillent depuis 2017-2018, 573 détenus dont 174 femmes, des espaces d'accueil et des sanitaires. Vinci Construction/Les travaux du Midi avaient remporté ces lots. La conception architecturale était attribuée à Archi5prod avec Bernard Guillien.

Afin de poursuivre la reconstruction sur la parcelle nord (4,2 ha), une partie des détenus qui y vivaient, ont été déplacés en 2018 dans les établissements de



Cinq quartiers vont être construits (bâtiments blancs) sur la parcelle nord, dernière phase de la reconstruction des Baumettes (Bouches-du-Rhône).

Draguignan (Var) et d'Aix-en-Provence/Luynes (Bouches-du-Rhône).

→ Dernière phase :

90 millions d'euros

Ainsi, en 2024, la maison d'arrêt des Baumettes disposera-t-elle de 1313 places avec des espaces de formation, des terrains de sport, et un théâtre.

En attendant, de l'été 2021 à l'été 2022, Eiffage Génie Civil démolit les bâtiments de la parcelle nord sur laquelle le groupement, conduit par Eiffage Construction, va réaliser cinq quartiers d'hébergement (30 000 m²). Un marché de 90 millions dont 87 pour Eiffage (montant total de la reconstruction non communiqué). ■



La protection
de l'ensemble
de vos projets
immobiliers

Globale Maître D'ouvrage

**Promoteurs immobiliers,
investisseurs, collectivités territoriales,
maîtres d'ouvrage publics ou privés,
sécurisez votre activité de manière
innovante grâce à notre contrat
GLOBALE MAÎTRE D'OUVRAGE.**

Retrouvez toutes
nos solutions
d'assurance sur
www.auxiliaire.fr

l'Auxiliaire
Entreprendre avec assurance

50, cours Franklin Roosevelt - BP 6402 - 69413 Lyon cedex 06
Tél : 04 72 74 52 52 - auxiliaire@auxiliaire.fr

Siret 77564905600014 - Code APE 6512 Z
Entreprise régie par le code des assurances - Société d'assurance mutuelle à cotisations variables
Société d'assurance exonérée de plein droit de la TVA (article 261 C. 2° Du C.G.I.)

2020 : TRANSPORT FLUVIAL EN BAISSÉ

Le transport fluvial de marchandises est descendu en 2020 à son niveau de 2018. Par rapport à 2019, il accuse une baisse de 10,6% en volume à 50,4 millions de tonnes transportées, et de 11,5% en tonnes x kilomètres à 6,5 milliards, selon Voies navigables de France.

En passant outre les mois de confinement (mars, avril, mai 2020), la chute se radoucit à -5% en tonnes-kilomètres. Le transport de matériaux de construction (chantiers à l'arrêt) et de minerais pour la métallurgie (baisse des importations) a particulièrement souffert.

Selon les régions, les produits agricoles ont sauvé ou non le transport, certaines ayant de très bonnes récoltes comme les Hauts-de-France qui ont aussi bénéficié d'importations supérieures de produits pétroliers et de la nouvelle ligne de conteneurs entre Béthune (Pas-de-Calais) et Santes (Nord).

Sur la Seine, trafic agricole stable. Les matériaux de construction ont bien repris fin 2020.

L'axe rhénan a aussi transporté davantage de pétrole mais le secteur a connu de mauvaises récoltes.

Les bateaux circulant sur le bassin mosellan ont accueilli plus de matériaux de construction (ciment et sable) mais moins de produits agricoles venant d'Allemagne et des Pays-Bas.

Enfin, le bassin Rhône-Saône accuse une baisse de 20% due en partie à la fermeture d'une écluse de mi-février à fin mars.



Le transport fluvial de marchandises est revenu à son niveau de 2018.

© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE/2010

VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

INFRASTRUCTURES FLUVIALES : 300 MILLIONS D'EUROS EN 2021 ET EN 2022



© VNF/DIRECTION TERRITORIALE NORD/PAS-DE-CALAIS

Les travaux pour allonger l'écluse de Quesnoy-sur-Deûle (Nord) de 110 à 144 m, commencent cette année.

2021 et 2022 devraient être de bonnes années pour Voies navigables de France (VNF). Le gestionnaire de 6 700 km de voies d'eau, 4 000 ouvrages d'art et 40 000 ha dispose de 300 millions d'euros par an contre 220 millions en 2020 et 170 millions, en 2019. Ces hausses proviennent de plusieurs sources.

L'État consacre plus d'argent au fluvial à travers l'Agence de financement des infrastructures de transport de France (Afitf) et grâce au plan France Relance (175 millions sur deux ans). Les collectivités et l'Union européenne apportent aussi leur écot.

Les investissements viennent soutenir le transport fluvial, bénéficient à la biodiversité, à la gestion des eaux et concourent à l'aménagement du territoire.

Les travaux ne manquent pas. Citons le démarrage de l'allongement de 110 m à 144 m de l'écluse de Quesnoy-sur-Deûle (Nord), à 14 km au nord de Lille, sur le tracé de la liaison Seine-Escaut. Budget total : 34 millions d'euros.

Les écluses de Gambenheim sur le Rhin, à 20 km au nord-est de Strasbourg (Bas-Rhin), recevront 32 millions. D'autres écluses sont au programme : Vives-Eaux à Boissise-le-Roi (Seine-et-Marne) et Nourriguier à Beaucaire (Gard).

→ Une centaine de projets en 2022

Les 300 millions d'euros prévus également en 2022 contribueront à une centaine de projets. Les fonds du plan de relance iront au développement du transport et de la logistique, à la plaisance, à la gestion hydraulique, aux ouvrages et à la biodiversité. Sans oublier le déploiement de la fibre optique pour les usagers du réseau fluvial, la surveillance, l'automatisation ou la télé-conduite d'ouvrages. ■

UNE BOURSE D'AFFRÈTEMENT REMISE EN ÉTAT

La bourse d'affrètement de Conflans-Sainte-Honorine (Yvelines) va être remise en état à l'identique et en conformité avec les normes actuelles.

Le bâtiment, propriété de Voies navigables de France, abritait une sorte d' amphithéâtre où marinières à la recherche d'un chargement et offreurs de marchandises faisaient affaire ou non. Construite en 1958, la bourse s'est arrêtée de fonctionner en 2000. Depuis 2016, elle servait de foyer à des Tibétains qui vont être relogés.

Depuis 2019, le bâtiment en béton brut des frères Xavier et Luc Arsène-Henry, est répertorié à l'inventaire général du patrimoine culturel de la région Île-de-France.

Sa rénovation bénéficie de 292 000 euros de la Mission patrimoine versés à la fin des travaux par la Fondation de France. La remise en état est estimée à 1,4 million d'euros dont 1,15 pour le bâti.

L'édifice est fragilisé, avec des fissurations. Le plancher de la bourse s'est affaissé, l'ensemble s'est légèrement enfoncé. Les causes des désordres doivent être déterminées par la maîtrise d'œuvre en cours de nomination début mars.

→ À protéger des crues

L'emplacement, au confluent de la Seine et de l'Oise, est inondable. Une partie

de la construction est déjà sur pilotis. Le bureau d'études technique devra répondre aux exigences actuelles de protection contre les crues. Selon VNF, les locaux en rez-de-jardin pourraient être clos par une porte étanche. Un cheminement de secours extérieur donnerait accès par tous les temps à ce qui va devenir le siège de l'unité territoriale Bassin de la Seine. ■



© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

L'édifice en béton de 1958, au confluent de la Seine et de l'Oise, a souffert. Ici, sa façade nord-est sur pilotis.

RÉGION SUD : RÉGÉNÉRATION FERRÉE ET DÉCONGESTION ROUTIÈRE



Travaux de confortement d'un mur à arcatures à Fontan (Alpes-Maritimes) suite à la tempête Alex d'octobre.

© SNCF RÉSEAU/DT PROVENCE/ALPES/CÔTE-D'AZUR

Un protocole d'accord a été signé le 22 février entre l'État, la région Sud (ex-Paca) et la SNCF pour fixer les

besoins de régénération de 435 km de lignes de desserte fine et le partage financier.

RISQUES NATURELS : 205 MILLIONS D'EUROS PAR AN POUR PROTÉGER L'HABITAT



Les mesures de protection de l'habitat contre les inondations peuvent être aidées. Ici, inondation à Condren (Aisne).

© LAURENT MIGNAUX/TERRA 2017

Face à l'intensification des phénomènes naturels et leur plus grande fréquence, le ministère de la Transition écologique a fait savoir le 19 février qu'il augmentait de 50 % les moyens consacrés à la prévention de ces risques, ce qui représente désormais 205 millions d'euros par an. À titre expérimental, les travaux de reconstruction d'habitations suite à la tempête Alex dans les Alpes-Maritimes seront soutenus à condition de ne pas reconstruire à l'identique mais avec des dispositifs de protection comme une pièce refuge ou un rehaussement des compteurs électriques.

→ Accélérer les Papi

D'une façon générale, les travaux de réduction de la vulnérabilité de l'habitat

aux risques naturels pourront être subventionnés à 80 %.

Du côté des collectivités locales, l'État veut accélérer les programmes d'actions pour la prévention des inondations. S'ils ne dépassent pas 20 millions d'euros, ils peuvent être validés à l'échelle locale. Le maximum des aides à l'animation d'un Papi est porté à 65 000 euros par an contre 24 000 auparavant. Ces aides sont déployées dès la déclaration d'intention du porteur de projet.

→ Urgence digues

En cas d'urgence, des digues peuvent être reconstruites grâce à une procédure administrative spécifique prévue dans la loi d'accélération et de simplification de l'action publique (n°2020-1525). ■

La convention concerne cinq petites lignes : partie française de Cuneo/Ventimille ; Côte bleue entre Marseille et Miramas ; Valence/Beaurières/Briançon ; Grenoble/Lus/La-Croix-Haute/Aix-en-Provence ; Nice/Breil-sur-Roya.

→ 580 millions sur dix ans

Le montant des travaux a été estimé à 580 millions d'euros sur dix ans. Un complément sera accordé de façon à inclure le tronçon de Breil-sur-Roya à Tende (Alpes-Maritimes) fortement endommagé par la tempête Alex, le 2 octobre 2020. Les travaux d'urgence ont déjà commencé sur cette ligne.

Le protocole sera suivi d'accords de financement plus précis dans le cadre d'un contrat de plan État-Région et de contractualisation sur les infrastructures à partir de 2023.

→ 460 millions aux nœuds routiers

Le même jour, le ministre des Transports, Jean-Baptiste Djebbari, a signé une autre convention, cette fois en faveur du réseau routier. Il s'agit de supprimer des points de congestion dans la région, en particulier à Sophia-Antipolis (Alpes-Maritimes), Luc (Var) et Orange (Vaucluse). Ainsi 460 millions de travaux - en 13 projets dont des échangeurs routiers - seront-ils répartis entre l'État, la Région, les départements et Vinci Autoroutes. ■

TRAVAUX SOUS ROUTE BARRÉE

Les travaux sous circulation sont source de heurts entre le personnel et les véhicules, et de danger pour les usagers. Ils allongent la durée des chantiers et en augmentent le coût.

Les mesures de prévention ne suffisent pas. Le risque qu'un ouvrier soit percuté reste élevé selon Routes de France et l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBT) qui recommande de barrer systématiquement les routes en cas de travaux.

Ils lancent ce printemps une campagne de sensibilisation et de formation des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre afin qu'ils incluent cette exigence dans les projets.



Route barrée à Chartres (Eure-et-Loir).

© BT

PARC ÉOLIEN AU LARGE DU COTENTIN

Le parc éolien en mer de 1 GW au large du Cotentin a été lancé par la ministre de la Transition écologique début décembre, suite au débat public (novembre 2019-août 2020, 2 700 participants) tenu selon les modalités de la loi pour un État au service d'une société de confiance (2018). Un garant s'assurera que les questions soulevées trouveront réponse. Une instance de dialogue fonctionnera durant toute la vie du parc. À été retenue une zone située à 40 km des tours-observatoires Vauban à Saint-Vaast-la-Hougue (Manche) et à 32 km des côtes.

La mise en concurrence pour un développeur et les études environnementales a commencé.

2300 POINTS DE RECHARGE

Total a remporté en novembre la gestion pour dix ans du réseau public de stations de recharge électrique de véhicules à Paris, sur voirie et dans 10 parkings souterrains. Cela correspond aux réseaux Béliib' et Autolib'.

Il a confié à Egis la maîtrise d'œuvre de conception et réalisation des bornes qui viendront remplacer celles d'Autolib', et d'autres en supplément.

Au total, à fin 2021, 2 300 points de recharge auront été installés ou rééquipés dont 80 en parking. Le nouveau Béliib' de Total comprendra 341 stations.



Station ex-Autolib' à Paris.

EGIS MAJORITAIRE DANS CPMS

Egis a pris une participation majoritaire dans le capital de l'entreprise britannique CPMS Topco et de sa branche opérationnelle Collaborative Project Management Services (CPMS), le 5 février.

CPMS, basée à Londres (Angleterre), est spécialisée dans le management de projets d'ingénierie et de construction, la sécurité, les assurances, le développement durable et l'environnement.

DIGUE FLUVIALE COMPENSÉE PAR UN BRAS MORT



La digue se situe à près de 2 km des berges du Rhône devant un remblai ferroviaire.

Une digue de 10 km a été construite de 2018 à mars 2021 pour protéger la population des crues du Rhône entre Arles et Tarascon (Bouches-du-Rhône). Elle se situe à près de 2 km des berges, parallèlement à un remblai ferroviaire qui faisait office de digue. La distance avec le fleuve délimite une zone d'expansion inondable.

La digue comporte deux parties, selon le Syndicat mixte interrégional d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la Mer (Symadrem), maître d'ouvrage⁽¹⁾. La première moitié résiste à la surverse

(déversement d'eau en provenance du fleuve). En plus du remblai classique en terre compactée, la paroi côté zone à protéger a été enrochée puis bétonnée afin d'éviter toute brèche si le débit d'une crue est supérieur à celui d'une crue centennale (11 500 m³/s). La seconde moitié est calée 50 cm au-dessus des niveaux atteints par une crue millénaire (14 160 m³/s).

Cet ouvrage est associé à l'extraction de 500 000 m³ de sédiments fluviaux et à une îlône sur la berge du Rhône, dans la partie inondable. Pour créer ce bras mort

artificiel, un champ a été excavé sur 4 m de profondeur, 70 m de large et 3 km de long. Les déblais - 600 000 m³ de matériaux limoneux étanches - ont servi à élever la digue.

→ Programme contre les crues

La îlône est une compensation hydraulique et écologique de la construction de la digue et de l'excavation des matériaux. Elle présente différents profils de berge, des talus verticaux, des mares et autres milieux humides. Des espèces végétales et animales sont réintroduites ou favorisées. Des arbres sont plantés en ligne dont 7 km sur la digue, recréant ainsi un couloir propice à la biodiversité.

Îlône et digue font partie du programme de sécurisation des ouvrages contre les crues du Rhône du Symadrem. Ce programme décline le Plan Rhône décidé suite aux crues de 2003. Il va du barrage de Vallabrègues (Gard) à 7 km au nord de Tarascon jusqu'à la Méditerranée.

→ 65 millions d'euros

Le Symadrem s'est appuyé sur Egis, maître d'œuvre, avec Safège Suez. Coût de l'opération : 65 millions d'euros dont 4 pour la partie environnementale, études comprises. ■

⁽¹⁾ Lettre du Symadrem n°24, février 2021, à lire sur www.symadrem.fr.

EIFFAGE AMÉNAGE DEUX GARES EN SEINE-SAINT-DENIS

Eiffage Construction et Eiffage Énergies Systèmes ont remporté l'aménagement de deux gares du réseau du Grand Paris Express (GPE), en Seine-Saint-Denis.

La gare du Blanc-Mesnil sur la Ligne 16 (Saint-Denis-Pleyel/Noisy-Champs) disposera de lumière naturelle. « D'une surface utile de 5 600 m², la gare imaginée par le cabinet Berranger & Vincent Architectes et construite par Eiffage Construction, s'inspire des serres horticoles et des kiosques de jardin public, indique un communiqué. La lumière qui parviendra jusqu'aux quais sera filtrée par des ombrières en bois. »

→ Façade et toiture végétalisées

La gare de la Courmeuve est un peu plus vaste avec 6 263 m². Elle se situe dans le quartier des Six routes, au carrefour

des Lignes 16 et 17 du GPE qui ont un tronçon commun de Saint-Denis-Pleyel au Bourget, et du tramway T1. Conçue par l'agence d'architecture Chartier Dalix, elle sera reconnaissable par sa façade et sa toiture végétalisées. Dans les deux cas, les filiales d'Eiffage

sont chargées de l'aménagement tous corps d'état, des ouvrages de service et supervisent l'installation des équipements techniques.

Montant du marché : près de 97 millions d'euros. Mise en service des deux gares : 2024. ■



La lumière naturelle descend jusqu'aux quais au Blanc-Mesnil (Seine-Saint-Denis).

NOUVEAU SITE
PRÉVENTIONBTP.fr

“ PARCE
QUE LA
SECURITÉ
DE MON
EQUIPE
PASSE
AVANT TOUT ”

Mon réflexe, c'est preventionbtp.fr et ma réponse est trouvée : sûre, rapide et adaptée aux spécificités de mon métier. Pour tout ce qui concerne la sécurité et l'organisation de la prévention dans mon entreprise, je profite de solutions immédiates que je peux facilement mettre en œuvre sur mon chantier. Avec preventionbtp.fr, on gagne tous à être mieux protégés.

OPPBTP

preventionbtp.fr



EXTENSION DU MÉTRO DE LISBONNE

Le métro de Lisbonne (Portugal) s'étend. La linha verde (ligne verte) devient une boucle par le raccordement de la station de Rato à celle de Cais do Sodré. Sur ce parcours, Mota-Engil (mandataire) a remporté avec Spie Batignolles International le lot 2 : conception-réalisation de la nouvelle station Santos et sa liaison de 670 m avec Cais do Sodré. Montant du marché : 73,5 millions d'euros.

Le tracé est en partie en tunnel réalisé par la New Austrian Tunneling Method, dite aussi Sequential Excavation Method ou encore Sprayed Concrete Lining Method*.

Le métro passe sous un immeuble de 8 étages dont les pieux de fondation devront être relayés par des micropieux.

Les études de conception ont démarré en février, les travaux commencent au 2^d semestre pour se terminer fin 2023.

* Source : Wikipedia.

CRÉATION DE BW IDEOL

Ideol et BW Offshore ont annoncé le 17 février la création d'une société dans laquelle la seconde sera majoritaire. BW Ideol allie le savoir-faire du fournisseur de navires de production, stockage et déchargement en mer, à celui de la spécialiste des fondations flottantes d'éoliennes en mer.

La capacité financière de BW Offshore, dont le siège est en Norvège, devrait accélérer la croissance d'Ideol, selon Paul de la Guérivière, son PDG.

PLACOPLATRE OUVRE UNE CARRIÈRE EN SOUTERRAIN DANS LE VAL-D'OISE



La descendrière de 150 m se compose d'une tranchée recouverte suivie d'un tunnel.

La carrière de gypse de Cormeilles-en-Parisis (Val-d'Oise), exploitée à ciel ouvert depuis 1822, est épuisée et va être remblayée. Placoplâtre, propriétaire des terrains, exploite la carrière et fabrique sur place plâtre et carreaux de plâtre. L'industriel veut poursuivre l'extraction au plus près plutôt que de recourir à un gisement éloigné, ce qui générerait 80 camions par jour sur les routes. Il obtient en 2016-2017 l'autorisation préfectorale d'exploiter dans le voisinage en souterrain pendant trente ans. Les oppositions au projet ont été rejetées définitivement en juin 2020.

La carrière à ciel ouvert occupait 86 ha sur les communes de Cormeilles, Argenteuil, Franconville et Montigny-les-Cor-

meilles. Celle en souterrain se situe au nord-ouest en s'écartant d'Argenteuil, sous les buttes de Paris (500 ha), propriété de la Région.

En 2016, Placoplâtre perce des tunnels dans les talus de la carrière à ciel ouvert pour accéder temporairement à la future carrière souterraine.

Trois couches de gypse se trouvent sous 45 m environ de sables de Fontainebleau et de 25 m de marnes et d'argiles. La 1^{re} masse de gypse, à 70 m sous la surface, mesure 16 m d'épaisseur.

→ Variante

Une descendrière a été réalisée de septembre 2019 à février 2021 afin d'atteindre cette couche géologique. Les travaux ont été confiés à Soletanche

Bachy Tunnels en groupement avec Spie Batignolles Génie Civil et Terrasol. Au lieu d'une tranchée ouverte à l'air libre comme souhaitée par le maître d'ouvrage, Soletanche Bachy a proposé une tranchée couverte de 71 m recouverte de remblais suivie d'un tunnel de 78 m descendant à 20 m de profondeur avec une pente de 10 %.

→ Sous-sol mouvementé

La descendrière démarre sur une ancienne voie périphérique de surface. Elle traverse des terrains hétérogènes avec des passages très décomprimés de plusieurs mètres d'épaisseur, des remblais, terrains remaniés, et différentes marnes et gypses.

Ce sous-sol mouvementé a nécessité différents dispositifs de confortement au fur et à mesure de l'avancement du percement. Le phasage de l'excavation et les procédés de soutènement ont été déterminés grâce au suivi des mouvements du terrain.

→ 5,6 millions d'euros

Le front a été excavé à la pelle hydraulique équipée d'un godet ou d'un brise-roche, sous la protection de voûtes parapluie. Le soutènement se compose de boulons en fibre de verre pour maintenir le front, de cintres en soutien de la voûte et des pieds-droits. Dans les zones déformables, des contre-cintres servent de butons aux cintres de voûte. Le tout est recouvert de béton projeté.

La descendrière a coûté 5,6 millions d'euros. Elle sera utilisée à partir du 2^d semestre 2021. ■



Entrée de la carrière souterraine.

RÉSEAUX DE CHALEUR : PENSER À LA RÉCUPÉRATION ET AU FROID



Circuit de refroidissement du supercalculateur Jean Zay (Idris/CNRS) avant son raccordement au réseau de chaleur de Paris-Saclay.

L'informatique, ça chauffe. Et ça peut réchauffer. Ainsi le supercalculateur de l'Institut du développement et des ressources en informatique scientifique (Idris/CNRS) va-t-il apporter, en 2022, près de 4 000 MWh⁽¹⁾ au réseau de chaleur du Campus urbain, quartier du sud-est de l'opération Paris-Saclay (Essonne). Le supercalculateur, baptisé Jean Zay, installé en 2019-2020, est utilisé par des organismes scientifiques qui ont besoin de calculs intensifs. Il peut effectuer 28 milliards d'opérations par seconde. Il est refroidi par un circuit interne à l'Idris à 34°C. Les calories ainsi prélevées passeront ensuite, grâce à un échangeur, dans la boucle du réseau de chaleur de Paris-Saclay, celui-ci les distribuant alors à d'autres immeubles du quartier. Si le réseau n'a pas besoin de chaleur, le supercalculateur est refroidi par des radiateurs adiabatiques en interne.

Le raccordement coûte 700 000 euros en majorité à la charge de l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay. Selon la dernière étude de l'Agence de la transition écologique sur ces réseaux (octobre 2020), les réseaux de froid sont amenés à se développer aux côtés de ceux de chaleur. Par exemple, en 2022, un réseau de froid et de chaud drainera l'écoquartier Issy-Cœur-de-ville (Hauts-de-Seine). Engie Solutions, opérateur, bénéficiera de 532 000 euros du Fonds chaleur de l'Ademe pour son investissement (montant non public).

→ Avantages des réseaux de froid

Le froid n'est éligible à ce fonds que depuis 2018. Les forages descendent à 35 m dans la nappe phréatique à 15°C. La géothermie contribue plus à la climatisation qu'au chauffage avec respectivement 81 % de la consommation d'éner-

gie et 67 %. Des thermo-frigopompes font l'appoint.

Les réseaux de froid ont de multiples avantages soulignés par l'étude de l'Ademe. La production étant centralisée, ils ont un meilleur rendement énergétique que des climatiseurs autonomes. La chaleur extraite n'est pas rejetée dans l'environnement immédiat, ce qui évite de contribuer aux îlots de chaleur, de multiplier les ventilateurs et le bruit.

L'étude présente les bénéfices socio-économiques et environnementaux des réseaux de froid et de chaleur, et une stratégie et 19 actions pour développer cette filière à 2050.

→ Objectifs très ambitieux

Elle tient compte des objectifs très ambitieux de la programmation pluriannuelle de l'énergie d'avril 2020. Elle estime les bienfaits en termes de bilan carbone, de participation au mix énergétique, d'activité, d'emplois, et d'indépendance énergétique.

Le document entend guider l'État, les collectivités, les entreprises et le grand public vers des réseaux qui utilisent le plus souvent des énergies renouvelables (géothermie et récupération).

En savoir plus :

"Développement des filières réseaux de chaleur et de froid renouvelables en France à horizon 2050" Ademe Expertises, 76 pages, octobre 2020. À télécharger sur : www.ademe.fr/mediatheque. ■

⁽¹⁾ Soit la consommation de chaleur de 1 000 logements neufs.

VÉHICULES HAUTEMENT AUTOMATISÉS

Les véhicules autonomes qui avancent tout seuls ont un agent à bord. Les petits bus testés par la RATP, par exemple, sur 6 km à Vincennes (Val-de-Marne) depuis novembre 2017, ont un opérateur de sécurité (safety driver) et peuvent transporter en temps normal jusqu'à 11 personnes.

Un décret paru le 2 décembre 2020 permet d'expérimenter la circulation sans "accompagnant". De plus, la loi d'orientation des mobilités du 24 décembre 2019 (n°2019-1428) pose le cadre législatif de circulation des véhicules dits "hautement automatisés" au-delà des expérimentations. Les textes d'application n'étaient pas parus début mars. Les transports publics pourront fonctionner sans agent à bord en 2022.

La stratégie de développement de la mobilité routière automatisée publiée le 15 décembre par le Comité ministériel de développement et de l'innovation des transports vise à « faire de la France le lieu privilégié en Europe de déploiement de services de mobilité routière automatisés. »

Parmi les trentaine d'actions prévues, citons l'intensification des travaux sur la validation de la sécurité (à distance), l'élargissement aux moyens de transport de fret et à la logistique, et le renforcement de partenariats européens (rapport Damien Pichereau pour juin).



Arrivée d'une des thermo-frigopompes qui compléteront la chaleur ou le froid géothermique du réseau de l'écoquartier Issy-Cœur-de-ville (Hauts-de-Seine) en 2022.



Véhicule autonome RATP avec opérateur de sécurité à bord, à Vincennes (Val-de-Marne).

SYNTHÈSE SUR LE BIM

L'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrrim) publie une note d'information sur le Bim en infrastructures. La note n°45 de 16 pages, parue en février, émane d'un groupe de travail du comité ingénierie de l'Idrrim. Face à la nécessité de modifier les méthodes de travail dans un environnement Bim qui suppose un travail collaboratif et progressif, la note propose une « expression commune des acteurs des infrastructures de mobilité sur les enjeux et les attentes liées au développement de cette technologie. » La formation et l'appropriation des outils numériques sont essentielles.

www.idrrim.com/publications

OSER LES VARIANTES

Le guide Oser les variantes dans les marchés publics de la Direction des achats de l'État paru en janvier donne méthodes et outils pour intégrer la notion de variantes dans les appels d'offres en amont de la procédure.

Cette ouverture devrait encourager les solutions nouvelles dans les propositions des candidats et stimuler la concurrence. Le document compte 51 pages téléchargeables.

www.economie.gouv.fr/dae (actualité du 14 janvier).

ROCEXS EN JUIN 2022

RocExs, protection aux chutes de roches, colloque initialement prévu du 21 au 24 juin 2021, est reporté du 27 au 30 juin 2022. Il a lieu à Sapporo (Japon).

www.ec-pro.co.jp/rocexs2020

L'ICSMGE DÉBUT MAI 2022

Le 20^e congrès international de mécanique des sols et de géotechnique qui devait se tenir du 12 au 17 septembre prochains, a été décalé à 2022, du 1^{er} au 5 mai. Il se tient à Sydney (Australie).

<http://icsmge2021.org>

LES PRIX IMBP COURONNENT L'ALLIANCE AVEC LA NATURE



Comme prévu, le parc Saint-Serge à Angers (Maine-et-Loire) a absorbé la crue en février.

© ANJOU LOIRE TERRITOIRE PUBLIC

Le parc Saint-Serge à Angers (Maine-et-Loire) a été inondé en février. Rien d'étonnant car c'est une de ses vocations d'absorber les crues de la Maine conformément au Plan de prévention des risques d'inondation de la rivière dans ce secteur de l'agglomération. Les 5,5 ha ont été recouverts jusqu'à 2,50 m de hauteur.

Le parc a été créé en creux en 2019. Les déblais ont été utilisés pour surélever les alentours où s'installent activités et habitat d'un quartier en renouvellement.

→ Éviter l'engorgement

Auparavant, toutes les eaux du secteur partaient sans contrôle du débit dans le collecteur du bassin versant de 380 ha et des quartiers en amont. Elles engorgeaient le réseau d'assainissement et refluait vers ces quartiers.

Cet aménagement fait partie de l'opération Angers Cœur de Maine qui a remporté une mention spéciale du prix "Infrastructures pour la mobilité, diversité et paysage" piloté par l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité (Idrrim).

Le projet mené par Alter Public, société publique locale, a démarré en 2014. Il réconcilie le centre-ville avec la rivière, séparés par la RD 323, ex-autoroute Paris-Nantes (50 000 véhicules/jour). Cette voie sur berge est maintenant recouverte sur 217 m par une esplanade plantée de 3 000 m² et deux trémies en béton existantes qui peuvent aussi stocker des eaux de la Maine.

L'opération qui comprend d'autres aménagements et actions, se monte à 50 millions d'euros.

Le prix spécial du jury IMBP est revenu à APRR pour la replantation naturelle des abords de l'autoroute A6, après son élargissement sur 12 km dans le secteur de Venoy près d'Auxerre (Yonne).

La méthode favorise la repousse de plantes annuelles ou biennuelles qui cèdent la place à des espèces pionnières et des épineux puis à du boisement. Elle passe par un remaniement du sol avec apports de paille, compost, déchets verts, branchages, etc., disposés en bandes, andains et merlons. La petite faune s'y abrite et dissémine les graines.

Le groupe s'est appuyé sur le savoir-faire de Caudex, de l'Office national des forêts et de l'entreprise Tériéal.

Les travaux ont eu lieu en 2019-2020. La faune a déjà investi les andains. Il faut cependant attendre cinq-dix ans pour une recolonisation complète.

→ Grand prix à Nîmes

Le grand prix IMBP a été attribué à la végétalisation des abords du Tram'bus Diagonal T2 de Nîmes Métropole (Gard). À cela s'ajoutent des véhicules hybrides électrique-gaz. Les travaux de cette ligne de 11,5 km, commencés en 2019, se terminent en septembre 2022.

Citons les autres mentions spéciales IMBP : l'entrée de ville de Miramas (Bouches-du-Rhône/Suez Consulting) et l'évaluation des continuités piscicoles (Scimabio avec Vinci Autoroutes). ■



Merlons et branchages attirent la faune qui disperse les graines aux abords de l'autoroute A6.

© APRR

La CNETP regroupe près de **8 300 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues au près de **270 000 salariés**.

NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- la mise en œuvre du régime de chômage intempéries auprès des entrepreneurs de Travaux Publics

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics



Membre du Réseau Congés Intempéries BTP



NOUS CONTACTER

31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

Entreprises : 01.70.38.07.70

Salariés : 01.70.38.09.00



sur Internet : www.cnetp.fr



sur l'appli mobile : **CNETP Salarié**



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu, à quelle date et dans quelles conditions (à distance ou en présentiel).

• 16 AU 18 JUIN

14^e conférence internationale structures en métal

Lieu : par internet
<http://icms2021.put.poznan.pl>

• 23 ET 24 JUIN

Solscope

Lieu : Lyon Eurexpo
www.solscope.fr

• 21 AU 24 SEPTEMBRE

Seanergy

Lieu : Nantes et Saint-Nazaire (Loire-Atlantique)
www.seanergy-forum.com

FORMATIONS

• 10 ET 11 JUIN

Gérer les risques et les opportunités dans les projets

Lieu : Paris ou distanciel
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 21 AU 23 JUIN

Entretien et réparation des ouvrages en béton

Lieu : Paris ou distanciel
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 23 AU 25 JUIN

Études en réparation et renforcement des ouvrages d'art

Lieu : Paris ou distanciel
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

COLAS :

Muriel Voisin est nommée directrice RSE (responsabilité sociétale des entreprises), poste nouvellement créé au sein de la direction du développement

responsable et de l'innovation du groupe.

EGIS :

Régis Dumay devient directeur général adjoint du groupe, chargé de la coordination opérationnelle et du développement commercial. Il reste directeur exécutif Grands ouvrages, eau, environnement et énergie. Cédric Barbier, directeur exécutif Aviation, dirige aussi l'Intégration. Christian Laugier est le nouveau directeur commercial et Olivier Gouirand, le directeur financier.

GIPREB :

À partir de juillet, le Groupement d'intérêt public pour la réhabilitation de l'étang de Berre (Bouches-du-Rhône) sera présidé par Didier Khelfa en remplacement de Serge Andreoni, à la tête du Gipreb depuis sa création en 2000.

MEDEF INTERNATIONAL :

Laurent Germain, directeur général d'Egis, a été nommé président

du conseil d'entreprises France-Arabie Saoudite de Medef International.

SNROC :

Sylvain Laval est remplacé par Jean-Louis Vaxelaire à la présidence du Syndicat national des industries de roches ornementales et de construction.

SOFFONS-UNTM :

Olivier Peter, directeur général de Spie Batignolles Fondations, remplace Didier Jacquet à la présidence du Syndicat des entrepreneurs de sondages, forages et fondations spéciales (Soffons), et Benoît Denizot, à celle de l'Union des métiers de la terre et de la mer (UMTM) dont le Soffons est un des membres.

SPIE BATIGNOLLES :

Virginie Flore succède à Philippe Baduel, retraité, à la direction des ressources humaines.

RÉGION ÎLE-DE-FRANCE LA RÉVOLUTION DES TRANSPORTS EST EN MARCHÉ

Se déplacer mieux, de manière plus confortable, plus sûre, plus accessible, plus écologique, en bénéficiant de nouveaux services... et au final gagner du temps pour soi ! C'est la demande de tous les usagers franciliens. C'est pourquoi Valérie Pécresse, présidente de la Région Île-de-France et d'Île-de-France Mobilités, a entrepris depuis 2016 la révolution des transports. Une décision qui veut remettre les transports au cœur des priorités après plusieurs décennies de sous-investissement. **Entretien avec Laurent Calvalido, Directeur général adjoint Transport/Logement à la Région Île-de-France, qui dresse l'état des lieux en 2021.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Laurent Calvalido, Directeur général adjoint Transport / Logement à la Région Île-de-France.

Quelle est l'importance des transports dans la politique de la Région Île-de-France ?

Les transports sont au cœur de la politique régionale menée depuis début 2016. Ce que nous appelons la "révolution des transports" vise d'abord à rattraper les retards d'investissements pris au cours des dernières années. Cela se traduit par plusieurs volets dont le premier est un grand programme de rénovation du matériel roulant avec plus de 700 trains, métros et RER neufs ou rénovés d'ici fin 2021 sur l'ensemble du réseau francilien pour un montant de 10 milliards d'euros. Mais nous avons également considérablement investi dans la modernisation et le développement des infrastructures de transport, l'amélioration de la qualité

de service, la mise en accessibilité des gares et enfin la transition énergétique du parc bus. Ce sont au total 24 Mds€ qui seront investis d'ici 2025 portés par Île-de-France Mobilités mais aussi par la Région Île-de-France pour tout ce qui concerne les infrastructures (adaptation pour l'arrivée des nouveaux matériels roulants et nouveaux projets). L'arrivée de nouveaux trains est réellement un point central qui change la vie des gens non seulement en leur offrant des conditions de transport plus confortables, mais encore en permettant d'améliorer significativement la régularité sur les lignes avec notamment moins de pannes. Parmi les opérations emblématiques, on peut citer l'arrivée de nouveaux trains francilien sur les Lignes L et J, de Regio2N sur

FIGURES 1, 2 & 3 © MARC MONTAGNON



les Lignes R et N, mais aussi la commande des RER nouvelle génération qui arriveront fin 2021 pour les Lignes D et E et le marché en cours de passation pour les nouveau RER M20 sur le RER B.

Quelles sont les réalisations les plus récentes dans le domaine des transports en commun et les projets en cours ?

Les projets de développement et de modernisation ont été accélérés pour contribuer à faciliter et à fluidifier les mobilités des franciliens. L'un des plus emblématiques est la mise en service de la Ligne 14 à Saint-Ouen en décembre dernier qui va permettre de désaturer la Ligne 13 de 25% même si la crise sanitaire a forcément bouleversé la donne. Plusieurs prolongements de métros sont en cours : la Ligne 11 à Rosny-sous-Bois, la Ligne 4 à Bagneux. Des lignes de tramways ont été également prolongées ou sont en cours de prolongation : le T4 à Clichy-Montfermeil, le T1 vers Val-de-Fontenay, le T3 vers Porte-d'Asnières puis vers Porte-Dauphine.

Plusieurs lignes de "tram express" sont aussi en cours de travaux : le T12 entre Massy et Évry, le T13 entre Saint-Cyr-l'École et Saint-Germain-en-Laye. Ces lignes de tram express utilisent les anciennes "tangentes" et vont permettre de réaliser en transport en commun les trajets banlieue-banlieue ce qui est une condition impérative pour faciliter le report modal depuis la voiture. Leur développement marque aussi la volonté de la Région d'avoir un rééquilibrage de l'offre de transports sur la grande couronne. Les grands projets de transport ont en effet été principalement réalisés sur la zone dense de la Région, ce qui pouvait

LAURENT CALVALIDO : PARCOURS

Laurent Calvalido est ingénieur de l'École Polytechnique (2004) et du Corps des Ponts, des Eaux et des Forêts (2009). Il est titulaire d'un "Master of Science" de l'université de Stanford, en Californie (2008).

Il démarre sa carrière dans la fonction publique d'État à la Direction des routes Île-de-France comme chef du département de modernisation du réseau Est, en charge du pilotage de maîtrise d'ouvrage et des travaux d'infrastructures routières dans le Val-de-Marne et la Seine-et-Marne.

En septembre 2013, il rejoint Systra où il occupe divers postes comme directeur de projet sur des opérations ferroviaires, de tramway, et enfin sur la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express.

En 2018, il entre à la Région Île-de-France comme conseiller transport au cabinet de la présidente Valérie Pécresse, également présidente d'Île-de-France Mobilités⁽¹⁾, poste qu'il occupe jusqu'en novembre 2020.

Depuis novembre 2020, Laurent Calvalido est directeur général adjoint Transport/Logement à la Région Île-de-France.

1- Île-de-France Mobilités, appelé Stif jusqu'en juin 2017, est le nom public du Syndicat des transports d'Île-de-France, établissement public administratif sui generis, qui est l'autorité organisatrice des transports de la région Île-de-France.

2 & 3- Imaginé par l'architecte Jacques Ferrier, le nouveau siège de la Région Île-de-France compte deux bâtiments de 7 étages où est regroupé l'ensemble des services auparavant éclatés à Paris sur une dizaine de sites.

4- Station Mairie-de-Saint-Ouen de la Ligne 14 du métro.

5- Marche à blanc du tramway T3 dans le nord de Paris.

sembler légitime, mais ils étaient très peu nombreux sur la grande couronne qui disposait par ailleurs de matériels roulants très vétustes avec notamment les anciens trains appelés "petits gris". Le projet d'électrification de la Ligne P jusqu'à Provins en Seine-et-Marne, qui soit s'achever en 2022, illustre notre volonté de rééquilibrage. Et nous comptons bien poursuivre avec l'électrification de la Ligne P Nord entre Melun et La Ferté-Milon qui est la dernière ligne non électrifiée du réseau francilien. Ces travaux s'accompagnent de l'arrivée de nouveaux matériels roulants, plus modernes et plus confortables, et vont permettre aux habitants de Seine-et-Marne de bénéficier de meilleures conditions de transport. Nous encourageons également for-

tement la création de lignes de bus en site propre dont plusieurs projets sont opérationnels ou en bonne voie d'avancement : le T Zen 1 Sénart-Corbeil est en service, le T Zen 2 Sénart-Melun et le T Zen 4 entre Viry-Châtillon et Corbeil-Essonnes sont en travaux, le T Zen 3 en Seine-Saint-Denis entre Pantin et Pavillon-sous-Bois et le T Zen 5, entre Paris 13^e et Choisy vont très bientôt entrer en phase travaux.

Le principe du T Zen est celui d'un tram à la française appliqué au bus : il ne se limite pas à la création d'une ligne de tram mais s'accompagne d'une requalification urbaine complète avec un aménagement de façade à façade et permet une fréquence importante du fait du site propre et d'une priorité aux feux.

Imaginé par Île-de-France Mobilités, le T Zen est un mode de transport innovant, qui allie la performance et la qualité de service du tramway à la souplesse du bus (pas de rails) où tout est pensé pour optimiser chaque étape du voyage : voie de circulation entièrement réservée, stations facilement identifiables et repérables, correspondances avec les autres réseaux, fréquence et amplitude élevées, véhicules spacieux, lumineux et confortables, information en temps réel en station et à bord des véhicules.

Parallèlement, Île-de-France Mobilités a aussi renforcé considérablement l'offre bus en s'adaptant aux besoins des usagers : 900 lignes de bus ont été renforcées ou créées depuis 2016, notamment en grande couronne, avec des bus plus fréquents, mieux équipés et qui desservent mieux la région. Île-de-France Mobilités a également mis en place 21 transport à la demande principalement dans les zones rurales. ▷

© RATP

4



© IDFM

5





© CD78



© DIRIF

Complémentaire du réseau de transport existant, ce service est proposé dans les zones où les transports en commun classiques (bus ou car) ne sont pas adaptés, afin de permettre aux habitants de rejoindre une gare, une ligne de bus classique, ou des équipements importants tels que les hôpitaux, centres commerciaux, centres culturels et de loisirs, juste par le biais d'une réservation préalable par téléphone, internet ou via une application dédiée. Une autre offre phare de la transformation du réseau est sa mise en accessibilité. Elle mobilise, quant à elle, 1,4 Mds€ investis d'ici 2025 pour disposer de 266 gares accessibles. Pour les JO de 2024, nous serons passés de 38 % à 60 % du réseau accessible en prenant en compte l'ensemble des stations du réseau francilien, ce qui nous mettra devant Londres et New-York. 95 % des flux de voyageurs pourront ainsi se faire via une solution de transport accessible. Les travaux consistent à installer des ascenseurs ou rampes d'accès, à remettre les quais à bonne hauteur, à supprimer les obs-

tacles aux abords des gares, à assurer la largeur des cheminements sur les quais et dans les couloirs avec des bandes podotactiles d'éveil à la vigilance, des bandes de guidage et des

balises sonores. Il reste bien évidemment le sujet du métro historique parisien qui relève d'un vrai défi technique, sachant que nous avons en revanche sur Paris les réseaux bus et tramway

qui sont 100 % accessibles. Une étude est actuellement en cours concernant la mise en accessibilité de la Ligne 6 qui est moins complexe du fait de la présence de nombreuses stations aériennes.

ÎLE-DE-FRANCE : LA POPULATION PAR DÉPARTEMENT (JANVIER 2021)

- PARIS : 2 175 601 habitants**
- SEINE-SAINT-DENIS : 1 632 677 habitants**
- HAUTS-DE-SEINE : 1 619 120 habitants**
- YVELINES : 1 441 398 habitants**
- SEINE-ET-MARNE : 1 412 516 habitants**
- VAL-DE-MARNE : 1 396 913 habitants**
- ESSONNE : 1 296 641 habitants**
- VAL-D'OISE : 1 238 581 habitants**
- TOTAL PETITE COURONNE : 6 823 914 habitants**
- TOTAL GRANDE COURONNE : 5 389 136 habitants**

En 5 ans, la région la plus peuplée de France, qui concentre 1/5 des 67,06 millions de français, a ainsi gagné 254 000 habitants, soit 51 000 nouveaux franciliens par an en moyenne.

Qu'en est-il au niveau du vélo, sujet devenu depuis quelques mois d'une actualité plus impérative ?

C'est un sujet dont se préoccupe la région depuis longtemps puisqu'elle a adopté dès mai 2017 son plan en faveur du vélo : notre objectif était de tripler la pratique d'ici 2021 avec 2 millions de déplacements tous les jours et d'inciter les Franciliens à se mettre en selle.

La Région et Île-de-France Mobilités ont mobilisé ensemble 200 M€ pour soutenir ce plan et traiter toutes les attentes des cyclistes : sécurisation des itinéraires, signalisation, stationnement sûr, développement des services aux cyclistes, prime à l'achat. C'est en effet tout un écosystème qu'il faut accompagner.



© EOLE / SNCF RÉSEAU

8



© IDFM

9



10
© IDFM

700 km de pistes cyclables ont ainsi été réalisées et 20 000 places supplémentaires ont été créées pour stationner son vélo en toute sécurité. Notre objectif est que toutes les gares du réseau francilien disposent de parkings à vélos d'ici à 2025 et d'avoir 150 000 places en 2030, sachant que les consignes Véligo sont gratuites pour les abonnés Navigo.

Une prime d'achat de 500 € est aussi accordée par Île-de-France Mobilités aux franciliens pour l'achat d'un vélo à assistance électrique, et des aides ont aussi été mises en place pour les vélocargo, les vélos pliants et les vélos pour les personnes en situation de handicap. Pour inciter les Franciliens à franchir le pas du vélo à assistance électrique, un service régional de location longue durée a été créé qui rencontre un succès fulgurant. Avec 20 000 vélos à assistance électrique disponibles, Véligo Location représente actuellement le plus gros parc du monde de vélos en location. Par ailleurs, avec le Collectif Vélo Île-

6- Inauguration par Valérie Pécresse, présidente de la Région Île-de-France, de la déviation de la RD21 à Montesson-Sartrouville.

7- Pose d'enrobés phoniques sur l'autoroute A4 à Charenton.

8- Chantier du prolongement d'Eole vers l'ouest à la Porte Maillot.

9- Les nouveaux bus T Zen.

10- La gare multimodale de Rosa-Parks à la limite des 18^e/19^e arrondissements de Paris : SNCF RER Ligne E, Tramway T3 b.

11- Future gare Porte-Maillot du prolongement d'Eole.

12- Future gare de "CNIT - La Défense" à Paris - La Défense.

de-France, la Région s'est lancée dans un grand projet de RER Vélo (RER V). En effet, le vélo est une solution à la saturation des routes et des transports en commun à une condition : le rendre accessible à tous en offrant aux Franciliens des aménagements cyclables de qualité et continus. L'objectif est de construire un Réseau Express Régional Vélo sur le modèle des transports en commun. Il s'agit d'un projet ambitieux, évalué à 500 M€, financé à 60% par la Région, qui vise à créer une dizaine d'axes structurants, parallèles aux grandes lignes de RER, reliant des grands pôles d'emploi avec aménagements sécurisés et continus et donc notamment des passerelles pour traiter toutes les discontinuités sur les itinéraires.

Cinq premiers axes seront réalisés d'ici 2025 :

- Cergy/Nanterre/La Défense/Porte Maillot ;
- Corbeil-Essonnes/Choisy-le-Roi/Porte de Bercy ;

- Plaisir/Massy-Palaiseau/Porte de Chatillon ;
- Sarcelles/Saint-Denis/Porte de la Chapelle ;
- Val d'Europe/Noisy-le-Grand/Porte de Vincennes.

Dans ce projet très structurant, la Région joue un rôle d'animation et de financement en liaison avec toutes les collectivités gestionnaires de voirie et donc maître d'ouvrage. L'objectif est à la fois d'enclencher une dynamique visant à faire émerger ces axes le plus rapidement possible, de veiller à une homogénéité avec des exigences sur la qualité des infrastructures et un logotypage spécifique identifiant les axes à l'image de ce qui existe déjà au Danemark ou aux Pays-Bas, et de s'assurer du respect des calendriers.

Comment la Région concilie-t-elle vélo et voiture ?

La Région porte une politique très forte sur le vélo qui est un mode avec un potentiel très important, décuplé par l'arrivée du vélo à assistance électrique qui permet de parcourir des distances de 10 à 15 km ce qui était plus difficile avec un vélo classique. Mais nous sommes également vigilants à ne pas générer une guerre des modes entre le vélo et la voiture.

Nous avons en 2018 en Île-de-France 43 millions de déplacements par jour dont 14 millions se font en voiture, 9,5 millions en transports communs et 800 000 en vélo. Une enquête plus récente en septembre dernier a montré que le chiffre du vélo avait grimpé à 1 million de déplacements par jour, avec toutefois des disparités importantes entre Paris qui a connu un quasi-doublement et la grande couronne où le nombre de déplacements en vélo a peu augmenté. ▷

© SETEC / EGIS / DUTHILLEUL / AREP



11

© SETEC / EGIS / DUTHILLEUL / AREP



12

Nous sommes bien conscients que de nombreux Franciliens en petite et grande couronne n'ont pas toujours la possibilité de prendre les transports en commun ou leur vélo. La voiture reste donc un mode important et nous ne sommes pas dans une politique punitive à ce sujet. Ainsi nous essayons que les pistes cyclables soient réalisées de manière à ne pas pénaliser le trafic routier.

Entre 2010 et 2018, la part de la voiture a diminué pour la première fois de 15 millions à 14 millions tandis que les transports en commun sont passés de 8 millions à 9,5 millions.

Malgré tout, les usagers ne s'en rendent pas forcément compte au quotidien du fait de l'augmentation des transports logistiques liée à l'explosion du "e-commerce" et de la politique de restriction de la circulation qui ont entraîné un niveau de congestion qui, lui, n'a pas baissé.

Comment parvenir à la réduction des bouchons ?

Les bouchons sont source de pollution, de perte de temps et se ressentent sur la qualité de vie. C'est pour cette raison que la Région a mis en place en mars 2017 un plan anti-bouchons, également emblématique de son projet global de "révolution des transports". Il représente un investissement de 190 M€ ainsi qu'un fonds "innovation" de 60 M€ pour réaliser une cinquantaine d'opérations anti-bouchons.

Son objectif est de changer la perception de la route, souvent jugée comme responsable de la pollution. Or ce n'est pas la route en soi qui pollue mais l'usage qui en est fait.

La route peut jouer un rôle important dans la mobilité des Franciliens et constitue un enjeu majeur, à condition

MOBILITÉ ÉLECTRIQUE : 3 FOIS PLUS DE BORNES D'ICI 2023

Pour promouvoir et développer une mobilité électrique du quotidien, la Région Île-de-France mise sur la densification du réseau de bornes de recharge, en finançant de nouvelles bornes et en donnant accès aux données qui les concernent. Elle accompagne aussi, via des primes incitatives, les Franciliens et les entreprises qui souhaitent conduire des véhicules plus propres.

En conclusion de la COP régionale des 16 et 17 septembre 2020, la Région a réaffirmé l'objectif d'installer 12000 bornes de recharge électrique en accès public d'ici 2023. Cet objectif correspond au triplement par rapport à l'état actuel. Alors qu'on en dénombre 4000 aujourd'hui en Île-de-France, l'objectif de ce plan massif est d'atteindre 12000 bornes à disposition des usagers d'ici 2023.

En moyenne, cela veut dire que dans trois ans au moins 45% des franciliens disposeront d'une borne de recharge à moins de 10 mn à pied de leur domicile ou de leur lieu de travail, contre 17% aujourd'hui. Sécurisées, géolocalisées et accessibles à tarif raisonnable, ces bornes sont indispensables pour faciliter l'utilisation du véhicule électrique, partout en Île-de-France.

La Région Île-de-France a par ailleurs lancé le smart service "Roulez, Branchez", une plateforme en ligne qui permet de centraliser et mettre à disposition l'ensemble des données relatives à l'électromobilité en Île-de-France. Ce service a été développé avec la collaboration de plusieurs partenaires acteurs de l'électromobilité en Île-de-France.

Ce nouveau service en ligne permet aux usagers de véhicules électriques d'accéder à une information fiable et de qualité, en temps réel, sur les bornes de recharge disponibles sur le territoire. En s'appuyant sur le "label Région" il indique les bornes sécurisées, géolocalisées et accessibles à tarif raisonnable.

Roulez, Branchez permet également aux installateurs de bornes (par exemple, une collectivité qui souhaite proposer des bornes de recharge sur son territoire pour répondre aux besoins des habitants) de s'informer sur les aides disponibles pour le déploiement de bornes, l'offre de recharge existante dans les territoires voisins et les partenaires susceptibles de les accompagner. Les gestionnaires de bornes pourront également demander à labelliser leurs installations.

de mieux la penser et d'anticiper les usages de demain.

Au travers de ce plan, la Région finance de nombreuses opérations en grande couronne visant à améliorer des points de congestion en créant par exemple des déviations afin de réduire les nuisances dans les communes traversées (déviation de la RD21 à Montesson-Sartrouville, aménagement de la RD30 à Plaisir) mais aussi des projets de franchissement de fleuves (étude en cours sur un franchissement de Seine en Essonne, pont de Villedieu).

Le fonds "innovation" a pour objectif d'améliorer l'utilisation de la route dont nous considérons qu'elle est sans doute l'infrastructure la moins bien utilisée aujourd'hui. Nous n'avons jamais autant investi dans les transports en commun - 24 Mds€ - mais nous considérons pour autant que délaissier la route serait une grave erreur.

Nous voulons donner l'image d'une route mieux intégrée dans son environnement, plus décarbonée et plus innovante. Nous finançons notamment la mise en œuvre d'enrobés recyclés, d'enrobés phoniques (A4 à Charenton et A6 à l'Hay-les-Roses), la régulation de trafic sur les entrées de l'A86, nous accompagnons le développement de voies dédiées aux taxis et aux bus en utilisant les bandes d'arrêt d'urgence, et souhaitons pouvoir les ouvrir bientôt au co-voiturage sous réserve de la mise en place par l'État d'un système de contrôle/sanction.

D'où la mise en place également par Île-de-France Mobilités de subventions aux plateformes de co-voiturage permettant la gratuité pour les passagers détenteurs d'un passe Navigo et un paiement pour les conducteurs entre 1,5 et 3 €, pour encourager les trajets partagés. Mais le déclin pour le



© DIRIF
13



© IDFM
14



15
© DIRIF

covoiturage ne se produira que si l'on permet aux conducteurs acceptant de faire un détour pour récupérer un passager de bénéficier par des voies dédiées d'un temps de trajet plus court et sans aléa.

Cette conviction que la route doit jouer un rôle est liée au fait que la Région Île-de-France accueille chaque année entre 50 000 et 60 000 habitants supplémentaires principalement en grande couronne.

Chaque habitant faisait en moyenne 3,8 déplacements par jour avant la crise sanitaire et ce nombre ne va pas fortement diminuer malgré les nouveaux modes de travail. En 10 ans, cela peut conduire à près de 2 millions de trajets supplémentaires sachant qu'il ne sera pas possible d'amener une ligne de transport lourd dans chaque commune francilienne de grande couronne.

La route restera donc pour ces nouveaux habitants la solution la plus pratique. Il faudra, par contre aller vers plus de mobilité partagée (bus, covoiturage) et plus de mobilité décarbonée avec la transformation du parc de

véhicules, qui doit être accompagnée. D'où la politique de la Région de financer par exemple les artisans et les professionnels pour l'acquisition de véhicules propres et notre plan électromobilité qui vise à tripler le nombre de bornes sur l'espace public d'ici à 2023.

13- Voie dédiée aux autobus sur l'autoroute A10 en amont de la gare de Massy-Palaiseau.

14- Rame du RER D nouvelle génération.

15- Déviation de la N19 à Boissy - Saint-Léger.

16- Véligo Location représente actuellement le plus gros parc du monde de vélos en location.

17- Passerelle piétons-cyclistes à Élancourt.

Au niveau du logement, quelle est la politique de la Région ?

Le logement n'est pas, à la base, une compétence obligatoire de la Région mais nous considérons toutefois qu'il s'agit d'une priorité incontournable d'autant plus dans la situation de crise que nous connaissons actuellement. La Région finance le logement social mais a défini un plan anti-ghetto.

Elle ne finance pas de logements très sociaux dans les endroits où ils représentent déjà plus de 30 % du parc locatif et elle subventionne en revanche en priorité ces logements très sociaux

dans les communes les plus carencées. Dans le cadre de la mandature actuelle, cette action a conduit à subventionner la réalisation de près de 35 000 logements sociaux familiaux, représentant plus de 220 millions d'euros d'investissement. Ce sont donc plus de 70 000 personnes qui ont pu être logées dans le logement social grâce à la Région. La Région a également mis en place un plan ambitieux de financement des résidences pour les jeunes et étudiants qui sont parmi les principales victimes de la crise sanitaire.

D'autres leviers sont à la disposition de la Région. Dans le parc privé, elle finance les copropriétés dégradées lorsque leur taille est telle que seule une intervention publique peut leur permettre d'être remises à niveau.

Nous avons également un plan de rénovation thermique qui vise à supprimer 100 % des passoires thermiques (55 000 logements en étiquettes F et G) dans le parc HLM francilien d'ici 2030. Dans le cadre du NPNRU, Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain, porté par l'ANRU lancé en 2014, la Région a prévu de consacrer 250 M€ à des transformations de quartiers en y réalisant des équipements culturels, jeunesse, sportifs, santé, scolaires... □

RÉGION ÎLE-DE-FRANCE ET TRANSPORTS

Avec 10 000 agents, 209 élus et un budget de plus de 5 milliards d'euros, la Région Île-de-France agit dans la plupart des domaines qui touchent le quotidien des 12 millions de Franciliens : les transports, les lycées, l'apprentissage, le développement économique, l'environnement, la culture... Au-delà, elle aménage un territoire à la fois urbain et rural qui ne représente que 2 % de la superficie de la France mais rassemble 19 % de sa population et contribue à près de 30 % du PIB national.



16
© IDFM



17
© CD 78



© VINCI IMMOBILIER

RESALLIENCE RENFORCER LA RÉSILIENCE DES VILLES ET DES TERRITOIRES AUX ALÉAS CLIMATIQUES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

SI LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EST D'ACTUALITÉ, IL IMPORTE D'EN ÉVALUER LES CONSÉQUENCES ET DE TENTER D'Y REMÉDIER POUR PRÉSERVER L'AVENIR. C'EST CE QUE FAIT RESALLIENCE, UN BUREAU D'ÉTUDES DÉDIÉ À L'ADAPTION DES TERRITOIRES, DES VILLES ET DES INFRASTRUCTURES ET DE LEUR USAGE. RESALLIENCE ACCOMPAGNE ET CONSEILLE SES CLIENTS SUR LES ALÉAS CLIMATIQUES QUI AFFECTENT LES VILLES ET LES TERRITOIRES EN RÉALISANT DES DIAGNOSTICS DE VULNÉRABILITÉ, DE LA MODÉLISATION FONCTIONNELLE ET TECHNICO-FINANCIÈRE AFIN D'ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DE PLANS D'ACTIONS POUR L'AMÉLIORATION DE LA RÉSILIENCE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE. AVEC KARIM SELOUANE, FONDATEUR ET DIRECTEUR GÉNÉRAL DE RESALLIENCE, ORIGINE, PARCOURS ET ACTUALITÉ DE CETTE ENTITÉ DU GROUPE VINCI.

Resallience a été conçue dans le cadre d'un programme de prospective "innovation" au sein du groupe Vinci orienté "business" sur du moyen terme. « Lorsque j'ai lancé le sujet sur la résilience des infrastruc-

tures des bâtiments des villes et des territoires dès 2015, indique Karim Selouane, l'objectif a été d'imaginer un business qui puisse devenir mature à un horizon de 3 à 5 ans, donc de se mettre en ordre de marche pour préparer, à la

**1- Projet
UniverSeine
du Village
olympique
pour les jeux
de 2024.**

fois, une offre de services adaptée et des solutions techniques et d'ingénierie les plus innovantes possibles répondant aux défis du changement climatique, qui s'adressent à des acteurs publics et privés en France et à l'international. »

2- Karim Selouane,
directeur général
de Resalliance.

292 INTERLOCUTEURS DANS LE MONDE

Dans cette dynamique qui a abouti à la création de la société en tant que telle, quatre dates sont à retenir : septembre 2015, juillet 2017, janvier et juillet 2018.

En septembre 2015, la décision est prise d'impulser l'activité de la résilience au changement climatique au sein de Vinci Construction France. Le sujet paraissait très subjectif, pas assez opérationnel, et Karim Selouane opte, dans un premier temps, pour en faire un programme de recherche en établissant un éco-système de type universitaire en liaison avec l'IMREDD⁽¹⁾, l'université Gustave Eiffel, l'École Normale Supérieure, l'EIMP⁽²⁾ et quelques universités à l'international. À l'époque, ce programme n'a pas trouvé sa place dans la logique "business" du groupe Vinci.

En juillet 2017, est arrivé au sein du groupe le programme Leonard, plateforme de prospective et d'innovation portant l'ambition d'inventer les services, les équipements et infrastructures de demain.

Karim Selouane propose alors d'inscrire son programme dans l'éco-système Léonard afin de transformer ce qui avait déjà été préparé au préalable et propose la résilience comme une nouvelle activité pour Vinci.

« Cette proposition est validée par le COMEX et le CODIR de Vinci, poursuit-il, qui m'accordent de consacrer 20 % de mon temps, entre juillet 2017 et janvier 2018 pour affiner mon projet, créer la proposition de valeur, établir un prototype de "business-model" pour vérifier sa faisabilité. »

Dans ce cadre, il interroge physiquement ou par visioconférence 292 sociétés et acteurs en France et à l'international au Japon, au Kenya, en Afrique du Sud, aux États-Unis, au Vietnam, à Singapour, en Malaisie, au Brésil, dans les Caraïbes, en Pologne, au Kazakhstan, au Maroc, au Sénégal, aux États-Unis, au Canada, au Brésil, etc., des acteurs publics, privés, des sites industriels, des opérateurs de réseau, des promoteurs immobiliers, des entreprises de construction, des collectivités territoriales, des assureurs, banques de développement, des fonds d'investissement.

© RESALLIANCE



2

KARIM SELOUANE : PARCOURS

Karim Selouane est Docteur-Ingénieur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris (Mines Paris Tech) en 2006. Sa thèse de doctorat porte sur les "Dynamiques climatiques & morpho-sédimentaires du Sahara Atlantique face à la vulnérabilité des aménagements et des infrastructures".

Il détient également un diplôme d'ingénieur géomatique option "Sciences de l'Information géographique, lidar et télédétection spatiale" de l'École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG) obtenu en 2002.

Karim Selouane débute sa carrière en 2003 en tant que consultant ingénieur pour le compte de l'ADPS (Agence de Développement des Provinces Sahariennes) et ONHYM (Office National des Hydrocarbures et des Mines du Maroc), en parallèle de sa thèse de doctorat. Durant 4 ans il accompagne les états de l'Ouest Saharien sur les stratégies d'aménagement et des risques climatiques associés au sein du premier Observatoire des environnements urbains africains, qu'il co-fonde à Yaoundé, au Cameroun.

En juin 2006, il intègre Veolia, à la Direction Technique et Scientifique sur des projets internationaux de stockage de CO₂, de valorisation énergétique des déchets en lien avec les interactions villes-climats.

En octobre 2011, il devient consultant pour des projets environnement de la Banque Mondiale auprès des États d'Asie Centrale et d'Afrique Sub-saharienne dans le secteur mines, pétrole et environnement : Cameroun (assistance à la stratégie minière pour la banque Mondiale), Mali (réforme institutionnelle du secteur pétrolier pour le ministère des Mines), Niger (assistance technique à la prospection minière pour l'Union Européenne) mais aussi avec des interventions en Algérie (définition de la stratégie QHSE pour le groupe Ferphos Somiphos) et en Afghanistan (évaluation environnementale des ressources minières pour la Banque Mondiale).

En septembre 2013, il rejoint la direction du service Géosciences de Spie Oil & Gas, afin d'accompagner les opérateurs pétrolier et gazier dans la zone Afrique Moyen Orient et USA au développement des énergies renouvelables et la réduction de leurs empreintes carbone.

En janvier 2015, il entre chez Vinci Construction France comme directeur de projets "environnement et innovation" assurant notamment la coordination technique et stratégique de projets à dimension "open innovation, digitale et environnementale".

Depuis juillet 2018, Karim Selouane est directeur général de Resalliance.

En parallèle de ses activités, il rédige de nombreuses publications scientifiques et enseigne l'environnement, la résilience climatique, le génie civil et l'aménagement depuis 10 ans dans les universités de Paris X Nanterre, Cergy-Pontoise, Marne La Vallée, Sophia Antipolis (IMREDD) ainsi qu'à l'École des Ponts-ParisTech et Sciences Po Paris.

Karim Selouane est membre du groupe de travail sur les villes durables de "UN Habitat et UN Environnement", et a participé et contribué aux deux premiers sommets des villes durable à Nairobi (mars et mai 2019). Il est également membre de la "Community of users on secure, safe and resilient societies: urban critical infrastructures" de la Commission Européenne et de la "Coalition for Climate Resilience for Investment for Infrastructure".

Enfin, depuis 2020, Karim Selouane fait partie des groupes de travail de normalisation AFNOR/CEN/ISO "territoire, ville durable et résiliente", et "adaptation au changement climatique". Il représente notamment la France au niveau européen et international.

« Cette enquête mondiale, précise-t-il, lui permet de dresser un état de la résilience dont le contenu soit technique afin de le rendre compréhensible dans le langage d'une entreprise de BTP. Cela lui permet surtout de définir une cible de clients, des géographies avec des marchés potentiels. »

En janvier 2018, après un nouveau passage devant les COMEX et CODIR de Vinci, le projet est validé et Karim Selouane peut consacrer 100 % de son temps pour constituer le modèle économique plus fin, définir les éléments techniques nécessaires à son développement et projeter son activité future sur des indicateurs technico-financiers (TPI) ainsi que réfléchir à l'insertion de Resalliance dans l'écosystème de Vinci. En juillet 2018, il est décidé d'intégrer Resalliance à Sixense⁽³⁾, une société du groupe Vinci qui regroupe différentes sociétés de spécialités dans le domaine de l'ingénierie, du monitoring, de la numérisation des infrastructures et des solutions digitales. Cette solution lui permet de démarrer en valorisant ou en mettant à contribution le capital technologique et de réseaux disponibles chez Sixense sans passer par des investissements lourds. Ce positionnement permet également au groupe Sixense de se doter d'une nouvelle expertise et de nouveaux marchés portés par Resalliance.

Resalliance est ainsi constituée en tant que marque au sein du groupe Vinci, rattachée à Sixense.

Elle est le bureau d'études du groupe Vinci dédié à l'adaptation au changement climatique des territoires, des villes, des infrastructures et des projets.

CINQ TYPES DE CLIENTS

« Resalliance conjugue deux grandes expertises, indique Karim Selouane. C'est là que réside son caractère innovant et, à l'heure actuelle, unique au monde : son ingénierie intégrée mixe l'ensemble des sciences du climat et des outils d'information y afférents (données au sol, données de météorologie, satellites d'observation...) mais aussi l'ingénierie du Génie Civil, du génie urbain, les sciences humaines et de la construction. »

Sur cette base, elle accompagne cinq types de clients :

→ Le secteur de la finance (bailleurs institutionnels, fonds d'investissement, assurances tels que la Banque mondiale, l'Agence française de développement, le programme des Nations-Unies pour le développement, Axa...) ;



© KARIM SELOUJANE



© KARIM SELOUJANE

- Les collectivités au sens large (région, département, ville, village tels que La métropole d'Amiens, Rabat au Maroc, Saint-Louis du Sénégal au Sénégal, Haïti...);
- Les promoteurs et les gestionnaires d'actifs immobiliers (Vinci Immobilier, Nexity, Adim, CDC Habitat, premier bailleur social de France avec plus de 500 000 logements...);

- Les opérateurs de réseaux (SNCF, Vinci Autoroutes, Vinci Airport, Olympia Odos en Grèce...);
- Les entreprises et les sites industriels (Orano (ex Areva), centrales nucléaires et exploitations minières, notamment au Kazakhstan).

TROIS TYPES DE SERVICES

L'accompagnement des clients se

réalise sur trois types de services : du conseil (sous forme d'audit et de diagnostic), de la modélisation (climatique, environnementale et technico-financière), de l'ingénierie/projet et de l'ingénierie intégrée. Le conseil peut être technique, d'abord sous forme de formation. À titre d'exemple, Resalliance a formé les plus hautes autorités du Togo et du Maroc dans leur mise en place de

stratégie d'adaptation du changement climatique, en regard des inondations et des été caniculaires en lien avec la ville et les infrastructures; de même, en France, pour les collectivités du bassin amont de la Seine.

La société réalise des audits de type due diligence afin d'évaluer le niveau de vulnérabilité d'une infrastructure par rapport à des aléas climatiques pour,

3- À Singapour, le plus grand bâtiment à façade végétalisée du monde - Tabjong Pagar Marina - pour réduire les îlots de chaleur et augmenter la biodiversité urbaine.

4- Mission de terrain à Singapour : stratégie d'adaptation et d'atténuation des infrastructures et politique de mobilité urbaine au changement climatique.

5- Gare de fret de New York paralysée par un black-out lié à l'ouragan Sandy du 22 octobre au 2 novembre 2012.



© NEW YORK TIMES



infrastructures, des CAPEX/OPEX et de la soutenabilité des investissements. »
 « Ces modélisations s'accompagnent de ce que nous appelons la "modélisation par la résilience fonctionnelle des infrastructures et des territoires". Il s'agit d'une ingénierie issue des approches sécurité des process industriels où nous allons, par exemple, décomposer une ville, une infrastructure ou un bâtiment en systèmes et sous-systèmes, en composants et sous-composants afin de mettre en évidence leurs interdépendances et comment, en fonction d'un aléa climatique, ou de plusieurs, où et comment ils vont être détériorés ou se dégrader. Nous innovons à travers des programmes de R&D orientés projets et clients pour élargir nos capacités de modélisation. Nous l'avons déjà fait pour des projets de bâtiments, de villes, de lignes ferroviaires, de routes ou de sites industriels. »

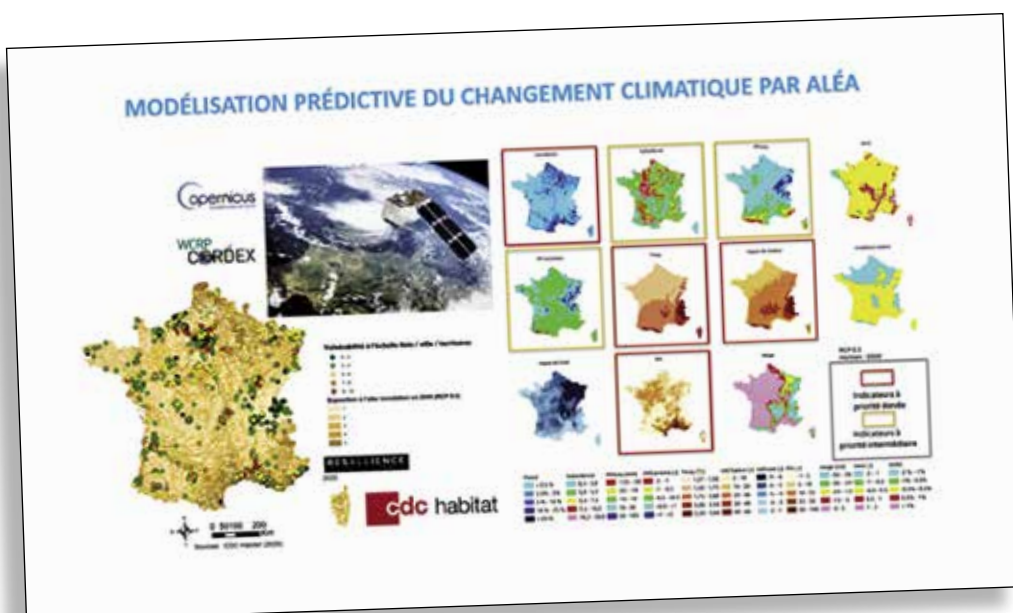
Pour l'ingénierie intégrée, le rôle de Resalliance s'apparente à celui d'un AMO (Assistance à Maître d'Ouvrage) classique, mais qui soit aussi capable d'aller chercher des technologies et des solutions innovantes, tant en interne de l'écosystème de Vinci qu'à l'extérieur du groupe, qu'il combine pour concevoir des solutions sur mesure par rapport au projet d'un client. Ces technologies qui n'ont pas été forcément conçues pour la résilience climatique, Resalliance les valorise pour les adapter à ses besoins en développant ainsi de l'ingénierie intégrée. À cet effet, elle a développé des interfaces pour faire communiquer entre eux des outils qui n'étaient pas conçus à l'origine pour l'utilisation à laquelle elle les destine. ▷

derrière, pointer des zones de faiblesse sous des conditions climatiques particulières afin de prescrire aux clients des actions à mener soit pour préserver une infrastructure existante, soit en vue d'une acquisition qui pourrait s'avérer risquée à plus ou moins long terme du fait de la détérioration des conditions climatiques.

« Avec la modélisation, nous entrons dans de l'ingénierie pure et dure. Nous

utilisons, par exemple, de la modélisation prédictive climatique à très haute résolution, à travers des données satellitaires. Nous pouvons tracer le climat dans les 30 ou 40 dernières années, depuis l'avènement des satellites, dans les régions les plus isolées au monde, insuffisamment équipées en stations météo. Nous sommes liés au programme des Nations-Unies "Space Climate Observatory" pour lequel nous

sommes labellisés pour avoir accès à un écosystème d'informations issues du spatial ainsi qu'à l'organisation mondiale de la météo. Ceci nous permet, partout dans le monde, d'accéder à de la donnée brute, de la traiter afin d'élaborer des scénarios sur des pas de temps de quelques années jusqu'à 100 ans afin d'identifier l'évolutivité des variables et des aléas climatiques indispensable au dimensionnement des



6- Le Burkina Faso, vulnérable aux changements climatiques, porté par une économie peu diversifiée et fortement dépendante du secteur primaire, a d'importants défis à relever.

7- En Inde, Resalliance intervient avec Systra dans l'établissement du premier observatoire de la mobilité urbaine.

8- Projet CDC Habitat : modélisation prédictive du changement climatique par aléa.



9

© VINCI

9- Pour Vinci Airport, le projet consiste à développer une plateforme permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'ensemble de ses aéroports.

10- Vinci Airport : plateforme de gestion "risque climatique" des aéroports.

11- Partenariat au programme des Nations Unies pour le développement au Liberia.

PLATFORME DE GESTION RISQUE CLIMATIQUE DES AÉROPORTS

© RESALLIENCE/VINCI AIRPORT 10

Ses services s'accompagnent toujours à minima d'un diagnostic de vulnérabilité et vont jusqu'à la préconisation de stratégies d'adaptation ou de préconisations techniques d'adaptation évaluées sur le plan technico-économique, environnemental et social.

« Ceci explique qu'elle accompagne le monde de la finance, précise-t-il. À ce titre, d'ailleurs, Resalliance a signé avec l'IFC⁽⁴⁾, le "bras armé financier" de la Banque Mondiale, une convention pour l'accompagner dans l'évaluation des impacts financiers des investissements nécessaires pour les infrastructures notamment dans les États insulaires et les pays d'Afrique Sud-Saharienne. »

Ce modèle permet à la société de toujours être réactive à la technologie la plus évolutive possible, sans dépendre de technologies qui peuvent devenir obsolètes, en s'associant avec des partenaires. D'où le nom de Resalliance : la résilience par l'alliance avec des partenaires multidisciplinaire.

Liberia Climate Change Knowledge Sharing Platform

© RESALLIENCE 11



© CREA DOMINICA

12



© UNDP

13

48 PROJETS DANS 24 PAYS EN 2 ANS

Concrètement, la société a déjà à son actif 48 projets répartis dans 18 pays. Pour en citer quelques-uns : au Kazakhstan avec Orano, au Maroc avec l'agence gouvernementale des 4C, en Inde avec l'Agence Française de Développement, au Burkina Faso avec la Banque Mondiale, au Sénégal avec le programme des Nations Unies pour le Développement, à La Dominique avec l'IFC-Banque Mondiale, en France et en Australie avec AXA Assurances, en France métropolitaine et DROM/COM, avec CDC Habitat, avec Vinci Immobilier pour le futur village olympique des jeux de 2024, avec la SNCF pour la future ligne nouvelle à grande vitesse Paris-Rouen-Le Havre.

Pour le village olympique, réalisé par Vinci Immobilier, l'objectif est d'évaluer l'apport de la biodiversité en période de canicule sur les îlots de chaleur et les performances thermique et énergétique des bâtiments dans la perspective de l'évolution du changement climatique, en recherchant les équilibres OPEX et

12- Parmi les projets 2021 de Resalliance : La Dominique avec IFC Banque Mondiale.

13- Saint-Louis du Sénégal fait l'objet d'un projet de préservation.

CAPEX[®] liés à ce projet de conception-réalisation et à son exploitation.

Resalliance intervient également sur le projet d'aménagement de la gare du Nord à Paris. « Elle a modélisé l'impact de la conception de ces deux projets, précise-t-il, - Village Olympique et Gare du Nord - en termes d'îlot de chaleur, de conditions de santé publique et de qualité de l'air afin d'apporter des

éléments de conception pour les systèmes de ventilation, les matériaux de construction de façades et la stratégie générale de biodiversité et de gestion des eaux. »

Pour la LGV Paris-Rouen-Le Havre, Resalliance accompagne la SNCF, très en amont de sa réalisation, dans la conception de la future ligne afin de l'adapter aux aléas climatiques sur deux niveaux : il s'agira en effet d'une ligne réalisée partiellement sur un tracé nouveau et reprenant par ailleurs la ligne existante sur un tracé devant être adapté.

KAZAKHSTAN : UN OUTIL DE MAINTENANCE PRÉDICTIVE

Au Kazakhstan, il s'agissait d'évaluer l'impact du changement climatique sur des installations de sites industriels exposés aux risques d'ensablement ainsi qu'aux conséquences de la grande variabilité de la fonte du permafrost dans un désert chaud en altitude au pied de l'Himalaya dont la température varie de -30° l'hiver à +45° l'été. Depuis quelques années, le bilan thermique est à la faveur de l'été (hivers moins froids, étés plus chauds) de sorte que les capacités de gel de l'hiver ne sont plus suffisantes pour être maintenues l'été. Cela entraîne l'instabilité du terrain sur lequel repose un énorme massif dunaire d'une géomorphologie très particulière qui elle-même est sujette à des phénomènes d'érosion. Ces phénomènes sont d'autant plus accentués que le changement climatique affecte une partie de cet environnement et participe à l'appauvrissement du couvert végétal qui maintient le sable en place. Les mouvements de terrain et les transferts de matériaux ainsi engendrés sur des centaines de kilomètres carrés entraînent des désordres dans les infrastructures locales, les routes, les pipelines en place et les bâtiments industriels et provoquent des phénomènes de corrosion par de l'altération physico-chimique.

« Resalliance a ainsi créé un modèle climatique physique pour comprendre ces processus, fait des prélèvements sur le terrain, corrélé l'ensemble des données pour évaluer le niveau d'exposition et de dégradation des infrastructures, en comprendre l'origine et mieux les prévenir avec des actions d'intervention et de prévention adaptées. À l'issue d'une année d'investigations et de mesures sur le terrain, la société a développé un outil de maintenance prédictive pour le site industriel nucléaire d'Orano. »

LEONARD PARIS EN BREF

Dans un monde en transformation, Leonard détecte les tendances, accompagne l'innovation et réunit tous les acteurs du futur des villes et des territoires. Situé dans le 12^e arrondissement de Paris, il héberge les entités de Vinci tournées vers la transformation des marchés et des métiers du groupe, et rassemble de ce fait une concentration unique de toutes les expertises (scientifiques, urbanistiques, sociales, entrepreneuriales) des grands défis métropolitains.

Vitrine du savoir-faire du groupe Vinci, Leonard Paris est un espace de coworking, de rencontres et d'échanges entre les collaborateurs de Vinci et les experts, entrepreneurs, collectivités, clients et partenaires, étudiants, chercheurs et responsables de la société civile.



14

© PARIS FUTUR

**CDC HABITAT :
PREMIÈRE PLATEFORME DPR**

En France, Resalliance accompagne la CDC Habitat (filiale à 100% de la Caisse des Dépôts) dans sa stratégie d'adaptation au changement climatique.

Pour ce faire, elle s'est associée aux équipes de Sixense Engineering pour développer la première plateforme de Diagnostic de Performance Résilience climatique (DPR).

« Ce DPR se définit comme un outil d'aide à la décision composé, d'une part, d'un hyperviseur alimenté par un Système d'Information Géographique, et, d'autre part, d'un tableur analytique. Il permet d'évaluer le niveau de criticité des patrimoines bâtis aux aléas climatiques. Il analyse également les risques d'impact techniques et financiers de ces aléas sur les composants, les sous-systèmes et les systèmes d'ensembles immobiliers. »

Le DPR s'applique à l'ensemble du patrimoine immobilier (plus de 500000 logements locatifs) de la CDC Habitat (France métropolitaine et DOM-COM). Il permettra d'alimenter les plans pluriannuels d'investissement pour réhabiliter ce patrimoine, adapter la conception de constructions neuves et ainsi mieux les adapter au changement climatique à l'horizon 2050.

Le projet s'inscrit dans le cadre d'un partenariat entre la CDC Habitat, la FFA-Assurance (Fédération Française des Assurances) et l'Association Mission Risques Naturels (MRN) créée en l'an 2000 par les assureurs afin de contribuer à une meilleure connaissance des risques naturels.

**HAÏTI : RENOUER AVEC
UN URBANISME COHÉRENT**

Dans les Caraïbes, Resalliance accompagne le gouvernement de la République d'Haïti dans sa stratégie d'adaptation au changement climatique des aménagements urbains et des conditions d'habitat des populations pauvres. Le défi est de structurer un cadre institutionnel d'une réalité urbaine en partie informelle et en dehors des normes internationales en termes de conception et face aux risques.

Le violent séisme qui a secoué Haïti et sa capitale le 12 janvier 2010 a laissé des séquelles au sein de la population haïtienne déjà fragilisée par la violence, la pauvreté et aussi par des catastrophes naturelles répétées (ouragans, inondations, érosion, ...). Ce séisme, aussi prévisible qu'il soit, est une catastrophe naturelle et humanitaire

**14- Projet de
réaménagement
de la Gare du
Nord à Paris.**

**15- Premier
sommet mondial
"ville durable et
résilience" des
Nations Unies à
Nairobi en mars
2019.**

sans précédent dont les principales causes sont l'absence de constructions et d'infrastructures solides bâties selon les normes parasismiques, l'occupation anarchique de l'espace urbain par les populations et les nombreuses irrégularités incontestées observées dans le domaine de l'urbanisme.

« Comment conjuguer l'impérieuse nécessité d'apporter des outils qui per-

mettront aux autorités locales de cadrer l'aménagement et le cadre bâti de populations extrêmement vulnérables et pauvres tout en s'adaptant à un urbanisme sans cohérence réalisé sans plan d'urbanisme : telle est la mission de Resalliance. »

**INDE : OBSERVATOIRE
DE LA MOBILITÉ URBAINE**

En Inde, Resalliance intervient avec Systra dans l'établissement du premier observatoire de la mobilité urbaine avec plusieurs bailleurs de fonds tels que l'AFD (Agence Française de Développement), la GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), agence de coopération internationale allemande pour le développement, la BASD (Banque asiatique de Développement). L'objectif est d'accompagner les autorités locales dans leur démarche de transition en termes de politique de mobilité. En effet, outre l'agriculture, les transports, notamment, constituent un énorme facteur de pollution en Inde, dans un secteur très saturé, avec une croissance démographique toujours importante et une gestion des flux de mobilité complètement dépassée.

« D'un côté, les infrastructures sont sous-équipées, précise Karim Selouane, de l'autre, la densité de population est considérable : face à cette situation, comment mettre à plat ces distorsions dans le cadre d'une démarche qui permette de transformer la politique de mobilité urbaine au niveau des investissements et d'aménagement du territoire à l'échelle des villes tout en respectant les objectifs des accords de Paris sur le climat (2015). »



15

© KARIM SELOUANE



© KARIM SELOUANE
16



© KARIM SELOUANE
17



© KARIM SELOUANE
18



© KARIM SELOUANE
19



© KARIM SELOUANE
20

Dans ce programme d'évolution de la mobilité sous toutes ses formes, notamment les transports, Resalliance s'occupe de traiter tout le domaine qui leur est relatif en veillant à ce que les préconisations qui seront proposées soient conformes et adaptés aux objectifs du changement climatique.

VINCI AIRPORT : 42 AÉROPORTS DANS LE MONDE

Pour Vinci Airport, leader mondial des concessions aéroportuaires avec 45 aéroports dans 12 pays, le projet a

consisté à développer une plateforme permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'ensemble de ses aéroports mais permettant également à l'ensemble des collaborateurs de Vinci Airport, quel que soit leur niveau de compétence, de connaître les conditions climatiques de ces aéroports et leur évolution au niveau des risques, partout dans le monde. Cet outil permet par ailleurs aux équipes de Vinci Airport de s'informer sur l'impact des données climatiques sur leur activité de manière macro.

16- Dans le parc national Torres Del Paine entre la cordillère des Andes et la steppe de Patagonie, sécheresse et recul des glaciers en janvier 2018.

17- Au Fitz Roy, dans la Cordillère des Andes, en Argentine, sécheresse et recul des glaciers en janvier 2018.

18- Mission de terrain dans le désert du Kazaksthan.

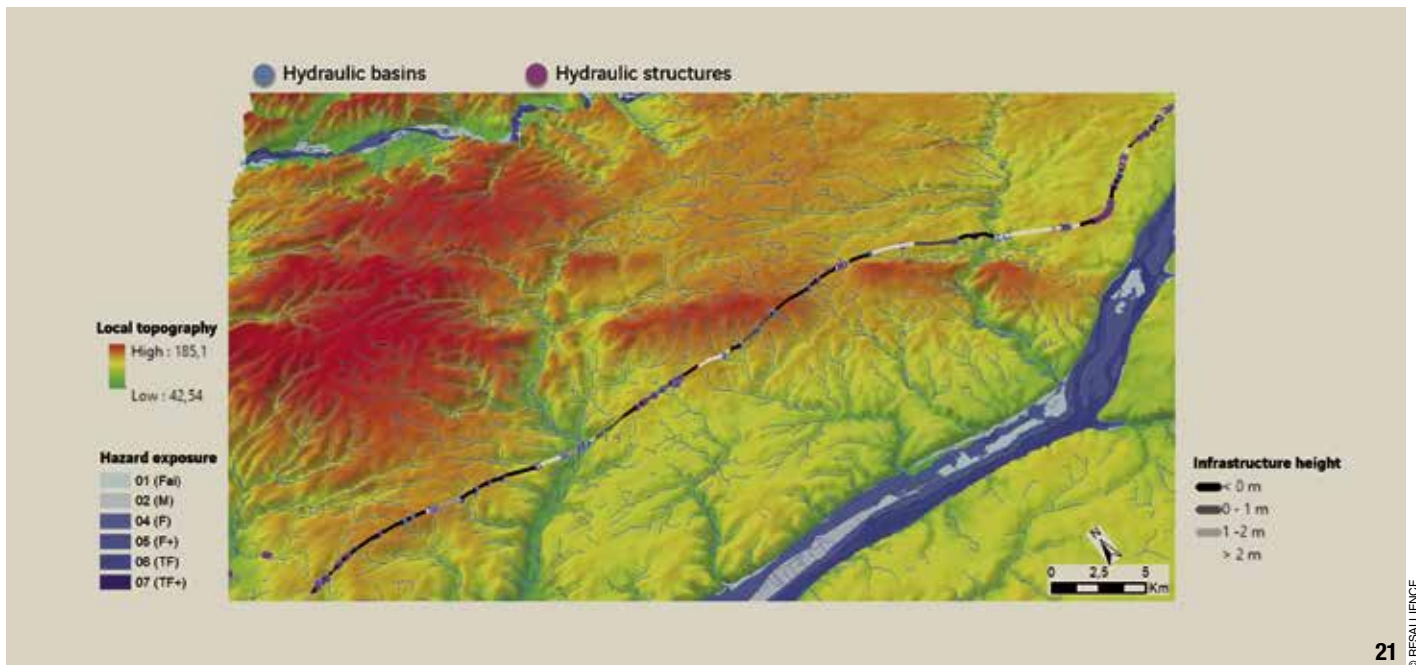
19- Fonte du front du glacier Perito Moreno en Patagonie en février 2018.

20- Campagne de terrain en Asie centrale : dépôt de pipeline et suivi des phénomènes d'ensablement, de corrosion et de subsidence.

SAINT-LOUIS DU SÉNÉGAL : ANTICIPER LES RISQUES À VENIR

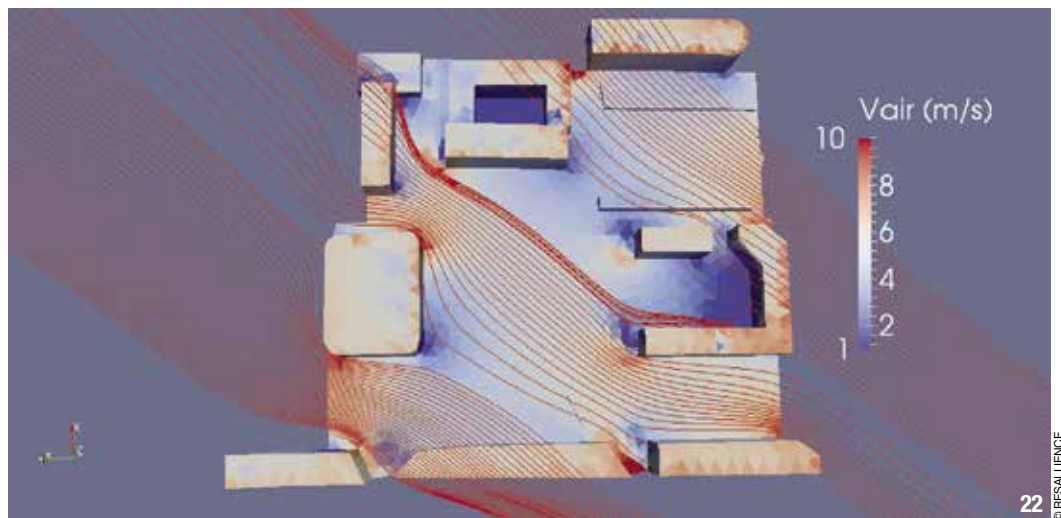
Au Sénégal, Resalliance participe avec le Programme des Nations Unies pour le développement, les Universités de Rouen, de Dakar et l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) à un projet de recherche opérationnelle visant à doter Saint-Louis du Sénégal d'un modèle permettant d'anticiper les risques d'érosion et de submersion marines liés au changement climatique afin de définir une planification du déplacement des infrastructures critiques.

La situation de la ville sur une lagune à l'embouchure du fleuve Sénégal, son plan urbain régulier, son système de quais et son architecture coloniale caractéristique confèrent à Saint-Louis sa qualité particulière et son identité. Mais sa situation géographique la met en péril en raison de la progression de l'eau de mer dans la lagune du fait des besoins croissants en eau douce d'une ▽



21 © RESALLIENCE

21- Modélisation fonctionnelle des infrastructures de transports et des ouvrages hydrauliques sous stress climatique appliqué sur le réseau Cofiroute ainsi que sur Olympia Odos en Grèce.
 22- Wind Lyon : modélisation des effets venturi et du microclimat urbain sur la place de Francfort à Lyon en période de canicule.



22 © RESALLIENCE

population de plus en plus dense et de sa captation en augmentation croissante.
 La ville s'enfoncé dans la lagune par subsidence, des phénomènes de corrosion apparaissent sur les canalisations enterrées et les fondations des bâtiments, l'érosion marine fait un travail de sape permanent.
 Le programme développé pour Saint-Louis du Sénégal doit permettre d'évaluer le niveau de vulnérabilité socio-économique et technique afin de définir une stratégie de déplacement dans le temps des infrastructures et de la population et un plan d'investissement adapté au changement climatique.
 Créée en juillet 2018, Resalliance a démarré son activité avec 4 collaborateurs. En 2021, elle en totalise 8 et gère 15 projets en cours en France et dans

SIXENSE EN BREF

Sixense est un groupe international à l'offre unique en matière de conseil, de services aux chantiers et de gestion des données pour la construction et la gestion d'infrastructures, tout au long de leur cycle de vie.
Ses capacités de surveillance, de diagnostic et de modélisation permettent à ses clients de prendre le pouls de leurs infrastructures pour mieux les comprendre et pérenniser leur performance.
Avec ses quatre spécialités (Engineering, Monitoring, Platform Solutions et Mapping), Sixense couvre l'intégralité du cycle de vie des infrastructures : conception, construction, exploitation, maintenance et déconstruction.
Ses expertises et sa haute technicité sont soutenues par le digital et une maîtrise pointue de la data pour accompagner ses clients dans la transformation numérique de leurs métiers.
Sixense intervient dans de nombreux marchés : aéroports, barrages, bâtiments, éolien, nucléaire, ouvrages d'art, réseaux ferroviaires, réseaux routiers et travaux urbains.

le monde. Elle travaille en étroite collaboration avec l'équipe de Sixense Ingénierie ce qui lui permet de disposer de capacités intellectuelles et techniques très importantes.
 La société constitue, au sein du Groupe Vinci, un centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique. □

- 1- Institut Méditerranéen du Risque de l'Environnement et du Développement Durable.
- 2- École des Ingénieurs de la Ville de Paris.
- 3- Sixense : voir TRAVAUX n° 952 - juillet-août 2019.
- 4- Membre du Groupe de la Banque mondiale, IFC est la plus importante institution mondiale d'aide au développement dont les activités concernent exclusivement le secteur privé dans les pays en développement.
- 5- OPEX ou dépenses d'exploitation sont les charges courantes pour exploiter un produit, une entreprise, ou un système. CAPEX ou dépenses d'investissement se réfèrent aux immobilisations.

SANTÉ • PRÉVOYANCE • ASSURANCES • ÉPARGNE • RETRAITE • VACANCES

NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

Nous connaissons bien votre métier et tous ses risques. Nous les couvrons avec des garanties adaptées pour mieux vous protéger, mieux vous assurer et vous soutenir en cas de besoin. Et comme nous faisons aussi partie de la famille du BTP, nous ferons toujours route commune.



PRO BTP
GROUPE

www.probtp.com



1

© INNOVIA

LA PRESQU'ÎLE DE GRENOBLE EN PLEINE MUTATION

AUTEUR : HERVÉ CONSTANTIN, DIRECTEUR DÉVELOPPEMENT, ARCADIS

À LA CONFLUENCE DE L'ISÈRE ET DU DRAC, LA PRESQU'ÎLE DE GRENOBLE, HISTORIQUEMENT DÉDIÉE À LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, EST EN PLEINE MUTATION SANS SE DÉTOURNER DE CETTE SPÉCIFICITÉ QUI LUI CONFÈRE UNE RENOMMÉE INTERNATIONALE. LABELLISÉE ÉCOCITÉ, ELLE S'INSCRIT DANS UNE DÉMARCHE ENVIRONNEMENTALE AMBITIEUSE, OÙ MOBILITÉ DURABLE ET TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SONT LES MAÎTRES-MOTS.

UN DÉVELOPPEMENT EXEMPLAIRE SUR DES TERRAINS DÉGRADÉS

À la confluence de l'Isère et du Drac, la Presqu'île de Grenoble, historiquement dédiée à la recherche scientifique, accueillait de nombreux sites satellites associés à cette activité.

Loin de se détourner de cette spécificité qui fait partie de son ADN et qui lui confère une renommée internationale, la Presqu'île devient parallèlement un véritable lieu de vie, tout en voyant son dynamisme économique se renforcer. Labellisé Écocité, le quartier s'inscrit

dans une démarche environnementale ambitieuse, où mobilité durable et transition énergétique sont les maîtres-mots. Au niveau de chaque bâtiment, la géothermie est de rigueur pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et de refroidissement : un forage de pompage dans la nappe très abondante des alluvions de l'Isère et du Drac est réalisé, avec un rejet direct dans l'Isère.

Ainsi l'ambition est de redonner de la valeur à des terrains potentiellement dégradés pour permettre le redéveloppement en termes d'activité, d'habita-

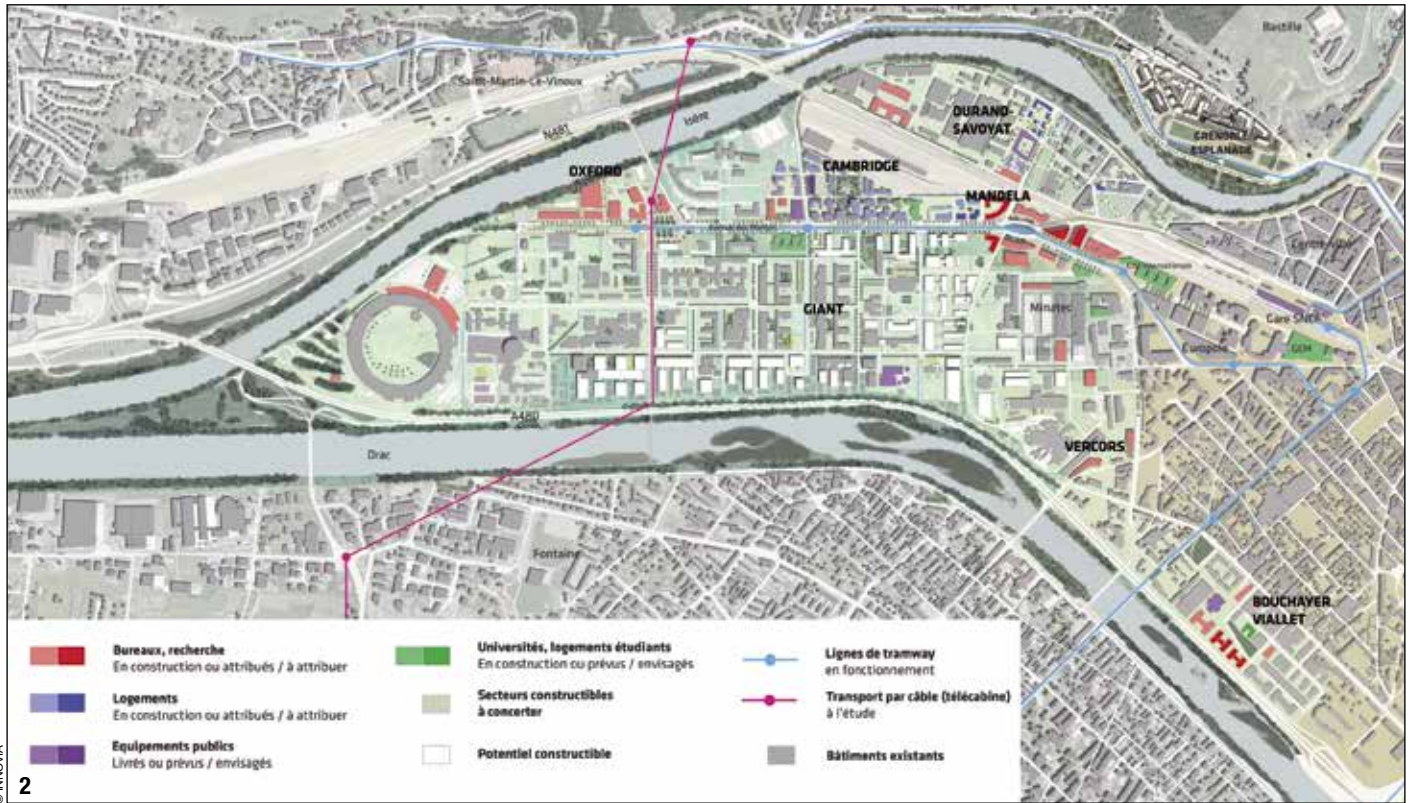
**1- État actuel
de la presqu'île
de Grenoble.**

**1- Current state
of the Grenoble
peninsula.**

tion et de vie étudiante sur la Presqu'île. La ville de Grenoble a mandaté InnoVia Grenoble Durablement, Société d'Économie Mixte, pour développer ce secteur en tant qu'aménageur public local. La ZAC de Bouchayer Viallet (intégrée

en secteur de la ZAC Presqu'île) et la ZAC De Bonne (premier Ecoquartier labellisé en France) font parties des références d'Arcadis pour le compte d'InnoVia en tant qu'aménageur de ZAC sur la Ville de Grenoble.

L'urbanisme de Grenoble Presqu'île est porté par l'agence d'architecture Christian de Portzamparc. Premier français à avoir reçu la plus haute distinction d'architecture (Prix Pritzker), il accorde dans son travail une importance majeure à la ville et à la façon dont les individus y vivent. Le concept d'"îlot ouvert" irrigue ses nombreuses réalisations (figure 2).



UNE APPROCHE MULTIPHASE POUR LA RÉHABILITATION DES TERRAINS

L'urbanisation de la Presqu'île nécessite une démarche multiphase compte tenu de la pollution présumée des terrains.

PHASE ACQUISITION

En vue de l'acquisition des terrains, une première revue des données envi-

ronnementales, en termes de pollution notamment, a été nécessaire, au-delà de la partie intérêt urbanistique et nécessité d'acquisition. Une revue rapide du contexte environnemental a été réalisée afin de permettre des négociations équitables.

2- Plan des activités.
3- Vue aériennes de la Presqu'île (1956 - 1971).

2- Activity plan.
3- Aerial view of the peninsula (1956 - 1971).

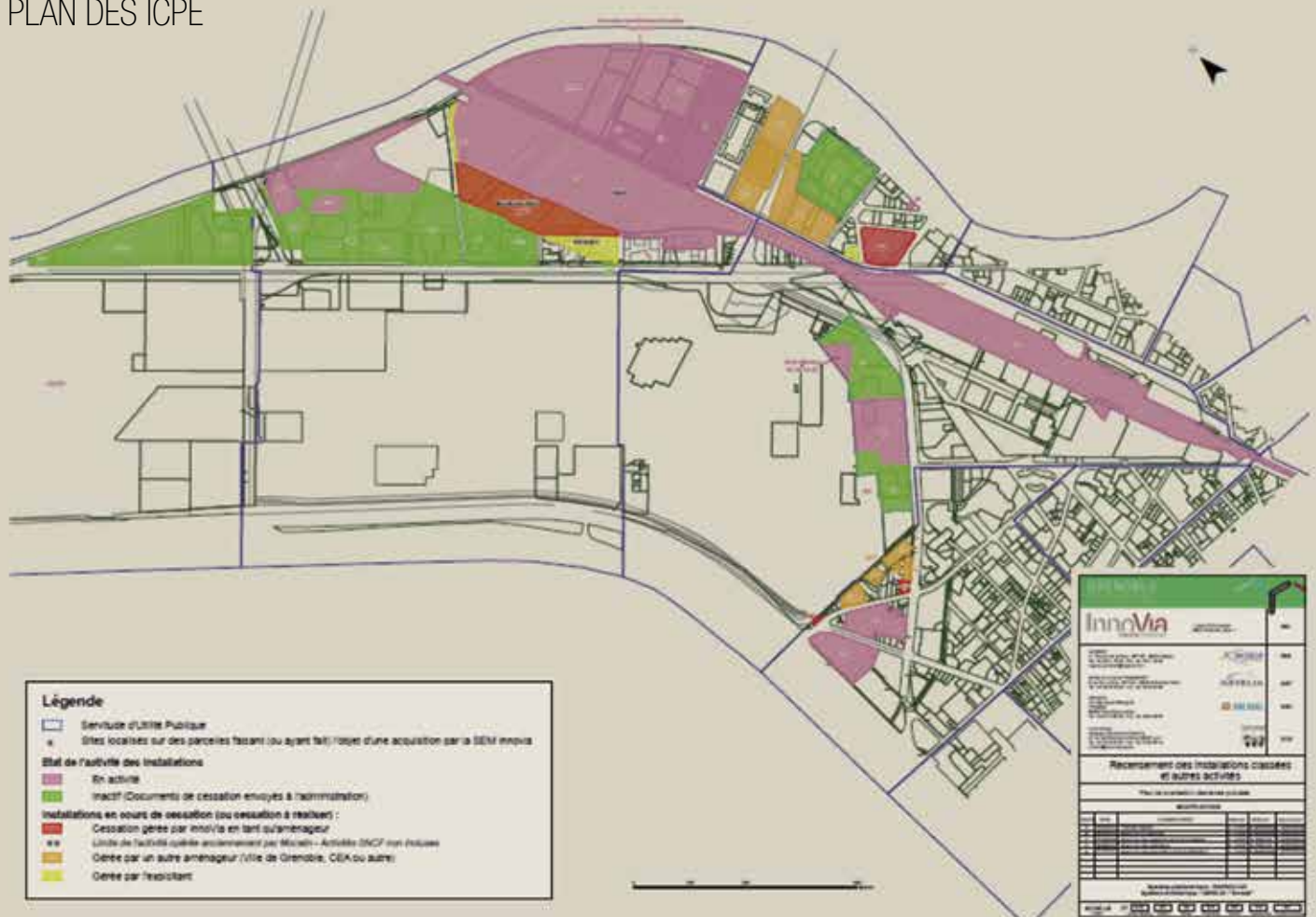
ronnementales, en termes de pollution notamment, a été nécessaire, au-delà de la partie intérêt urbanistique et nécessité d'acquisition. Une revue rapide du contexte environnemental a été réalisée afin de permettre des négociations équitables.

Cette phase inclut une étude historique conséquente (figure 3) pour la partie environnementale proprement dite

(anciennes activités, évènements/accidents historiques sur le secteur...), mais également une étude règlementaire. L'analyse est donc conduite à partir des documents mis à disposition par le vendeur, mais aussi à partir d'une enquête complète auprès de l'Administration (archives municipales, services de l'État comme la DREAL, la DDT...) (figure 4). ▷



PLAN DES ICPE



4

© ARCADIS

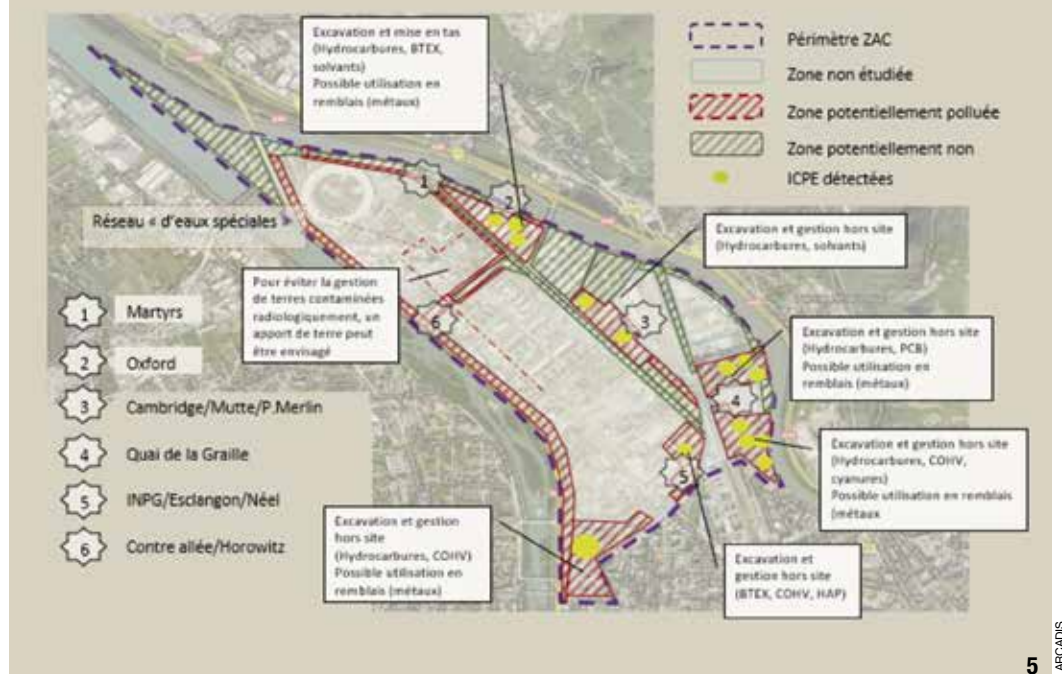
4- Plan des ICPE.
5- Plan des terres à gérer.

4- Plan of facilities classified for environmental protection.
5- Land management plan.

Cette étude permet d'établir un premier état des lieux qui prend en compte le contexte environnemental de l'acquisition. Cette donnée est primordiale puisqu'elle permet, outre les négociations pour l'acquisition des terrains, d'établir un schéma directeur de l'aménagement cohérent conjointement avec l'aménageur et l'urbaniste tout en prenant en compte les contraintes initiales environnementales.

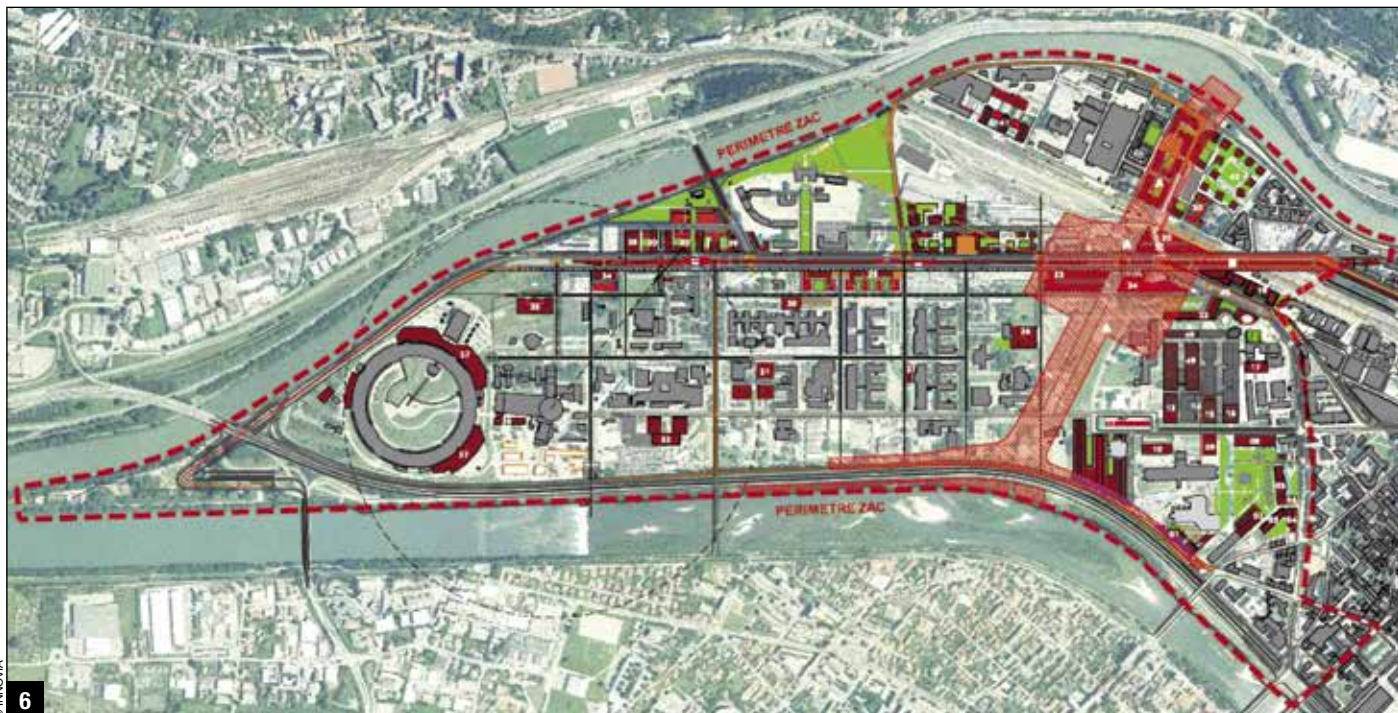
Cette phase permet d'obtenir une première approche des montants nécessaires à une réhabilitation adaptée de chaque terrain et donc d'en déduire la valeur du terrain pour finaliser les négociations d'acquisition (figure 5).

PLAN DES TERRES À GÉRER



5

© ARCADIS



PHASE POST ACQUISITION/ AVP AMÉNAGEMENT

Afin de compléter les données de l'étape précédente, une deuxième phase s'engage concernant l'organisation globale de la ZAC en termes urbanistiques et les contraintes inhérentes à la dégradation potentielle des terrains.

Ainsi une phase de dégrossissage est entreprise avec l'aménageur et l'urbaniste pour l'orientation des activités et/ou la reconstruction sur ce secteur. Pour cette ZAC Presqu'île de Grenoble, une répartition de l'espace en sept secteurs a été retenue (figure 6).

6- Plan des secteurs.

7- Diagnostic par secteur.

6- Plan of the sectors.

7- Diagnostic by sector.

Cette phase d'étude post acquisition comporte des investigations de terrain "grande maille" pour la partie environnement/pollution (figure 7), ainsi qu'une mise à jour des dossiers réglementaires

le nécessitant comme par exemple les dossiers ICPE n'ayant pas fait l'objet de clôture. Ce dernier point se traite par des séances de travail incluant l'aménageur mais aussi les services de l'État. Il permet de donner toute latitude à l'aménageur sur le devenir des terrains en levant les éventuelles contraintes administratives résiduelles.

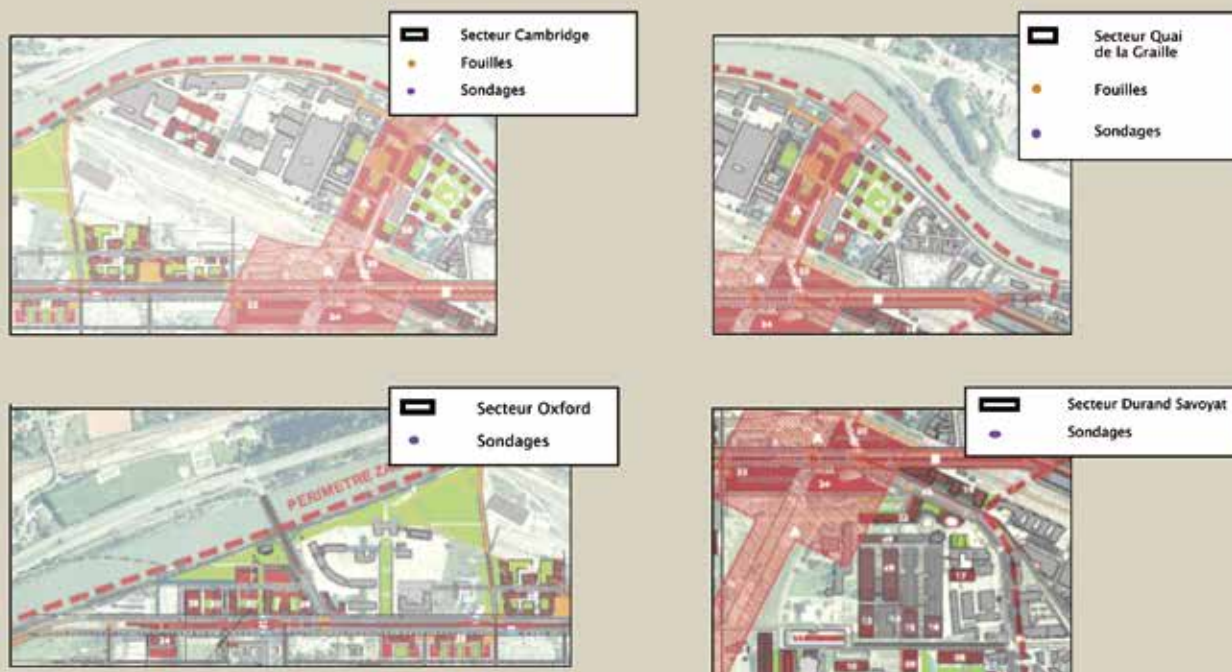
PHASE PRO

Dans le cadre du schéma global d'aménagement éventuellement modifié du fait des contraintes de pollution mises à jour (usage des zones éventuellement redéfini en fonction de ces données

complémentaires), il est nécessaire de réaliser une étude plus détaillée. Ainsi, sur la ZAC, l'orientation d'usages sur certaines parcelles à forte pollution a pu être modifiée afin de réduire les coûts de traitement en fonction de la pollution mise à jour et du projet envisageable. Cette phase spécifique permet à l'aménageur d'optimiser ses coûts tout en permettant un redéveloppement multi-usage de la zone.

Cette phase PRO débouche sur le schéma d'organisation de la ZAC et la répartition des futurs usages en fonction du schéma directeur donné par les besoins à satisfaire. ▷

DIAGNOSTIC PAR SECTEUR



PROJET POUR LE SITE OIC PARTNER

PHASE DÉVELOPPEMENT

Pour cette phase du redéveloppement de la ZAC, il est nécessaire de raisonner maintenant à l'échelle des parcelles et non plus de la ZAC au global.

Les contraintes règlementaires ayant été levées initialement en Phase AVP, il est maintenant nécessaire de travailler au niveau de la parcelle, tout en ayant une vision de la parcelle dans l'environnement de la ZAC.

Ainsi, lors de la cession d'une parcelle à un promoteur, le travail se poursuit par une étude "sur mesure" en fonction des spécificités du projet retenu sur cette parcelle.

Il s'ensuit donc une étude détaillée qui passe par des investigations de terrain complémentaires ainsi que des études de risques sanitaires adaptées au projet qui verra le jour sur la parcelle. Ces calculs de risques sanitaires permettent d'évaluer la compatibilité du projet en termes d'activité, mais aussi en termes de constructibilité.

Cette étude de risques sanitaires est garantie par les services de l'État et annexée à l'acte notarié de cession du site et les recommandations formulées sont inscrites au service cadastral afin de garder la mémoire de l'état environnemental du site.

PHASE CONSTRUCTION

Cette phase correspond à la finalisation des plans pour le dossier de permis de construire de chaque promoteur. Lors de cette phase, InnoVia accompagne les promoteurs dans le redéveloppement de la ZAC pour garder la maîtrise des coûts de traitement afférents à la pollution identifiée lors de l'achat des terrains par les promoteurs.

Ainsi, à la suite des calculs de risques, deux types de lignes directrices pour les traitements s'en suivent : soit des travaux de dépollution/gestion des déblais, soit des recommandations spécifiques pour l'utilisation du site.

Travaux de dépollution / gestion des déblais :

Afin de livrer un terrain aménageable selon le projet du promoteur et afin de garder la maîtrise du coût des travaux de dépollution du site, InnoVia doit garantir la constructibilité de la parcelle : pour cela, InnoVia assure les pré-travaux avec une optimisation et une gestion des déblais (cf. article "Gestion des déblais" dans le prochain numéro 969 de Travaux).

Ainsi l'accompagnement se fait jusqu'au constructeur lui-même, avec une gestion des déblais et/ou de la pollution.



8a

© INNOVIA

Recommandations spécifiques pour l'utilisation du site :

En fonction du degré de pollution des parcelles et des spécificités des projets, des recommandations constructives peuvent être suffisantes pour garantir une constructibilité en vue d'un usage particulier du site. Ainsi les échanges avec le promoteur permettent de définir des adaptations constructives du projet en phase permis de construire pour garantir sa recevabilité auprès des services de l'État et notamment de la Dreal qui suit en particulier les parcelles ayant accueilli des installations ICPE.

ACCOMPAGNEMENT FINANCIER

Afin de permettre à InnoVia de mener à bien l'ensemble complet des ces

8a & 8b- Projet pour le site Oic Partner.

8a & 8b- Project for the Oic Partners site.

études et travaux, une demande d'aide à la Région via le fonds Feder a été instruite. Arcadis est intervenu auprès d'InnoVia afin de les assister dans la constitution du dossier pour inventorier et évaluer les phases et les montants éligibles à cette aide.

EXEMPLE D'APPLICATION POUR LE SITE OIC PARTNER

Une première approche de l'étude historique a montré sur ce secteur la

présence d'installations classées pour la protection de l'environnement ou équivalent (réglementation datant de 1976).

Un diagnostic général du secteur a ensuite établi la présence de traces de pollution qui rendait donc le site difficilement constructible en l'état.

Il a donc été procédé à un diagnostic parcellaire pour estimer en première approche le coût des travaux de remise en état à mettre en œuvre pour permettre la construction d'un bâtiment. Ce diagnostic a révélé outre une pollution chimique, une pollution à l'amiante liée à un dépôt d'éléments amiantés type fibrociment sur la parcelle.

À l'issue du concours ayant désigné le lauréat pour l'aménagement de la parcelle, une étude de com-



8b

© INNOVIA



9
© ARCADIS



10
© ARCADIS

patibilité sanitaire a été nécessaire afin de déterminer les travaux de dépollution à réaliser en fonction du projet de l'architecte du lauréat. Cette étude a donc été menée avec le promoteur/constructeur désigné afin d'évaluer le coût de la dépollution pour le projet en tenant compte éventuellement des recommandations constructives en fonction des degrés de pollution acceptables (figure 8).

9- Site Oic Partners avant travaux.
10- Site Oic Partners en cours de pré-terrassement.

9- Oic Partners site before works.
10- Oic Partners site during preliminary earthworks.

Cette phase met en lumière la pertinence des échanges itératifs entre le constructeur, la SEM InnoVia et Arcadis afin de choisir le projet avec ses aménagements nécessaires pour une réalisation compatible avec la qualité environnementale des sols et l'usage final de la construction (figures 9 et 10).

À l'issue de ces échanges, un pré-terrassement a été pris en charge par

l'aménageur public de manière à rendre compatible le projet du constructeur avec l'usage futur du site. Ce pré-terrassement sous maîtrise d'œuvre Arcadis a permis :

- À l'aménageur de gérer de façon optimale le coût de la dépollution ;
- Au constructeur de réaliser son projet sans incertitude sur les travaux de dépollution, le pré-terrassement n'étant pas à sa charge. □

LA PRESQU'ÎLE DE GRENOBLE EN QUELQUES CHIFFRES

- Superficie de 265 ha
- 2400 logements familiaux
- 1 000 logements étudiants
- 6600 m² de commerces
- 8000 m² d'équipements publics
- 300 000 m² d'immobilier tertiaire
- 230 000 m² de bâtiments pour laboratoires et recherches
- 50 000 m² de bâtiments pour l'enseignement supérieur

PRINCIPAUX INTERVENANTS

PORTEUR DU PROJET : Ville de Grenoble
AMÉNAGEUR : InnoVia Grenoble durablement
ARCHITECTE EN CHEF : 2Portzampac
PAYSAGISTES : Michel Péna, Florence Mercier
ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE : Terre Eco, Enertech, Antéa
PILOTAGE : Setec organisation
MAÎTRE D'ŒUVRE : Ingérop, Arcadis, Artelia, Hors-Champs, Alp'Etudes, Allimant paysages, Wsp
COORDONATEUR GÉNÉRAL SÉCURITÉ : Socotec, Présents
GÉOMÈTRE : Agate

ABSTRACT

THE GRENOBLE PENINSULA IN THE MIDST OF TRANSFORMATION

HERVÉ CONSTANTIN, ARCADIS

At the confluence of the Isère and Drac, the Grenoble peninsula, historically dedicated to scientific research, was home to numerous industrial research facilities. It is in the midst of a transformation while retaining this specific feature to which it owes its international renown. With an Écocité label, it is undergoing renovation via an environmental approach in which sustainable mobility and energy transition are the keywords. The city commissioned InnoVia as local public development planner to restore value to potentially degraded land and allow the redevelopment of life on the peninsula. A multiphase approach, alongside each developer, from acquisition of the land to construction, was undertaken with support from Arcadis to deal with presumed ground pollution, so that pollution risk would remain the responsibility of the development planner. □

LA PENÍNSULA DE GRENOBLE EN PLENA MUTACIÓN

HERVÉ CONSTANTIN, ARCADIS

En la confluencia del Isère y el Drac, la península de Grenoble, históricamente dedicada a la investigación científica, albergaba numerosas plantas industriales asociadas a esa actividad. Actualmente se encuentra en plena mutación, aunque conserva esa especificidad, que le confiere renombre internacional. Certificada como Ecociudad, su rehabilitación se inscribe en un proyecto medioambiental basado en la movilidad sostenible y la transición energética. La ciudad ha elegido a InnoVia como planificador público local para revalorizar terrenos potencialmente degradados e impulsar una revitalización de la península. Se ha iniciado un proceso multifase, que acompaña a cada promotor de la adquisición del terreno a la construcción, con la participación de Arcadis para tener en cuenta posibles riesgos de contaminación de los terrenos, que quedarán bajo la responsabilidad del planificador. □



© GROUPE ADP

UNE EXO-STRUCTURE EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ POUR RENFORCER LE PONT AÉRONAUTIQUE n°2 À ORLY

AUTEURS : ADRIEN CORBIERE, CHEF DE PROJET, DÉPARTEMENT PONTS ET OUVRAGES D'ART, ARTELIA - NABIL YAZBECK, DIRECTEUR, DÉPARTEMENT PONTS ET OUVRAGES D'ART, ARTELIA - MICHEL PAGES, DIRECTEUR OPÉRATIONNEL, SECOA / GROUPE ARTELIA - ROBERT CHARPENTIER-TITY, RESPONSABLE PÔLE OUVRAGES D'ART (DIAMIP), AÉROPORTS DE PARIS - MOHAMED BELMOKHTAR, INGÉNIEUR TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION, VINCI

LE RENFORCEMENT DU PONT AÉRONAUTIQUE N°2 ILLUSTRE LES CAPACITÉS DE RÉSILIENCE QUI PEUVENT EXISTER DANS LE DOMAINE DES OUVRAGES D'ART. CE PONT-TUNNEL, CONSTRUIT À LA FIN DES ANNÉES CINQUANTE, DEVAIT SUBIR UNE CURE DE JOUVENCE POUR RESTER FONCTIONNEL. LES TRAVAUX DEVAIENT ÊTRE MENÉS SANS PERTURBER L'EXPLOITATION DE LA PISTE QU'IL SUPPORTE ET DES VOIES QU'IL FRANCHIT. LA SOLUTION RETENUE A ÉTÉ CELLE DE L'ADJONCTION D'UNE EXO-STRUCTURE ENTIÈREMENT PRÉFABRIQUÉE, CONSTITUÉE DE PRÈS DE 500 ÉLÉMENTS, RENDUE SOLIDAIRE DE SON HÔTE PAR PRÉCONTRAINTE.

Le pont aéronautique n°2 à Orly, construit en 1958, supporte la piste n°3, l'une des deux pistes principales de l'aéroport. Outre les quatre voies de la RN7, il franchit également la Ligne 7 du tramway francilien, une route de service et deux pistes cyclables (figure 1).

Cet ouvrage, large de 305 m, est un pont en béton précontraint à deux travées présentant une longueur totale de 41 m (24,25 - 16,75 m). Le tablier est constitué de poutres sous chaussée de 1,60 m de hauteur espacées de 3,50 m.

Ce pont, de par sa conception d'origine, n'était pas bien protégé contre les agressions de l'environnement. Une résine étalée sur sa surface permettait une amélioration de l'adhérence de la chaussée, mais n'assurait que très partiellement une fonction d'étanchéité. Les fissures du béton de structure se prolongent à travers cette couche de résine et autorisent ainsi des infiltrations d'eau de pluie susceptible de corroder les armatures du tablier. Cet ouvrage avait par ailleurs déjà fait l'objet de plusieurs opérations de renforcement par ajout de précontrainte

1- Le pont aéronautique n°2 (Orly).

1- Aircraft bridge No. 2 (Orly).

extérieure, pour relever sa capacité portante initiale et lui permettre de supporter le passage d'aéronefs de 400 t, contre un poids maximal de 300 t prévu dans sa conception d'origine.

Ce principe de renforcement avait atteint sa limite et il fallait désormais envisager d'autres solutions pour permettre le passage de très gros porteurs sur la piste n°3.

Afin de s'adapter à l'évolution mondiale du parc aéronautique et dans un souci de modernisation des infrastructures de l'aéroport, le Pôle Ouvrages d'Art de la direction de l'Ingénierie d'ADP a conçu une solution technique permettant de renforcer la structure du pont et celles de ses deux galeries techniques attenantes, en leur donnant la capacité de recevoir des aéronefs de 650 t tout en



© GROUPE ADP

2

les dotant d'une étanchéité pérenne. Ce projet devait en outre donner à l'ouvrage une résistance accrue au feu, sans mise en place d'un revêtement spécifique qui n'aurait plus permis les inspections ultérieures de la structure. C'est sur cette solution technique inno-

vante, qui proposait un renforcement consistant dans l'adjonction d'une exo-structure en béton préfabriqué précontraint, qu'a été lancé un concours de conception-réalisation auprès de plusieurs groupements d'entreprises (figure 2). Cette solution reposait sur le

2- Maquette d'une tranche de l'ouvrage et de son exo-structure.

3- Archive - Élévation sur pile existante.

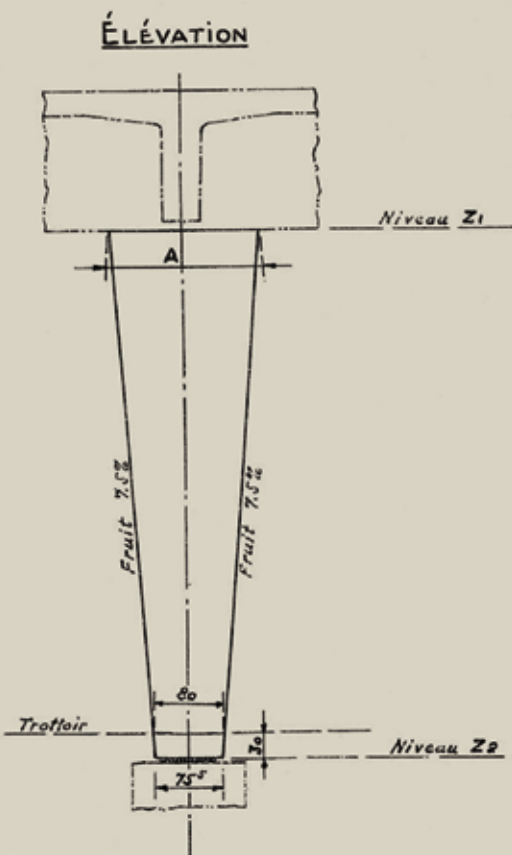
4- Archive - Coupe sur poutre existante.

bon choix du béton, qui devait présenter un module suffisamment raide pour permettre une diffusion efficace de la précontrainte, et sur la détermination d'une dénivellation d'appui adéquate permettant d'effacer un déficit de compression en fibre inférieure des poutres au droit de l'appui intermédiaire.

La mise au point de ce projet de rénovation innovant et complexe a nécessité la réalisation d'études approfondies, afin de s'assurer que ces travaux très techniques étaient réalisables dans un environnement très contraint.

Le groupement lauréat de l'appel d'offre, associant les entreprises Chantiers Modernes Construction, Freyssinet, Eurovia et Soleffi à l'ingénieur Artelia et sa filiale Secoa, s'est vu confier le marché de Conception-Réalisation en décembre 2016. ▶

ARCHIVE - ÉLÉVATION SUR PILE EXISTANTE



© GROUPE ADP

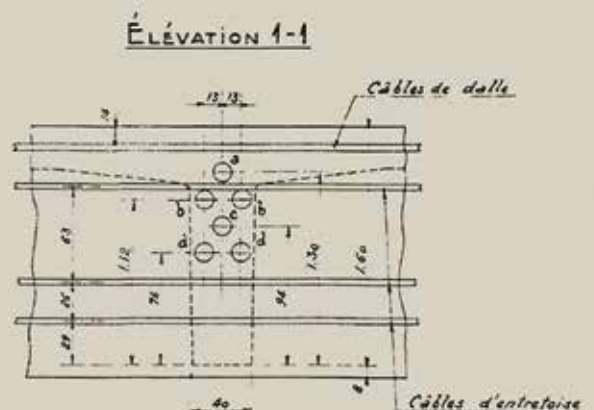
3

2- Model of a section of the structure and its exo-structure.

3- Archive - Elevation view on existing pier.

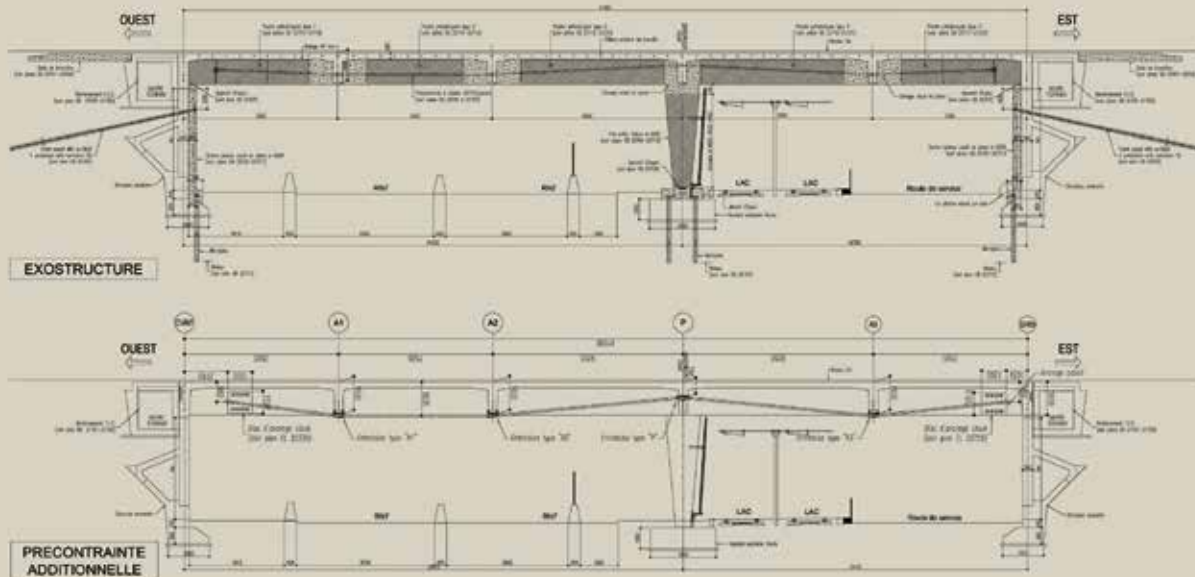
4- Archive - Cross section on existing beam.

ARCHIVE - COUPE SUR POUTRE EXISTANTE



4

ÉLÉVATIONS DE L'OUVRAGE RENFORCÉ



5 © ARTELIA

Il a pris à son compte et développé dans le détail la conception et les méthodes de construction de la solution proposée par l'Ingénierie du groupe ADP.

Les travaux de renforcement et de réfection de l'étanchéité, qui se sont étalés sur une durée de 22 mois, ont débuté en janvier 2018 et se sont achevés en octobre 2019. Compte tenu de l'implantation et de la fonction de l'ouvrage, le délicat phasage des travaux a nécessité de nombreuses interventions de nuit, sur la piste n°3 et sous le tunnel, sous fermeture à la circulation de la piste, de la RN7 et du tramway.

Les différentes étapes de l'opération ont consisté en :

→ Le repérage par gammagraphie et détection radar de la position des

aciers actifs (précontrainte existante) et passifs (armatures des poutres en béton armé) ;

→ Le renforcement des parties latérales du pont par la mise en œuvre de précontrainte additionnelle ;

→ Le renforcement des galeries techniques attenantes à l'ouvrage par la mise en œuvre de Tissus en Fibres de Carbone (TFC) ;

→ La mise en place de l'exo-structure en partie centrale du pont (zone piste et approche de précision, soit 210 m de largeur) ;

→ La reprise de l'étanchéité du pont et la mise en œuvre d'un revêtement enrobé de 10 cm d'épaisseur ;

→ La démolition et la reconstruction des dalles de transition ;

5- Élévations de l'ouvrage renforcé.

6- Vue en plan - Repérage des zones de renforcement.

5- Elevation views of the strengthened structure.

6- Plan view - Identification of strengthening areas.

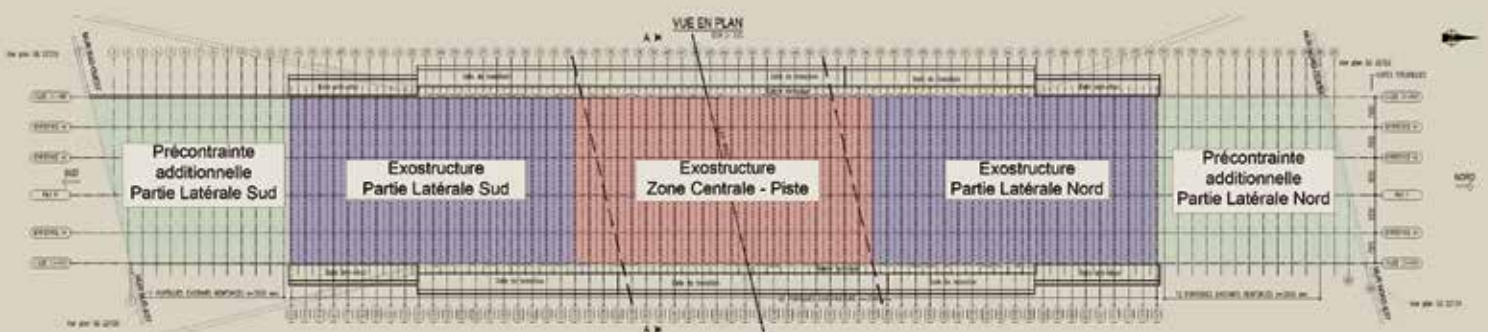
→ La réalisation de différentes opérations de réparation et de maintenance : changement des appareils d'appui et des joints de dilatation mécaniques, ragréage, ...

LES CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE EXISTANT

Les poutres du tablier reposent sur les culées par l'intermédiaire d'appareils d'appui en élastomère fretté. L'appui intermédiaire est constitué d'une série de piles, de forme trapézoïdale, qui reposent en leur base sur des appuis néoprène pour former une articulation (figure 3).

Les poutres, espacées de 3,5 m, sont encastrées sur la tête des fûts. Elles sont constituées d'une âme de 1,60 m de hauteur et de 40 cm d'épaisseur (figure 4). Elles sont reliées par des entretoises intermédiaires dont la forme est identique à celle des poutres ; seule leur hauteur est légèrement inférieure (1,50 m).

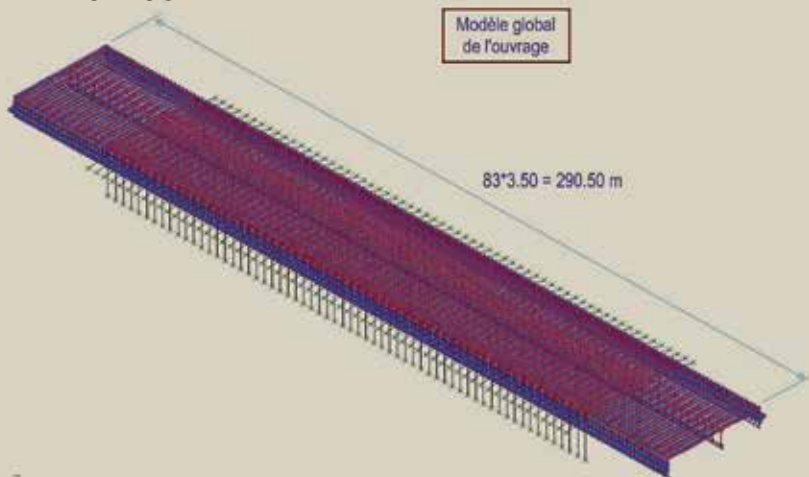
VUE EN PLAN - REPÉRAGE DES ZONES DE RENFORCEMENT



6

© ARTELIA

MODÈLE DE CALCUL



© ARTELIA

7

Le hourdis est constitué d'une dalle d'épaisseur variable de 0,28 m à 0,38 m à l'encastrement des goussets sur les poutres.

Les culées sont constituées de voiles porteurs (piédroits) reposant sur une semelle superficielle. En zone centrale de l'ouvrage, la géométrie des culées est rendue plus complexe côté remblai par la présence d'une galerie de ventilation.

Les piles intermédiaires sont également fondées sur une semelle superficielle filante. Elles comportent une articulation Freyssinet supérieure avec béton rétréci. Transversalement (c'est-à-dire dans le sens de la plus grande dimension de l'ouvrage), elles sont donc bi-articulées et fonctionnent comme des bielles. Cette disposition permet d'assurer la libre dilatation de l'ouvrage suivant sa grande dimension. Longitudinalement, elles sont encastrées en tête et articulées en pied.

7- Modèle de calcul.

8- Les contraintes d'exploitation.

7- Design model.

8- Operating constraints.

LA CONCEPTION DE L'EXO-STRUCTURE ET DES RENFORCEMENTS

Le procédé principal de renforcement retenu conserve l'homogénéité du fonctionnement "béton précontraint" de la structure actuelle. Le principe de l'exo-structure consiste en l'ajout de portiques longitudinaux en béton préfabriqué post-contraints entre les portiques existants actuels (figures 5 et 6). En rives de l'ouvrage, en-dehors de la

zone susceptible de supporter les aéronefs, l'exo-structure n'est pas nécessaire. Le tablier est alors renforcé par une simple précontrainte extérieure ancrée sur des blochets en béton préfabriqué, cloués sur les poutres existantes à l'aide de barres de précontrainte. Les unités de précontrainte extérieure mises en œuvre sont des câbles 9T15S, à raison de deux unités par poutre. Le clouage des blochets est assuré par des barres de précontrainte Ø 40 mm.

En partie centrale de l'ouvrage (210 m), l'exo-structure, entièrement préfabriquée, consiste en des portiques additionnels composés de piles et de poutres, d'épures identiques à celle de l'existant. Ces portiques sont brêlés à la structure existante par des barres de précontrainte verticales. On dispose ainsi 62 portiques complémentaires, centrés sur l'axe de la piste. Les nouveaux appuis sont fondés sur

des micropieux additionnels disposés sous les piles et les culées. Les piédroits sont doublés par des poteaux additionnels, liaisonnés à l'aide d'aciers passifs scellés, et sur lesquels reposent les poutres de l'exo-structure. Ils sont renforcés par des tirants passifs ancrés dans les remblais techniques, un au droit de chaque poteau additionnel. L'ancrage du tirant est noyé dans le poteau afin d'en assurer la protection à la corrosion et au feu, et pour ne pas engager le gabarit routier. Les galeries techniques ont reçu un renforcement par mise en œuvre de tissu de carbone dans les zones déficitaires en armatures, pour être capables de reprendre les charges concentrées apportées par les essieux des aéronefs. Dans une zone centrale d'environ 60 m, correspondant à la largeur de la piste n°3, les dalles de transition existantes, disposées à l'arrière des culées, ont été démolies et remplacées par des dalles renforcées, dimensionnées pour la reprise des nouvelles charges. De part et d'autre des dalles de transition et jusqu'en limite de l'exo-structure, on dispose des dalles antichocs reposant en partie sur les galeries techniques et en partie sur le remblai. Les murs en retour ont également été renforcés au moyen de tirants passifs pour être aptes à reprendre la poussée des surcharges induites par le passage accidentel d'un gros porteur.

La traverse de chaque portique est constituée de cinq éléments de poutre. Ces éléments sont disposés entre les entretoises transversales puis liaisonnés à la structure existante par les barres verticales. Entre les éléments existants et les éléments préfabriqués, un matage réalisé après préparation des surfaces permet d'assurer un niveau de rugosité adéquat. ▶



© GROUPE ADP

8

La précontrainte verticale est ancrée dans le hourdis supérieur dans des plaques spéciales équipées d'une rotule sphérique. L'espacement des barres est variable selon les efforts à couder et la position réelle des câbles de précontrainte dans le hourdis existant, qui a fait l'objet d'un relevé complet (le hourdis existant est précontraint dans les deux directions). Les mises en tension des barres sont effectuées à partir de l'ancrage bas, protégé du feu par un capot.

Les appuis complémentaires pour recevoir les poutres de chaque traverse de l'exo-structure sont réalisés au préalable et ajoutés à la structure existante. Une précontrainte longitudinale intérieure, constituée de deux câbles 12T15S par portique, est ensuite mise en œuvre sur la longueur des traverses. Les ancrages des câbles sont disposés dans des bossages intégrés aux éléments préfabriqués d'about. Les câbles sont constitués de monotorons gainés graissés, mis en tension individuellement avec un vérin de faible encombrement.

Le schéma statique de l'ouvrage n'est pas modifié par le renforcement. Les appuis existants sont entièrement remplacés. Afin de répartir de manière optimale les efforts entre piles existantes et additionnelles, les dimensions en plan des appuis élastomère ont été optimisées sous les piles existantes tout en conservant le principe des rotules. Après clavage et mise en précontrainte, l'exo-structure et l'ouvrage existant fonctionnent comme un tout. Afin de ne pas engager le gabarit routier, la hauteur des poutres de l'exo-structure (y compris hourdis) est fixée à 1,50 m (même hauteur que les entretoises). Ainsi, les ancrages des barres verticales de clouage peuvent être sortis à l'extérieur et protégés par des capots coupe-feu. Aux nœuds de croisement entre poutres préfabriquées et entretoises courantes, des zones de clavage permettent le recouvrement des aciers passifs et assurent une accessibilité pour réaliser un raccordement satisfaisant par manchonnage entre les gaines de précontrainte des éléments successifs. Les aciers passifs traversant l'entretoise sont mis en place avant la pose des poutres : les carottages nécessaires et le scellement des aciers en attente sont effectués au préalable. Sur les culées, on ne reconstitue pas de continuité avec l'entretoise existante, mais un simple matage ; la disposition est celle d'un appui d'about standard.



© ARTELIA

LA MODÉLISATION ET LES JUSTIFICATIONS CALCULATOIRES

Les calculs de dimensionnement et de justification de l'exo-structure et de l'ouvrage existant ont été effectués selon les prescriptions du Fascicule 62 (Règles BAEL et BPEL 99), en considérant la classe III du BPEL. L'ouvrage existant et l'exo-structure ont fait l'objet d'un modèle global tridimensionnel complet en grillage de poutres (figure 7), à l'aide du logiciel ST1 du Cerema. Cette modélisation globale était nécessaire afin de reconstituer avec précision l'état de la structure

9- Forage d'un tirant de renfort sur mur en retour.

10a & 10b- Mise en place des éléments préfabriqués de l'exo-structure.

9- Drilling a strengthening tie anchor on side wall.

10a & 10b- Installing precast elements of the exo-structure.

avant et après son renforcement, en intégrant le phasage de construction, les différents renforcements antérieurs ainsi que les effets du vieillissement de l'ouvrage depuis sa construction (fluage, retrait, pertes de précontrainte). Le modèle, phasé, intègre le tablier, les appuis et leurs fondations avant et après renforcement, les tirants passifs des culées et la rigidité des appareils d'appui en élastomère fretté et des sols de fondation.

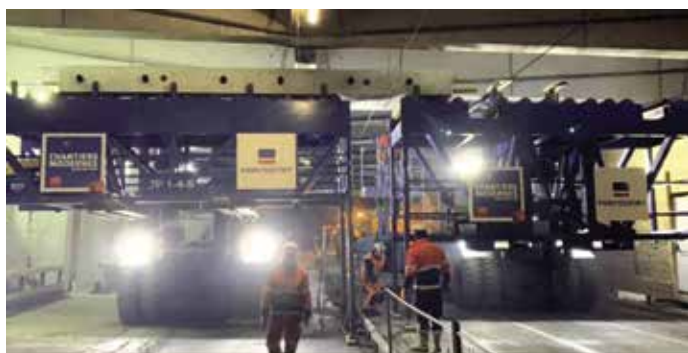
La principale charge d'exploitation est celle de l'aéronef type de 650 t, dont 24 impacts de 25 t au niveau de l'atterrisseur principal, valeur à majorer par un coefficient dynamique de 1,20. Ce chargement est de nature à couvrir les charges apportées par l'exploitation de l'A380. L'effort de freinage correspondant s'élève à 60% de la charge verticale. La surface d'application des charges est particulièrement concentrée. Le tablier est également sollicité par un gradient thermique dont l'intensité de référence est égale à $\Delta\theta = +12^\circ\text{C}$, alors que dans l'étude de l'ouvrage existant, aucun gradient n'avait été pris en compte.

Les calculs de résistance au feu ont été effectués en considérant deux configurations : feux CN90 et HCM30 avec surcharge de 650 t, et feu HCM60 sans surcharge. Ces calculs spécifiques ont été menés par la société Efectis sur



10a

© CMC-FREYSSINET



1 - Ripage de la poutre préfabriquée



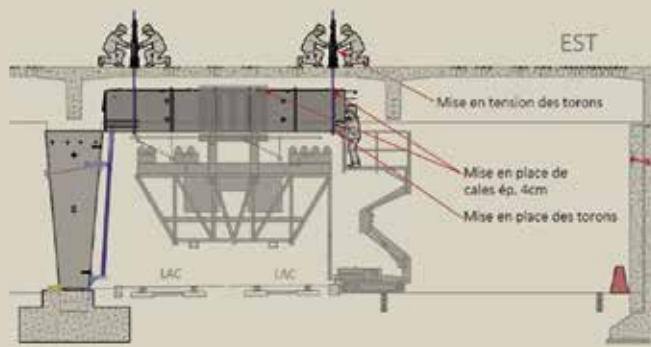
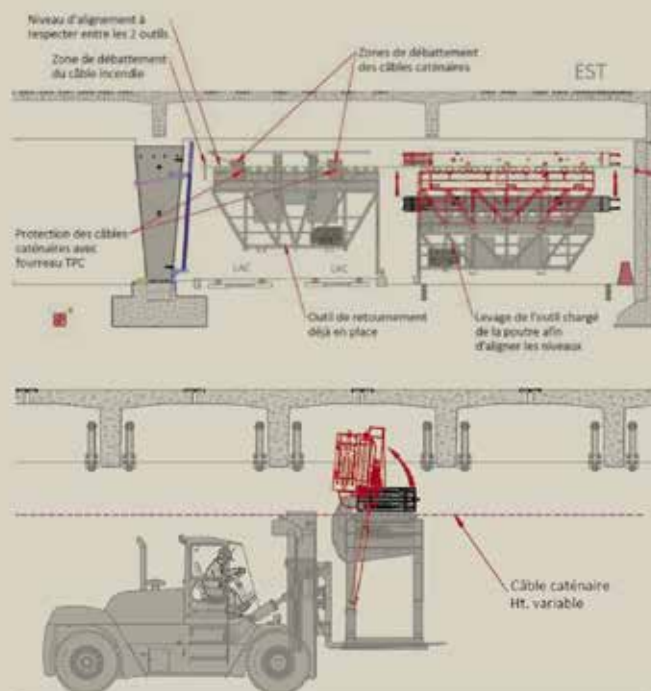
2 - Relevage



3 - Hissage

© CMC-FREYSINET

10b



la base des dimensionnements obtenus en service, qui ont été adaptés par un ensemble de dispositions constructives pour résister au mieux aux effets des incendies.

Le fonctionnement en classe III des portiques précontraints conduit à la mise en œuvre d'une section d'armatures passives importante dans les éléments préfabriqués. La configuration géométrique très contrainte des éléments préfabriqués d'une part, et la capacité résistante de l'existant d'autre part, imposaient de fait une limitation de la précontrainte longitudinale intérieure des portiques.

Les efforts de précontrainte verticale pour liasonner les éléments d'exo-structure sur le hourdis existant ainsi que ceux de cisaillement de diffusion de précontrainte ont conduit à retenir, après optimisation, 2 câbles 12T15S longitudinaux par poutre ; les aciers passifs sont disposés au cœur. Les calculs réalisés en phase d'exé-

11- L'exo-structure avant bétonnage des nœuds de clavage.

11- The exo-structure before concreting of the keying nodes.

cution ont conduit à adopter un béton de nuance élevée pour les éléments préfabriqués d'exo-structure et leur clavage ($f_{c28} = 80$ MPa), et à engager la préfabrication des éléments très en amont (plusieurs mois) à la date de leur mise en œuvre telle que prévue dans le planning de pose. Ce choix a

permis de réduire les effets du fluage dans l'exo-structure sous l'action de la précontrainte longitudinale et de son corollaire, à savoir le transfert d'effort sur la structure existante.

Dans sa configuration initiale avant travaux, l'ouvrage était équipé d'un revêtement clair, de sorte que le gradient thermique dans le tablier restait très faible (ce qui a été confirmé par les différentes mesures réalisées par ADP) et qu'il était donc loisible de négliger ses effets. Dans sa nouvelle configuration, l'ouvrage devait être revêtu d'un complexe étanchéité - couche de roulement de couleur sombre. La prise en compte du gradient de $\Delta\theta = +12^\circ\text{C}$ impacte directement la structure existante et génère une contrainte de traction importante en fibre inférieure des poutres transversales au niveau de la section sur appui intermédiaire. Cela se traduit par des dépassements de contraintes dans les ferrillages passifs des poutres existantes.



11
© ARTELIA



12 © ARTELIA DRONE

La nécessité d'une opération de vérinage pour le changement des appareils d'appui à la base des piles intermédiaires a donc été mise à profit pour assurer une dénivellation d'appui de l'ensemble des piles. Cette file d'appui a ainsi été vérinée de près de 10 mm, ce qui a permis, du fait de la grande rigidité de l'ouvrage, de recomprimer la fibre inférieure des poutres. La réalisation de cette opération de vérinage a nécessité un phasage transversal spécifique. Les opérations de vérinage et de changement des appareils d'appui ont été menées sous exploitation.

LA FORMULATION, LA FABRICATION ET LA TENUE AU FEU DES BÉTONS

Compte tenu de la largeur de la piste qu'il supporte, l'ouvrage constitue, au sens des normes, un tunnel pour les voies franchies. L'adjonction de l'exo-structure a permis d'augmenter sensiblement la durée de la résistance au feu de l'existant. Afin de faciliter l'inspection de la structure de l'ouvrage, on a privilégié une protection contre le feu "structurelle", par une formulation du béton et des dispositions d'armatures actives et passives assurant un degré

12- Les travaux "coup de poing" sous fermeture de la piste.

13- Planche synoptique des travaux.

12- "Lightning fast" works with the runway closed.

13- Work overview illustration.

de stabilité au feu satisfaisant, plutôt que la mise en œuvre d'un revêtement de protection rapporté.

Le béton retenu, de classe C80/95 selon la norme NF EN 206/CN, n'existait pas dans le commerce. Deux nouvelles formulations ont été conçues, l'une pour le béton coulé en place et l'autre pour la préfabrication en usine. Les études de formulation et de tenue au feu des bétons ont été menées en collaboration entre les équipes de Vinci, Artelia et Efectis, et les fournisseurs d'outils de fabrication-malaxage et de pompage du béton. Des essais

PLANCHE SYNOPTIQUE DES TRAVAUX



ARTELIA - ADP - CMC - FREYSSANET

13 © ARTELIA

d'écaillage au feu ont été réalisés de mars à août 2018, durant lesquels les effets de la précontrainte longitudinale ont été reproduits à l'aide d'un système de chargement extérieur. Les points singuliers que sont les ancrages de la précontrainte ont nécessité la définition et la mise en œuvre de protections par boîtiers coupe-feu.

LES TRAVAUX

Les conditions d'intervention ont constitué un facteur de complexité majeur pour la réalisation des travaux. Le pont n°2, situé en Zone de Sureté à Accès Réglementé (ZSAR) est inaccessible depuis la piste pendant les périodes d'exploitation de celle-ci, et les voies franchies supportent des trafics intenses (figure 8). À l'exception des interventions au niveau des culées, qui ont pu être menées à l'abri du balisage

avec maintien des circulations sur les voies adjacentes en exploitation, l'ensemble des travaux a dû être réalisé de nuit, sous interruption temporaire des circulations, au cours de créneaux d'amplitude restreinte (entre 23 h et 5 h 30).

Les travaux se sont déroulés en deux grandes phases distinctes :

- Pour les parties latérales, les interventions depuis le dessus du tablier (carottages, hissage des poutres, scellement des têtes d'ancrage des barres de précontrainte verticales) ont été menées intégralement de nuit, durant les créneaux de fermeture habituels de la piste ;
- Pour la partie centrale, dans l'emprise de la piste, la réalisation de l'exo-structure ainsi que les travaux de réfection de l'étanchéité, de mise en œuvre de l'enrobé, de pose des

jointes de chaussée et de réalisation des dalles de transition et des dalles antichoc ont été menés au cours des trois semaines de fermeture totale de la piste, programmée en août 2019.

Les travaux de fondations, exécutés par l'entreprise Soleffi (figure 9), ont principalement consisté en la réalisation de tirants passifs (Gewi Ø 40), pour le renforcement des piédroits et murs en retour, et de micropieux de type IV au droit des appuis.

L'exiguïté des emprises, la faible hauteur libre sous le tablier et l'intervention en site exploité sont autant de facteurs de complexité qui ont nécessité la mise au point de méthodes de construction originales et propres à ce chantier, ainsi que la fabrication de matériels spécifiquement élaborés pour les besoins du projet. L'entreprise a notamment fait l'acquisition de trois chariots élévateurs de type porte-conteneur commandés spécialement pour la mise en place des éléments préfabriqués. Pour les piles, un outil retourneur a été conçu (figure 10). La pose des poutres préfabriquées a été étudiée de manière très soignée, compte tenu des contraintes de mise en place, notamment au droit

de la plateforme du Tramway T7 en raison de la présence des caténaires rendant l'opération très délicate.

Pour le bétonnage des zones de clavage (figure 11), les volumes modestes et la nécessité de bétonner en poste de nuit, ont conduit à concevoir une unité mobile de fabrication-malaxage-pompage du béton spécifiquement pour le chantier. Par précaution, le nombre de coffrages des zones de clavage a été doublé pour tenir une rotation toutes les 2 nuits.

Les travaux sous fermeture de la piste ont constitué le point d'orgue du chantier (figure 12). Ils se sont déroulés en continu (24h/24h et 7j/7j) en août 2019. Cette opération "coup de poing" a nécessité de nombreux mois de préparation et une coordination étroite avec les responsables du chantier concomitant de réfection de la piste n°3, pour la gestion des interfaces entre les deux opérations. Elle a également nécessité la mobilisation, en continu, de personnels en nombre important sur le chantier. Les travaux réalisés durant cette phase peuvent être décomposés en quatre familles principales, illustrées par la planche graphique donnée en figure 13. □

CHIFFRES CLÉS

LONGUEUR TOTALE : 41,5 m

LARGEUR : 305 m

- **Exo-structure : 62 portiques ; 310 poutres préfabriquées ; 62 piles préfabriquées ; 124 poteaux additionnels ; 148 micropieux Ø 200 mm de 6 m (culées) à 10 m (piles) de profondeur ; 124 tirants passifs Ø 40 mm de 11 à 16 m de longueur ; 2500 barres de précontrainte Ø 32 mm ; 4700 m de câbles de précontrainte 12T15S**
- **Précontrainte additionnelle : 1700 m de câbles de précontrainte 9T15S, 92 blocs d'ancrage, 368 barres de précontrainte Ø 40 mm**
- **Réfection de l'étanchéité et du revêtement : 13500 m² d'étanchéité par Feuille Préfabriquée Monocouche (FPM), 13500 m² d'enrobé BBA**
- **Équipements : 186 appareils d'appui pour l'exo-structure, remplacement de 264 appareils d'appui sur l'ouvrage existant, 300 m de joint de dilatation type hiatus**
- **Dalles de transition/Dalles antichoc : 430 m de dalle (800 m³ de béton)**

DÉLAI DE RÉALISATION : 22 mois de travaux de janvier 2018 à octobre 2019

MONTANTS DES TRAVAUX : 21,2 M€ HT

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Groupe ADP

ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Groupe ADP

GROUPEMENT DE CONCEPTION/RÉALISATION

MAÎTRISE D'ŒUVRE INTÉGRÉE : Artelia

ENTREPRISES : Chantiers Modernes Construction (mandataire) / Freyssinet / Eurovia / Soleffi

BUREAU D'ÉTUDE D'EXÉCUTION : Secoa (Groupe Artelia)

ABSTRACT

AN EXO-STRUCTURE IN PRECAST CONCRETE TO STRENGTHEN AIRCRAFT BRIDGE NO. 2 AT ORLY

A. CORBIERE, ARTELIA - N. YAZBECK, ARTELIA - M. PAGES, SECOA / GROUPE ARTELIA - R. CHARPENTIER-TITY, AÉROPORTS DE PARIS - M. BELMOKHTAR, VINCI

This tunnel bridge, built at the end of the 1950s, had to be refurbished to remain functional. The necessary works had to be carried out without disrupting operation of the runway that it supports and the roads that it passes over. The solution adopted for its strengthening was the addition of a fully precast exo-structure, consisting of around 500 massive concrete elements, integrated with its host structure by prestressing. The difficult, complex design of this exoskeleton and its ingenious erection in an extremely constrained environment were an opportunity for efficient and successful collaboration between engineering and construction firms. □

UNA EXOESTRUCTURA EN HORMIGÓN PREFABRICADO PARA REFORZAR EL PUENTE AERONÁUTICO N°2 EN ORLY

A. CORBIERE, ARTELIA - N. YAZBECK, ARTELIA - M. PAGES, SECOA / GROUPE ARTELIA - R. CHARPENTIER-TITY, AÉROPORTS DE PARIS - M. BELMOKHTAR, VINCI

Este puente-túnel, construido a finales de los años cincuenta, precisaba de una indispensable renovación para seguir siendo funcional. Las obras necesarias debían llevarse a cabo sin perturbar la explotación de la pista que soporta y de las vías que cruza. La solución elegida para su refuerzo fue adjuntar una exoestructura totalmente prefabricada, formada de cerca de 500 elementos macizos de hormigón, unida a su anfitrión por pretensado. El delicado y complejo diseño de este exoesqueleto y su ingeniosa instalación en un entorno extremadamente restringido son el fruto de una eficaz y fructífera colaboración entre constructores y empresas de ingeniería. □



1
© CÉDRIC HELSLY

REPRISE EN SOUS-ŒUVRE PAR JET GROUTING DU CHÂTEAU DE VILLERS-COTTERÊTS

AUTEURS : MARIANNE AGUIE, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
AURÉLIEN PENIGUEL, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE

SOLETANCHE BACHY FRANCE, EN GROUPEMENT AVEC BATI-IDF, EST INTERVENU FIN DE L'ANNÉE 2020 SUR LE PROJET DE CONSTRUCTION DE LA CITÉ INTERNATIONALE DE LA LANGUE FRANÇAISE, AU CHÂTEAU DE VILLERS-COTTERÊTS (02). LES TRAVAUX PORTAIENT SUR LA REPRISE EN SOUS-ŒUVRE D'UNE PARTIE DU CHÂTEAU PAR DES COLONNES DE JET GROUTING, ET SUR LA MISE EN ŒUVRE DE MICROPIEUX DE FONDATION DE FUTURS OUVRAGES NEUFS.

CONTEXTE GÉNÉRAL ET IMPLANTATION

Le château de Villers-Cotterêts, dans l'Aisne, est un château Renaissance construit par le roi François 1^{er} entre 1532 et 1556, partiellement sur les fondations d'un ancien château médiéval ruiné. En août 1539, il est le lieu de signature de l'ordonnance dite de Villers-Cotterêts, qui établit l'utilisation de la langue française dans les actes légaux et notariés : il s'agit du plus ancien texte législatif encore en vigueur en France, ses articles 110 et

111 concernant l'usage de la langue française n'ayant jamais été abrogés. Lors de la Révolution, le château devient brièvement une caserne de l'armée républicaine ; puis il est transformé en dépôt de mendicité en 1808 pour les mendiants du département de la Seine. Le château devient ensuite une maison de retraite pour la ville de Paris en 1889, jusqu'à sa fermeture en 2014. Muré et laissé à l'abandon depuis, il sort de l'oubli lors de la campagne d'Emmanuel Macron, en 2017, lorsqu'il s'engage à en faire "l'un des

**1- Vue
d'ensemble.**

**1- General
view.**

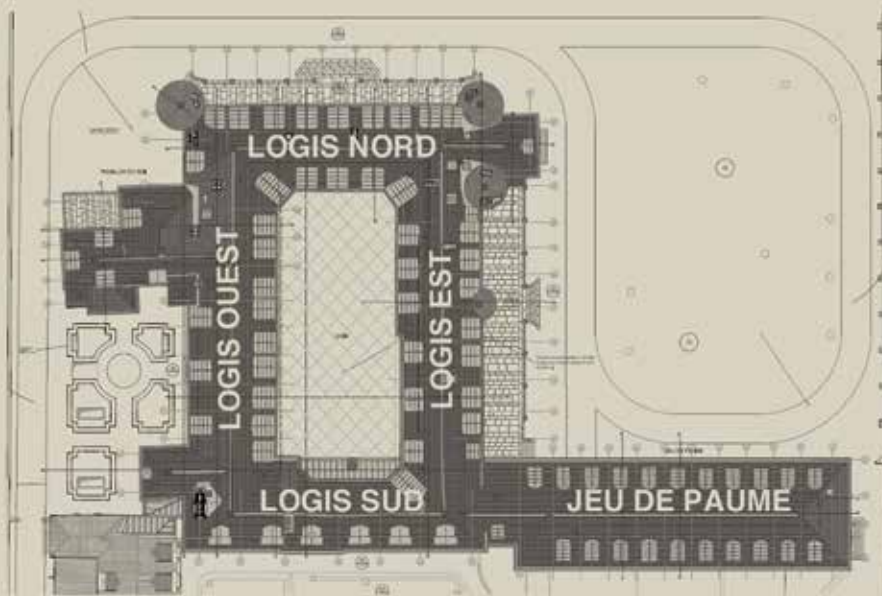
pilliers symboliques de notre francophonie" s'il est élu.

Le chantier de la future Cité internationale de la langue française démarre au début de l'année 2020, avec l'arrivée du premier lot dédié à la logis-

tique du chantier (figure 1). Le Centre des Monuments Nationaux, maître d'ouvrage du projet, a désigné le groupement Soletanche Bachy France (mandataire)/Bati-Idf pour le lot des fondations spéciales.

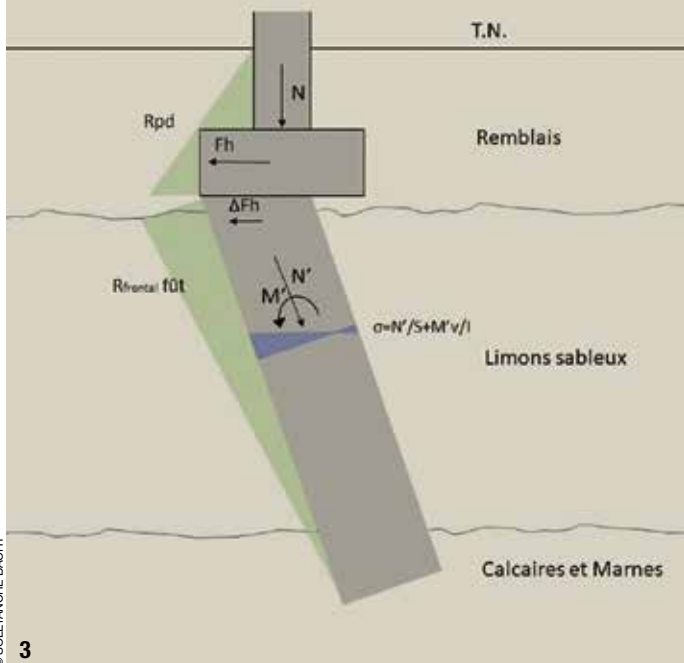
Les travaux de fondations spéciales portent sur le Logis Royal, et plus particulièrement l'aile Nord (figure 2). Deux types de travaux ont été réalisés : dans un premier temps, la reprise en sous-œuvre de l'aile Nord au moyen de colonnes de jet grouting, puis les fondations pour les futurs ascenseurs

PLAN GÉNÉRAL DE SITUATION



2

SCHÉMA D'UNE COLONNE DE JET GROUTING SOUS LA FONDATION



3

2- Plan général de situation.
3- Schéma d'une colonne de jet grouting sous la fondation.

2- General location drawing.
3- Diagram of a jet grouting column under the foundation.

neufs par micropieux, répartis dans les différentes ailes du Logis.

Le diagnostic préalable de la structure identifiait l'existence de désordres importants dans l'aile Nord du Logis, et des fouilles de reconnaissance ont mis en évidence une hétérogénéité des fondations, tant en termes de profondeur que de largeur d'assise, certaines datant de la construction de

la Renaissance et d'autres de l'époque médiévale. Ces constats ont montré la nécessité d'une reprise en sous-œuvre des fondations de l'aile Nord, envisagée par deux méthodologies. La base consistait à forer des micropieux de part et d'autre des murs à reprendre, ensuite liaisonnés entre eux et à la structure par une longrine. La variante, retenue pour l'exécution, consistait à

créer des colonnes de mélange sol-ciment par la technique de jet grouting, celle-ci offrant l'avantage, par rapport à la base, d'éviter des travaux de gros-œuvre lourds avec des terrassements par passes alternées, et des traversées des maçonneries de fondations existantes pour créer les longrines de répartition.

La reprise en sous-œuvre a été effectuée avec 78 colonnes de jet grouting, réparties sous les murs de façades et de refends de l'aile Nord. La méthode retenue était le jet simple, avec utilisation du procédé Jetplus® : le moniteur Jetplus® est un outillage permettant, à énergie de jet égale, d'obtenir un diamètre de colonne plus important qu'avec une technique de jet grouting classique. Les micropieux concernaient 4 ouvrages neufs : la future terrasse Nord du château, ainsi que 3 futures

cuvettes d'ascenseurs situées aux intersections entre les ailes.

La contrainte de planning est forte pour ce projet, une partie de la Cité devant être inaugurée en avril 2022. Les coactivités et l'organisation avec les autres lots présents sur le chantier ont donc été importantes, toutes les activités ayant été lancées en parallèle sur les différentes ailes du château pour pouvoir respecter le délai de fin des travaux.

DIMENSIONNEMENT DES COLONNES DE JET GROUTING

L'objectif des études de dimensionnement est de définir la géométrie des colonnes : nombre, inclinaison, diamètre et profondeur. Trois valeurs de diamètre ont été définies : 1,20 m, 1,50 m et 1,80 m ; et on se laisse la possibilité de faire varier le diamètre en profondeur pour une même colonne. L'inclinaison est probablement le paramètre le plus sensible à définir : il dépend principalement de la distance entre la plate-forme de forage et l'arase inférieure des fondations existantes, ainsi que de l'encombrement de la tête de forage par rapport à un voile existant.

Concernant la profondeur, il était nécessaire de chercher la portance du substratum, un ancrage minimum de 50 cm dans la couche de Calcaire et Marne a donc rapidement été fixé (soit une base des colonnes à 128 NGF ou plus profond).

Les données d'entrée disponibles sont la nouvelle descente de charge du projet et la géométrie des massifs de fondation existants. Les géométries étaient pour la plupart disponibles dans le dossier du marché, puisqu'une campagne de fouilles avait été menée ; cependant, il a été décidé de mener quelques reconnaissances complémentaires (reconnaissance radar et fouille physique). Une meilleure connaissance de l'existant permet en effet d'ajuster au mieux les géométries de colonnes.

La géologie était précisée par de nombreux sondages disponibles dans la zone du bâtiment "Logis" (essais pressiométriques et pénétrométriques). La stratigraphie retenue est la suivante :

- 3,5 m de remblais en tête, base à 134 NGF (pl* non définie) ;
- 2 m de limons médiocres, base à 132 NGF (pl* = 0,3 MPa) ;
- 3,5 m de limons compacts, base à 128,5 NGF (pl* = 0,8 MPa) ;
- 12 m mini de Calcaires et Marnes, base non connue (pl* = 2,3 MPa). ▷



4

© CÉDRIC HELSLY

4- Installations de chantier.

5- Exemple de coupe d'exécution.

4- Site facilities.

5- Example of work cross section.

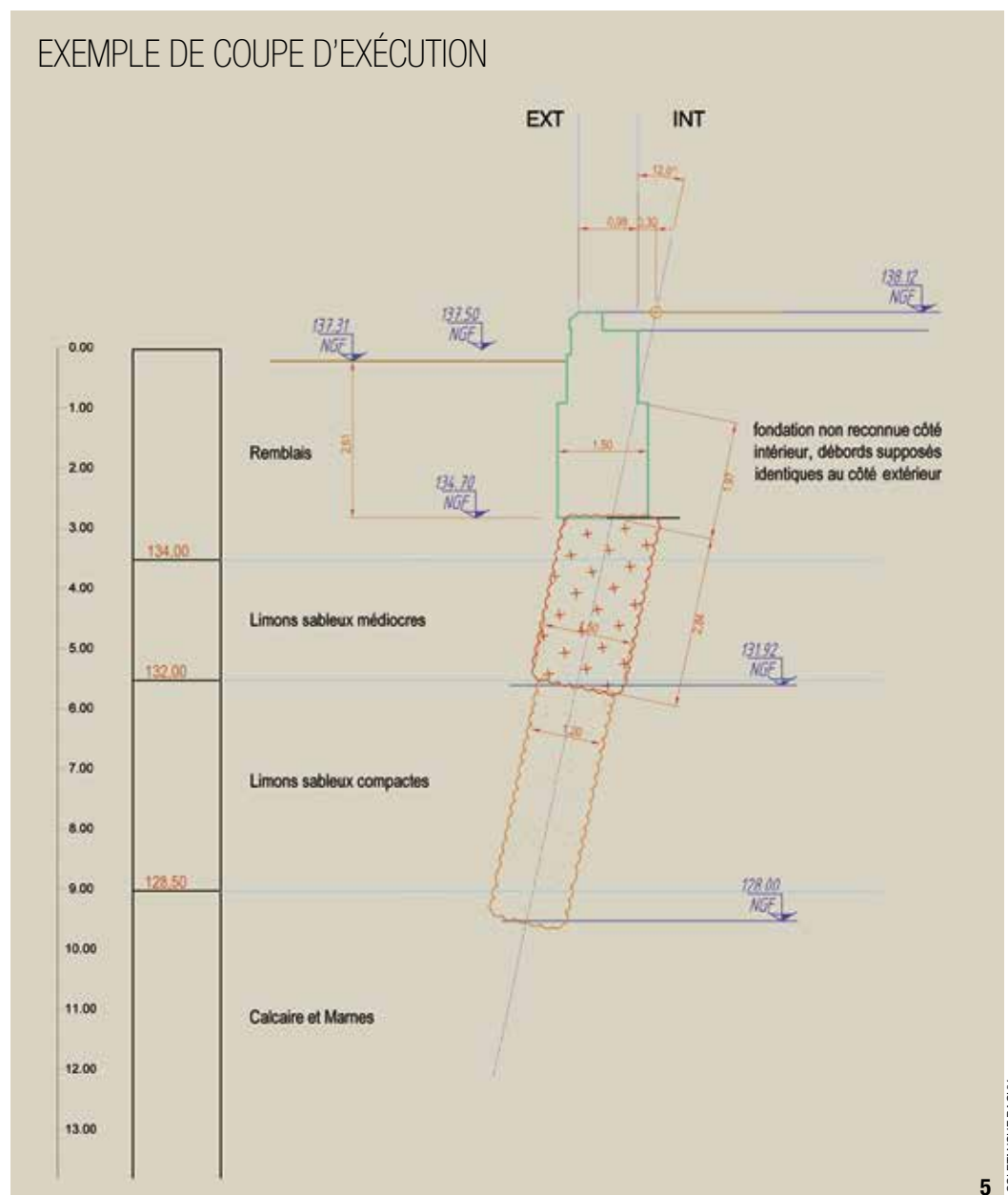
La nappe a été repérée à +105 NGF, soit à des profondeurs qui ne concernent pas les colonnes de jet.

Les colonnes de jet du projet sont soumises à des efforts verticaux de compression centrés sur l'axe du mur existant ; la descente de charge ne présente en effet aucun effort horizontal et aucun moment à reprendre en tête de colonne de jet.

Dans le cas des colonnes de jet grouting, et en référence à ce qu'on fait généralement en soil mixing, on applique les coefficients pour "pieux forés simples" (classe 1, catégorie 1 au sens de la norme NF P94-262) et on utilise les valeurs de q_s donnés par les abaques ainsi que les coefficients Y_{rd1} Y_{rd2} correspondant aux pieux en compression, en l'absence d'essais de portance.

L'étude de la portance est ainsi relativement rapide, puisque toutes les colonnes traversent les mêmes couches de terrain. Avec un ancrage minimum de 0,50 m dans la couche de Calcaire et Marnes (hypothèse de départ) et en considérant un diamètre minimum de 1,20 m toute hauteur, on justifie toujours les charges du projet.

EXEMPLE DE COUPE D'EXÉCUTION



5

© SOLETANCHE BACHY

L'étape suivante consiste à vérifier la géométrie des colonnes, notamment à vérifier que la contrainte verticale de compression au contact de la maçonnerie de la semelle existante reste inférieure à 1 MPa : ce critère était imposé par le CCTP, afin d'éviter de concentrer les efforts dans la maçonnerie existante. Cette vérification se fait en plusieurs étapes :

- On évalue la surface S de contact avec la maçonnerie existante en tête de colonne (en fonction de l'inclinaison par rapport à la verticale, du diamètre de tête choisi et de la hauteur de la plate-forme de forage par rapport à l'arase inférieure des fondations existantes) ;
- On définit l'excentrement "e" de la charge, distance entre l'axe des colonnes et l'axe du mur existant, en sous-face de semelle existante. Ceci afin de calculer le moment d'excentrement des charges en tête de colonne ($M=N \cdot e$) ;
- On calcule la contrainte de compression verticale en tête $\sigma = N/S$;
- On calcule la contrainte de flexion verticale en tête $\sigma = Mv/I$;
- Puis on vérifie que la somme $\sigma = N/S + Mv/I < 1 \text{ MPa}$ ($=100 \text{ t/m}^2$).

Cette méthode de vérification permet de s'assurer qu'un cheminement des contraintes est bien géométriquement possible et que les contraintes engendrées en tête sont admissibles.

La dernière étape consiste à vérifier la reprise des efforts horizontaux dus à l'inclinaison des colonnes dans le terrain.

Cette vérification se fait en plusieurs étapes :

- On évalue l'effort horizontal F_h à l'ELS cara : $F_h = N \cdot \tan \alpha$ (où α est l'angle d'inclinaison des colonnes par rapport à la verticale) ;
- On évalue ensuite l'effort résistant frontal de la fondation existante en butée dans le terrain Rpd, butée de type Rankine ;
- On évalue le résidu d'effort horizontal non repris en butée au droit de la fondation existante ΔF_h ;

6- Vue d'ensemble de la façade Nord.

6- General view of the North facade.

→ Puis on étudie le comportement transversal du fût de colonne (avec diamètre 1,20 m conservatif) en appliquant les lois de réaction frontale de l'Annexe I de la norme NF P94-262 (étude réalisée avec le logiciel interne Picasso de Soletanche Bachy).

L'effort horizontal résiduel ΔF_h , appliqué en tête de colonne, crée un moment M' dans le fût de colonne :

- On calcule la contrainte de compression verticale dans le fût $\sigma = N/S$;
- On calcule la contrainte de flexion verticale dans le fût $\sigma = M'v/I$;
- Puis on vérifie que la somme $\sigma = N/S + M'v/I < 2,5 \text{ MPa}$ ($= 250 \text{ t/m}^2$) qui valide la reprise du résidu ΔF_h dans la hauteur du fût de colonne (figure 3).

L'état limite ultime de compression du matériau jet grouting est en effet vérifié avec le même niveau de sécurité que s'il s'agissait d'un béton, ce qui revient à écrire, conformément à l'Eurocode 2 : $1,35 \sigma < f_{ck} / 1,5$.

Soit approximativement $\sigma < f_{ck} / 2$, où f_{ck} est la valeur caractéristique de la résistance en compression du matériau jet grouting à l'âge où s'exerce la

sollicitation (valeur retenue $R_c = 5 \text{ MPa}$) Enfin, concernant les déplacements horizontaux, ceux-ci ont été évalués en suivant les lois de réaction frontale de l'Annexe I de la norme NF P94-262 (logiciel interne Picasso). Les études ont conclu à des déplacements inférieurs au centimètre, ce qui est admissible pour ces bâtiments historiques.

TRAVAUX DE JET GROUTING ESSAIS PRÉALABLES ET TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Les travaux ont démarré avec l'installation de la centrale de fabrication de coulis et la création de fosses à spoils hors sol, au moyen de murs préfabriqués, afin de créer un stockage suffisant pour la gestion des spoils tout en respectant une contrainte d'espace d'installation limité. L'atelier de jet grouting travaillant en deux postes pendant la production, la mise en place de fosses adaptées était d'autant plus importante (figure 4). Dans un premier temps, un plot d'essai constitué de 4 colonnes de jet grouting a permis de tester plusieurs jeux de paramètres de jet et de vérifier que ceux-ci permettaient bien d'atteindre les diamètres déterminés lors du dimensionnement. ▷





© CEDRIC HELISLY 7

Celles-ci ont toutes fait l'objet d'un contrôle de diamètre dans la colonne fraîche par mesure Cyljet® (cylindre électrique) et d'un carottage de contrôle de la continuité de la colonne et de la résistance du mélange sol-ciment.

Des reconnaissances supplémentaires ont également été effectuées, afin de confirmer certaines géométries de fondations qui étaient encore incertaines. À l'issue de ces reconnaissances et du dimensionnement des colonnes de jet grouting, neuf combinaisons différentes de tailles de colonnes et de coupe des fondations sont retenues pour l'exécution (voir un exemple de coupe en figure 5) : les inclinaisons des colonnes varient entre 10° et 20° et leurs profondeurs entre 10 et 11 m.

À l'issue des essais préalables, les avant-trous à travers la maçonnerie pour les futures colonnes de jet grouting ont été forés au moyen d'une foreuse équipée d'une tête permettant l'utilisation du procédé Hi'Drill®.

Ce dernier permet d'augmenter la vitesse de forage en conjuguant les effets de rotation et translation d'une tête traditionnelle avec ceux de résonance d'une tête Hi'Drill®. Il permet également de limiter les vibrations

subies par l'ouvrage durant le carottage.

Un carottage propre et de diamètre suffisant (dans ce cas, diamètre de 200 mm) à travers la maçonnerie était nécessaire afin d'assurer une bonne cheminée de remontée des spoils, avec un espace annulaire suffisant pour ne pas créer de bouchon. De plus, les avant-trous ont été équipés de tubes PVC sur la hauteur de la maçonnerie, afin d'éviter des divagations de coulis ou de spoils à travers les fondations.

TRAVAUX PRINCIPAUX DE JET GROUTING

Une fois les paramètres de jet grouting validés, et les avant-trous des premières colonnes finis, la production des colonnes de jet grouting a pu démarrer, avec une organisation à un atelier en deux postes. Les colonnes étaient à réaliser soit depuis l'extérieur, pour les colonnes situées sous les murs de façades (figure 6) ; soit depuis l'intérieur pour les colonnes situées sous les murs de refend.

Les activités de jet grouting étaient en interface forte avec le lot d'échafaudages pour les colonnes extérieures, ceux-ci devant être montés à la suite

7- Foreuse C4, en façade.

7- C4 driller, on the facade.

de l'atelier de jet grouting, dès que ce dernier libérait des zones suffisantes ; et avec le lot de déplombage/désamiantage/curage pour les colonnes intérieures, celui-ci devant mettre en place des confinements à l'intérieur pour ses activités.

À la fois à l'extérieur et à l'intérieur, les équipes ont fait preuve d'un soin particulier pour préserver, soit des vestiges archéologiques, soit des lambris sculptés en bois à conserver sous lesquels des colonnes étaient implantées.

C'est une foreuse Casagrande C4, équipée d'une flèche longue adaptée au jet grouting, qui a démarré par les colonnes extérieures (figure 7).

Les colonnes étaient exécutées suivant un phasage de colonnes primaires, puis de colonnes secondaires : la portance d'une colonne étant nulle à la fin de sa réalisation, avant que la prise du spoil ne démarre, ce phasage est nécessaire afin de ne pas créer de surfaces non

portantes trop importantes qui déstabiliseraient la structure existante.

Pour les colonnes intérieures, une foreuse Comacchio MC4D a été mobilisée (figure 8) : elle a fait l'objet d'une adaptation spécifique pour les besoins de ce chantier, n'ayant encore jamais été utilisée en configuration jet grouting.

La centrale était composée d'un ensemble de fabrication Tecniwell TWM30 avec ses silos horizontaux additionnels et d'une pompe à jet Tecniwell TW600.

Les paramètres de jet grouting ont fait l'objet d'adaptations au cours du chantier, les spoils remontés lors des premières colonnes étant très épais : les travaux étant menés sous une structure existante déjà endommagée, une attention particulière a été portée à la bonne remontée des spoils afin de ne pas créer de bouchons ni de potentiels désordres supplémentaires sur le château.

Les colonnes ont ensuite été contrôlées par Cyljet® pour le contrôle du diamètre dans les colonnes fraîches et par carottages pour le contrôle de la continuité de la colonne et des résistances atteintes.



© CEDRIC HELSLY
8

la future terrasse Nord du château, ainsi que sous 3 futurs ascenseurs.

Des essais préalables ont également été faits pour les micropieux : 4 micropieux ont été forés, 2 d'entre eux étant scellés dans les limons compacts et les 2 autres dans les Calcaires et Marnes. Ils ont ensuite été testés à la rupture afin de déterminer les résistances dans ces couches, les frottements étant négligés dans les remblais et les limons médiocres.

Les micropieux dimensionnés étaient de type III, en diamètre 150 mm, et de profondeurs variant entre 11 m et 13 m. Ils ont été autoforés, au tricône perdu.

L'exécution de ces micropieux nécessitant des déplacements à travers les pièces du château, c'est de nouveau une foreuse compacte Comacchio MC4D qui a été mobilisée, cette fois en configuration de forage classique. Une petite centrale autonome a permis de fabriquer le coulis C/E=2.

Les travaux de jet grouting et de micropieux ont été achevés à temps pour les fêtes de fin d'année 2020. Une deuxième intervention du groupement sera programmée au début de l'année 2022 pour la longrine de liaisonnement des micropieux de la terrasse Nord. □

MICROPIEUX POUR OUVRAGES NEUFS

En complément des colonnes de jet grouting, 29 micropieux de fondations d'ouvrages neufs ont été réalisés, sous

8- Foreuse MC4D, en intérieur.

8- MC4D driller, inside.

PRINCIPALES QUANTITÉS

COLONNES DE JET GROUTING : 78 unités jusqu'à 11 m de profondeur
MICROPIEUX TYPE III : 29 unités jusqu'à 13 m de profondeur

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Centre des Monuments Nationaux

MAÎTRE D'ŒUVRE : Olivier Weets Acmh

BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURE :

Bureau Michel Bancon

GÉOTECHNICIEN : Ginger

BUREAU DE CONTRÔLE : Bureau Veritas

ENTREPRISES TRAVAUX :

Groupement Soletanche Bachy France (mandataire) / Bati-Idf

ABSTRACT

UNDERPINNING BY JET GROUTING, VILLERS-COTTERETS CASTLE

MARIANNE AGUIE, SOLETANCHE BACHY - AURÉLIEN PENIGUEL, SOLETANCHE BACHY

The Soletanche Bachy/Bati-Idf consortium worked on the project for creation of the International City for the French Language in Villers-Cotterêts castle, executing the special foundations work section. Two types of works were performed: first, underpinning of part of the castle by jet grouting columns, by inclined drilling through the existing foundation masonries, and second, the creation of foundations for new structures (lifts, terrace) by means of type III self-drilling micropiles. The works were performed with an organisation in two shifts and extensive concurrent work, in order to comply with the constraint of the very tight schedule. □

RECALCE POR JET GROUTING DEL CASTILLO DE VILLERS-COTTERETS

MARIANNE AGUIE, SOLETANCHE BACHY - AURÉLIEN PENIGUEL, SOLETANCHE BACHY

El consorcio Soletanche Bachy/Bati-Idf ha intervenido en la obra de creación de la Ciudad internacional de la lengua francesa en el castillo de Villers-Cotterêts para la ejecución del lote de cimentación especial. Se han llevado a cabo dos tipos de obras: por una parte, el recalce de una parte del castillo mediante columnas de jet grouting, perforadas de forma inclinada a través de la mampostería de los cimientos existentes y, por otra, la creación de cimientos para nuevas construcciones (ascensores, terraza) mediante micropilotes autopercorados de tipo III. Las obras se han organizado en dos unidades con una importante coactividad para respetar las restricciones de una planificación muy ajustada. □



1

© JARED CHULSKI PHOTOGRAPHY

NOUVEAU SIÈGE DU GROUPE LE MONDE, UN IMMEUBLE-PONT PIXÉLISÉ

AUTEUR : M. PHILIPPE ARDISSON, DIRECTEUR DE PROJET, ARCOR (GROUPE INGEROP)

LE PROJET DE 23 000 m² A ÉTÉ CONÇU PAR L'AGENCE NORVÉGIENNE D'ARCHITECTURE SNØHETTA EN PARTENARIAT AVEC L'AGENCE FRANÇAISE SRA ARCHITECTES. LE BÂTIMENT ACCUEILLANT LES ÉQUIPES DU MONDE, MAIS AUSSI DE TÉLÉRAMA, COURRIER INTERNATIONAL, LA VIE, HUFFINGTON POST ET L'OBS, SITUÉ DANS UN QUARTIER EN PLEIN RENOUVELLEMENT, EST UN IMMEUBLE-PONT, VÉRITABLE PROUESSE ARCHITECTURALE, DONT LA STRUCTURE MÉTALLIQUE EST COMPARABLE À UN OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT, ET QUI PREND PLACE SUR LE PARVIS SURPLOMBANT LES VOIES FERRÉES DE LA GARE D'AUSTERLITZ À PARIS.

NAISSANCE DU PROJET

Fin 2014, la Société éditrice du Monde lance un concours pour construire son nouveau siège et rassembler ses différentes éditions jusque-là dispersées dans Paris. Accompagnée par le promoteur Redman, elle choisit une parcelle hors norme. En surplomb des voies ferrées de la gare d'Austerlitz, entre l'avenue Pierre-Mendès-France et la

grande halle historique de Pierre-Louis Renaud construite dans les années 1860, elle se déploie sur plus de 130 m de longueur avec un pignon immanquable en tête de proue. La parcelle étant inconstructible en son centre, les points d'appui sont rares et très espacés (grille structurelle de 15 m x 15 m), ne laissant d'autre choix que de faire une construction hybride entre

1- Bâtiment pont.

1- Bridge building.

bâtiment et ouvrage d'art (figure 1). Si l'aménagement de la ZAC Paris Rive Gauche reste la plus grande intervention urbaine à Paris depuis les grands travaux d'Hausmann, l'entrée de l'axe

de la grande bibliothèque commence à être vieillissante.

La proposition du duo d'architectes Snøhetta/Sra, qui vient de remporter le musée de Lascaux IV, séduit immédiatement par son audace.

Le parti pris est franc : réaliser un bâtiment pont faisant une entorse à la fiche de lot et se démarquant des constructions voisines. Véritable signal à l'en-



2

© JARED CHULSKI PHOTOGRAPHY



3

© JARED CHULSKI PHOTOGRAPHY

trée de la ZAC, il est d'emblée envisagé comme un totem.

Virtuoses des géométries complexes, les architectes en définissent le volume par une approche paramétrique : le gabarit constructible maximum est déterminé, puis il est évidé par des formes élémentaires (plans inclinés, sphères, cônes) pour s'adapter aux orientations et aux usages. Ainsi naissent une place

2- Façades graphiques.

3- Voûte constellée de leds.

2- Graphic facades.

3- Roof studded with LED clusters.

publique au droit de la zone inconstructible, une arche monumentale reliant la pile Nord à la pile Sud, les accès aux points de raccordement de la voûte avec la dalle, et des terrasses en toiture. La lecture doit également être dynamique pour s'adapter à l'élancement le long de l'avenue et des voies ferrées. L'enveloppe résultant de ce jeu de composition est complexe : si du côté de la

percée Salpêtrière la façade reste verticale, les autres présentent des dévers importants, plans ou s'inscrivant dans des portions sphériques et coniques. Le bâtiment pont trouve aussi sa logique dans les nouveaux dialogues qu'il crée entre les différentes rédactions de la société éditrice, jonglant entre les identités propres à chacune et permettant une mutualisation des services transverses. Au lendemain des attentats de Charlie Hebdo, la création de deux piles permet de distinguer l'accès public de celui réservé au personnel.

Habillant ce bâtiment signal visible depuis de nombreux sites parisiens, la façade joue un rôle crucial et doit participer tout autant à l'unité du totem qu'à l'identité architecturale (figure 2). Les fonctions inhérentes à un programme tertiaire s'effacent derrière des pixels qui jouent sur des nuances de transparence, de texture, d'opalescence et de réflexion. Une lecture à plusieurs échelles doit être permise : depuis les quais ou le pont Charles de Gaulle, ni les étages ni les trames régulièrement disposées tous les 1,35 m ne doivent être visibles, mais laisser un sentiment d'ensemble cohérent, monolithique. Pour le piéton qui emprunte l'avenue Pierre-Mendès-France, l'enveloppe dévoile subtilement l'organisation interne, et pour l'utilisateur, elle cadre les vues sur Paris. Afin d'établir un lien urbain entre l'axe Seine/gare et la future passerelle rejoignant la Pitié Salpêtrière, la place publique est abritée par une voûte qui accentue encore l'élancement du projet. Minérale et animée par une constellation de LED pensée par Boa (figure 3), elle interagit avec la rue.

TRADUCTION TECHNIQUE DE L'ENVELOPPE

Arcora rejoint l'équipe de maîtrise d'œuvre dès la phase esquisse, en janvier 2015, et entame sa collaboration par un séminaire à l'agence mère de Snøhetta, à Oslo. Pluridisciplinaire, le duo d'architectes franco-norvégien met à profit ses talents de graphiste, d'urbaniste et même d'artiste pour produire un tableau d'inspiration hors du commun. Pour répondre aux enjeux architecturaux et aux exigences de flexibilité d'un immeuble de bureaux, Arcora propose la mise en place d'une double peau sur l'ensemble des façades.

La génération de l'enveloppe repose sur une rationalisation géométrique paramétrique, conduite conjointement par Snøhetta et Arcora, par le biais du module de code GrassHopper lié au logiciel Rhino.

La forme sculpturale définie pendant la phase concours sert d'assise pour la peau extérieure, avec sa grande liberté géométrique et ses jonctions parfaites entre volumes. La façade intérieure doit être rationalisée et systématiquement construite depuis cette enveloppe. Facettée, permettant de répondre aux attentes d'un immeuble de bureaux, elle doit également garantir un accès technique dans la lame d'air pour l'entretien. En outre, sa logique de facettisation est indépendante de celle de la charpente structurelle intérieure.

PEAU INTÉRIEURE

Assurant les fonctions vitales de l'enveloppe, la paroi intérieure est souhaitée discrète, en arrière-plan. L'ensemble des performances thermiques, spectrophotométriques et acoustiques de cette dernière ont été abordées de manière évolutive et non conclusive, les rendant outils de conception à part entière.

Pour construire l'épure de la paroi intérieure, il faut partir du plan du niveau fini d'un étage et établir l'intersection avec le volume extérieur. Des lignes tantôt planes, tantôt en arc de cercle en résultent, et un décalage régulier



© ARCORA

vers l'intérieur permet de libérer le vide constructif qui servira à l'ossature de la vêtue extérieure. Depuis les arêtes de cette polyligne, un tramage régulier, linéaire ou rayonnant, définit des châssis devenus plans et verticaux (figure 4).

Avec une trame régulière de 1,35 m, qui permet une flexibilité de cloison-

4- Tramage des châssis.

5a & 5b- Charpente métallique.

4- Sash framing.

5a & 5b- Steel structure.

nement totale et une mise en œuvre en bande filante, les châssis sont pleinement optimisés et se développent sur tout le périmètre du bâtiment, en alternant remplissages vitrés ouvrants oscillo-battants pour le confort et la maintenance, vitrés fixes, et opaques verrier dans les zones de service ou inaccessibles. Les façades de l'avenue Pierre-Mendès-France et de la percée Salpêtrière intègrent également les accès pompiers.

Compte tenu des expositions multiples des façades et des enjeux ambitieux en termes de performance énergétique et de confort visuel des usagers (le projet répond au plan climat de la ville de Paris et est labellisé "NF Bâtiments tertiaires - Démarche HQE®, Bureaux 2011", niveau Excellent, et EFFINERGIE+), une protection solaire efficace de type store toile motorisée est mise en place dans la lame d'air, l'abritant par la même occasion des intempéries. Entièrement conçu en charpente métallique, le bâtiment ne peut recevoir de béton au niveau du plénum technique (figures 5). Ce sont donc des caissons en acier qui assurent la continuité d'isolation et d'étanchéité entre les bandes filantes des étages.



5a

© ARCORA



5b

© ARCORA

VÊTURE EXTÉRIEURE

Véritable clé de voûte du projet, c'est elle qui garantit l'homogénéité de l'ensemble du bâtiment et son identité, elle efface l'écriture tertiaire, tout en ne gênant pas les vues depuis l'intérieur des plateaux.

Traduisant les intentions de Snøhetta, l'équipe d'Arcora s'est alors lancée dans un parangonnage sur la constitution de la peau extérieure : si la matérialité a évidemment été au centre de cette étude, la modularité, le système de fixation, le calepinage et le respect du confort visuel n'ont pas été écartés. En complément des outils numériques, le dessin à la main pratiqué chez Arcora a permis d'aboutir à une réponse technique innovante et inédite, en rupture avec les habitudes de conception des enveloppes (figure 6).

Contrairement à ce qui se fait couramment, il a été décidé que la peau extérieure ne serait pas monolithique, mais constituée d'une multitude de panneaux de verre horizontaux (les pixels), fixés sur un cadre aluminium par des éléments de serrurerie. Les cadres sont connectés à la peau intérieure, donnant une correspondance de trame entre les deux peaux.

Si la transparence prédomine au droit des parties vision, les pixels deviennent plus texturés et opaques au droit des allèges et nez de dalles.

BRIQUE ÉLÉMENTAIRE

Les pixels plans sont constitués à partir de verres feuilletés rectangulaires, appelés "mother-plate". Leur dimension est standardisée dans la mesure du possible (135 cm de large par 37,5 cm de haut en partie courante), mais pour épouser au mieux l'enveloppe du bâtiment, les formes de ces panneaux se libèrent avec une géométrie en trapèze aux extrémités hautes et basses et dans les angles pour les raccords entre faces (figure 7).

C'est sur la base de ces "mother-plates" que la multitude des pixels prend forme. Par un jeu d'ajout d'éléments, Arcora a permis à Snøhetta de composer une élévation sur mesure,

aux variations infinies. Des verres imprimés, avec quatre grains conférant autant de degrés de translucidité et de jeux de texture, sont assemblés par feuilletage sous vide avec des intercalaires de type PVB sur tout ou partie de la "mother-plate". Ces mêmes intercalaires donnent le choix entre une parfaite transparence ou une opalescence graduelle.

Enfin, l'intégration d'une couche électrolytique réfléchissante enrichit encore le nombre de pixels, conduisant à une multitude de combinaisons possibles pour recouvrir les 10 000 m² de façade qui représentent 20 000 panneaux (figures 2 et 8).

CADRES ALUMINIUM ET ÉLÉVATIONS GÉNÉRALES

À l'aide du logiciel Revit et de son outil de conception Dynamo, Snøhetta écrit un script permettant de générer les élévations de la façade. Sur cette base numérique, les résultats sont analysés et l'humain revient au centre du choix pour sélectionner ou écarter certaines combinaisons. Le calepinage généré par l'intelligence artificielle est remanié pour mieux répondre aux attentes des services instructeurs et garantir une

insertion harmonieuse dans le contexte patrimonial dense de Paris.

Pour ne pas altérer cet équilibre de composition et en garantir la constructibilité, les pixels doivent être fidèlement assemblés sur des cadres dont la hauteur est celle de l'étage. La lecture générale ne pouvant être polluée par des détails techniques, Arcora propose un système de fixation des éléments verriers à l'ossature aluminium des cadres invisible et inédit. Les épingle de maintien sont des étriers constitués d'un fil inox plié et soudé à un plat inox, et dont le contact avec les panneaux de vêture est assuré par des pièces en caoutchouc translucide (figure 8).

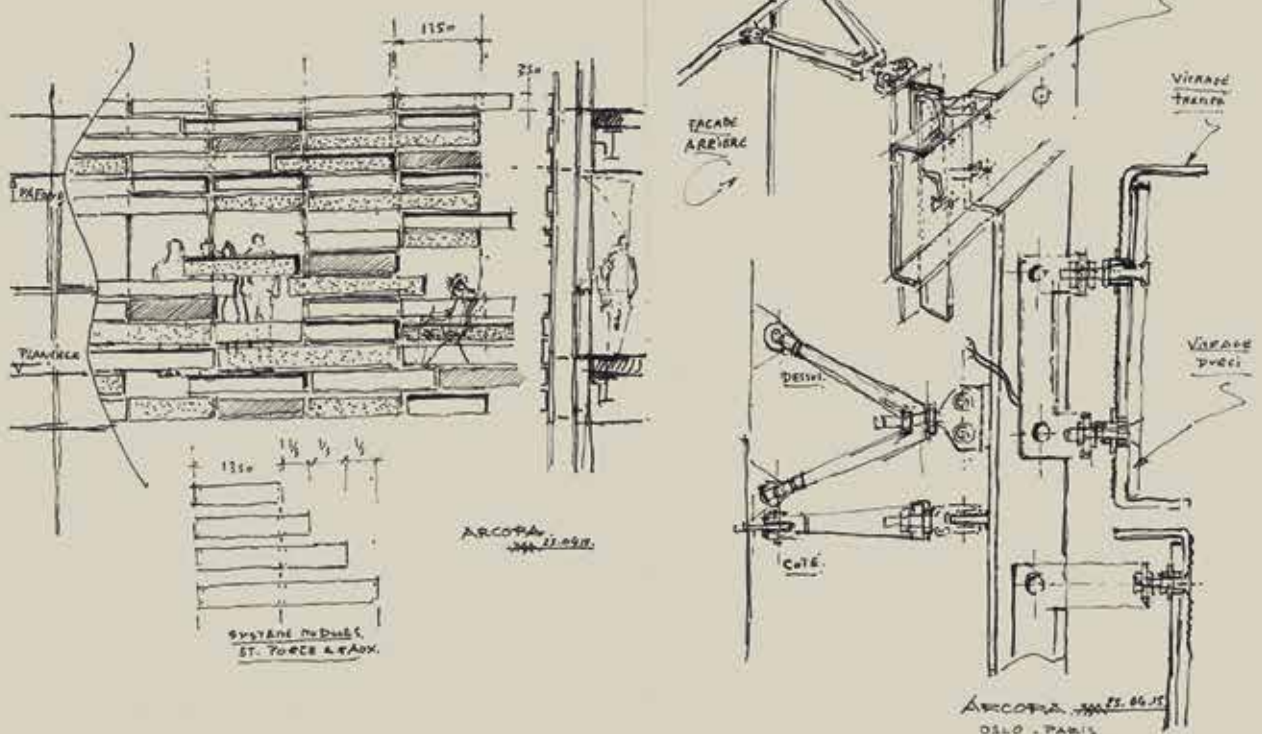
Autre enjeu essentiel du projet, les jonctions entre les façades doivent se résumer à une fine arête. Les adaptations à apporter aux blocs pour réussir ce pari ont été anticipées : géométrie en trapèze pour épouser les variations d'inclinaison des façades, cintrage des montants, percement des "mother-plates" pour permettre une mise en œuvre en porte-à-faux.

Pour parfaire le dossier de consultation, la double peau a fait l'objet d'un prototypage grandeur nature pendant les études. ▷

6- Détails d'assemblage.

6- Assembly details.

DÉTAILS D'ASSEMBLAGE



Un morceau de la façade sphérique de 2 étages de haut sur 4 trames de large a rendu concret la traduction technique des intentions architecturales, et a affiné la définition des détails pour se rapprocher au maximum des premières esquisses (figure 9).

PLACE PUBLIQUE

Au cœur du projet, la place publique inscrit son volume sous le tablier du bâtiment (figure 1). Véritable lien entre les deux piles, la voûte de l'arche est conçue par les architectes et Arcora comme une coque minérale revêtue de béton projeté. Elle est constituée de panneaux de grande dimension dont le maillage dynamique du calepinage accentue l'impression de franchissement de l'immeuble-pont. Des LED sont intégrées dans la coque et s'illuminent en jouant avec les passants (figure 3).

Afin de rendre à la perfection la géométrie cylindrique ou sphérique de la voûte, les fonctions d'habillage et de fermeture du volume intérieur sont dissociées. Un caisson étanche est reconstitué côté intérieur entre les fers de la charpente primaire pour garantir l'étanchéité à



l'eau et à l'air de la paroi et assurer une parfaite isolation thermique.

Les panneaux d'habillage sont quant à eux cintrés dans les deux directions pour épouser la géométrie gauche induite par la pénalisation. Ils sont maintenus à la structure primaire par l'intermédiaire d'une ossature métallique secondaire (figures 10 et 11).

Au droit des halls, la voûte forme des engravures avec des retours horizontaux et verticaux pour laisser place aux murs rideaux vitrés des entrées.

7- Panneaux supports.

8- Montage des mother-plates.

9- Détail d'accrochage de mother-plates.

7- Supporting panels.

8- Assembly of the mother-plates.

9- Mother-plate fastening detail.



8

© ARCORA



9

© ARCORA



10

© ARCORA



11

© ARCORA

PASSATION DES MARCHÉS ET CHANTIER

Moment clé du projet, Cicad et Arcora participent activement à l'appropriation des ouvrages par les entreprises, dans l'esprit d'une traduction fidèle de ses documents d'appel d'offre. C'est le binôme constitué par Eiffage Métal et Goyer qui remporte la double peau (respectivement la peau extérieure et les châssis intérieurs), tandis que l'arche

10- Pose ossature habillage de la voûte.

11- Pose habillage de la voûte.

10- Placing the roof lining frame.

11- Placing the roof lining.

est confiée à Glauser et les dispositifs de nettoyage, véritable montagne russe en toiture, à Multispé.

Le passage de relais de la mission de concepteur au constructeur est crucial pour ne pas altérer l'intention architecturale originelle.

Dans la continuité de ce qui a été initié en phase étude, les entreprises fiabilisent et assoient les techniques constructives en ayant parfois recours à des processus hors norme. Ainsi, épaulée par le Contrôleur Technique Socotec, Eiffage Métal a monté un dossier d'Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX) auprès du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, qu'elle a vu consacré modulo quelques

adaptations et perfectionnements sur le bloc et les "mother-plates" (abandon de la trempe des vitrages au profit d'un durcissement). Pour illustrer encore cette continuité entre les études et le chantier, la maquette BIM du bâtiment a poursuivi sa vie entre les mains d'Eiffage Métal pour parfaire notamment les interfaces et jonctions d'angle entre les différentes façades.

Si la logistique, la préfabrication des cadres, leur approvisionnement sur le chantier et leur mise en œuvre font appel à des techniques de pointe, la part du travail manuel est restée essentielle dans la constitution des pixels, conférant à la façade un cachet artisanal sur-mesure. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

PROMOTEUR : Redman pour le compte de la société éditrice du Monde

ARCHITECTES : Snøhetta en partenariat avec Sra Architectes

MAÎTRE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : Cicad (groupe Ingerop)

BUREAUX D'ÉTUDES : Khephren (Structure), Arcora (enveloppe), Boa (éclairage), Socotec (bureau de contrôle)

ENTREPRISES

LA CHARPENTE ET LA DOUBLE PEAU : Eiffage Métal et Goyer

L'ARCHE : Glauser

LES DISPOSITIFS DE NETTOYAGE : Multispé

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 23 000 m² de plancher
- 4 500 t d'acier de charpente
- 10 000 m² de façade vitrée, 1 800 m² d'arche

ABSTRACT

NEW HEAD OFFICE OF LE MONDE NEWSPAPER, A PIXELATED BRIDGE BUILDING

M. PHILIPPE ARDISSON, ARCORA (GROUPE INGEROP)

To make optimal use of the last plot of land available at the entrance to the ZAC Paris Rive Gauche mixed development zone, the schematic design adopted for the new head office of Le Monde newspaper is a bridge building more than 130 metres long supported by two foundations spaced 80 metres apart, demarcating a public plaza and spanning the railway tracks of Austerlitz station. The 10,000 m² facade, peaking at a height of 37 metres, is formed of 20,000 pixels consisting of rectangular glass assemblies (135x37.5 cm) adapted to the building's complex shape. While the shell design makes use of highly sophisticated parametric modelling systems, manual work remained essential for construction of the pixels, lending the facade a bespoke artisanal cachet. □

NUEVA SEDE DEL PERIÓDICO LE MONDE, UN EDIFICIO-PUENTE PIXELIZADO

M. PHILIPPE ARDISSON, ARCORA (GROUPE INGEROP)

Para aprovechar al máximo la última parcela disponible en la entrada de la ZAC Paris Rive Gauche, la opción elegida para la nueva sede del periódico Le Monde es un edificio-puente de más de 130 m de longitud apoyado sobre dos bases con una luz de 80 m, que libera una plaza pública y sobresale sobre las vías férreas de la estación de Austerlitz. La fachada, de 10 000 m², culmina a 37 m de altura y está formada por 20 000 píxeles creados a partir de ensamblajes de vidrios rectangulares (135 cm x 37,5 cm) que se adaptan a la compleja geometría del edificio. Aunque el diseño de la envoltura ha exigido el uso de herramientas de modelización paramétrica muy sofisticadas, la construcción de los píxeles, que confiere a la fachada un estilo artesanal y a medida, ha supuesto un trabajo básicamente manual. □



© SHOOTIN 1

UN NOUVEAU CENTRAL COUVERT POUR LE STADE ROLAND GARROS

AUTEURS : SÉBASTIEN FORGET, DIRECTEUR TRAVAUX, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - CLAIRE DOURLET, DIRECTRICE TECHNIQUE, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

DEPUIS PRÈS D'UN SIÈCLE, LE TOURNOI DE ROLAND GARROS ACCUEILLE AU PRINTEMPS LES INTERNATIONAUX DE FRANCE DE TENNIS. LE STADE ROLAND GARROS DEVAIT FAIRE PEAU NEUVE POUR PLUS DE CONFORT, DE CONVIVIALITÉ ET PERMETTRE AUX INTERNATIONAUX DE FRANCE DE TENNIS DE SE METTRE AUX STANDARDS DES AUTRES TOURNOIS DU GRAND CHELEM. LE POINT D'ORGUE DE CE RÉAMÉNAGEMENT QUI AURA DURÉ PLUS DE 5 ANS EST LA DÉMOLITION ET RECONSTRUCTION DU COURT CENTRAL PHILIPPE CHATRIER QUI SE VOIT MAINTENANT RECOUVERT DE 11 AILES RÉTRACTABLES GARANTISSANT LA TENUE DES MATCHS LES JOURS DE PLUIE OU DE NUIT.

INTRODUCTION

Les travaux de modernisation du stade Roland Garros se sont déroulés sur 5 ans, soit 5 phases de 10 mois, avec une interruption des travaux de 2 mois au moment de chaque tournoi. Le projet est donc phasé, avec des bâtiments à livrer avant chaque tournoi.

Les équipes de VCF laissent alors place aux jardiniers, décorateurs, restaurateurs, monteurs qui apportent les dernières touches nécessaires au bon déroulement de la quinzaine. Parmi les 5 phases de travaux, la plus critique a été la phase 3. En effet, durant les 10 mois de cette 3^e phase, le court

1- Le nouveau court Chatrier.

1- The new Chatrier court.

central Philippe Chatrier a été démolie à 80%, 2 de ses tribunes ont été reconstruites avec la création d'un niveau de sous-sol pour des locaux techniques, 2 autres tribunes ont été reprofilées, puis le stade a été aménagé. Ce sont donc 15 000 spectateurs qui ont pu applaudir sur des gradins flambant

2- Bossage à 2 micropieux sur poteau non renforcé.

3- Mégapoutre de la cuisine centrale.

4- Tribune Borotra (Ouest) après démolition et avant terrassement de l'infra.

2- Anchor block of 2 micropiles on unreinforced column.

3- Mega-beam of the central kitchen.

4- Borotra (West) grandstand after demolition and before infrastructure earthworks.

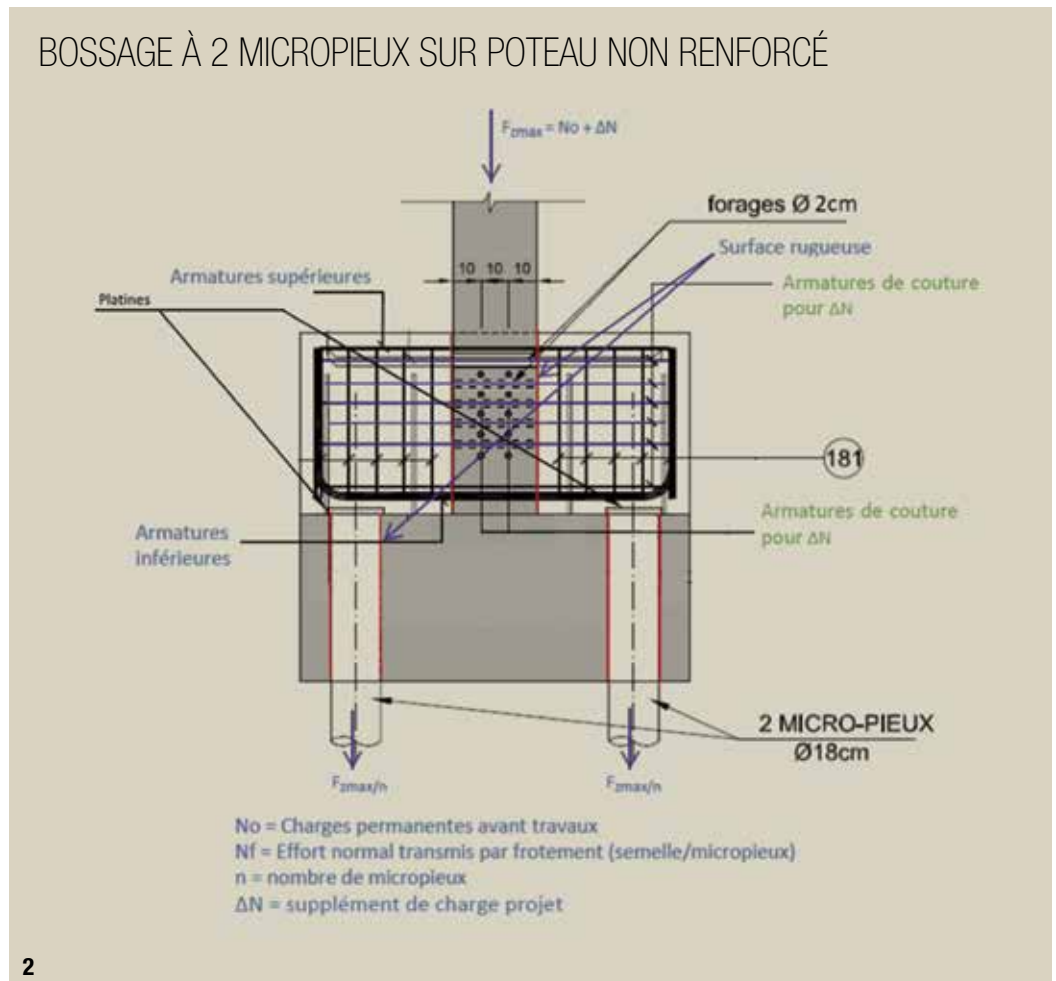
neufs la 12^e victoire de Rafaël Nadal lors de l'édition du tournoi 2019. Après une nouvelle phase intense de travaux d'aménagement, c'est avec une toiture amovible au-dessus de leur tête que les champions sur terre battue se sont affrontés en septembre 2020 (figure 1).

LES SOLUTIONS TECHNIQUES AYANT PERMIS DE TENIR LE DÉLAI EN PHASE 3

Voici quelques points clés qui ont permis de garantir le succès de cette opération d'envergure.

ANTICIPATION DES TRAVAUX DE RENFORCEMENT EN SOUS-CŒUVRE DU COURT EN PHASES 1 ET 2

Déconstruire et reconstruire un stade ayant depuis sa création en 1928 fait l'objet de multiples restructurations lourdes ne s'improvisent pas. Avec le Tour de France, le Tournoi de Roland Garros



2 © VCF

est le deuxième plus gros événement sportif annuel dans notre pays. Ce sont plus d'un demi-million de personnes qui arpentent les allées pendant la quinzaine. Les retombées économiques sont considérables et une annulation ou un report à une date ultérieure n'ont jamais été des options possibles. Dès lors, le maître mot pour les équipes de Vinci Construction France était l'anticipation, pour contrôler tous les aléas qui pouvaient

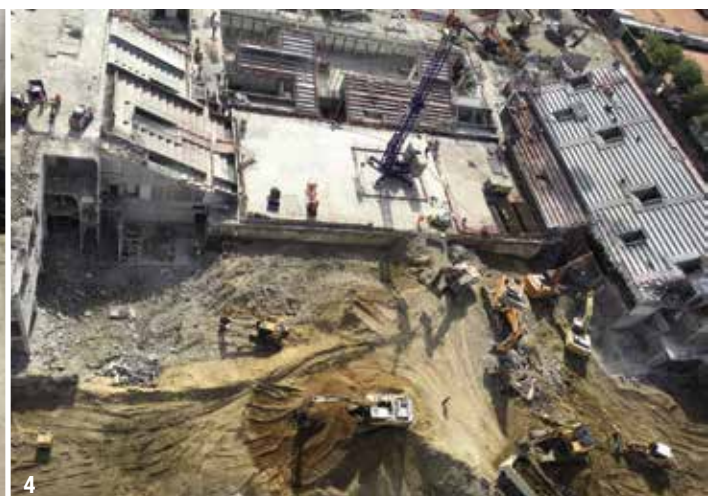
survenir et répondre au défi proposé. Le planning initial ne prévoyait que 2 phases de travaux pour le court Philippe Chatrier : une phase de démolition/reconstruction et d'aménagements partiels des locaux (la phase 3), puis une phase de pose de la couverture mobile, de ses essais coordonnés associés et d'achèvements tous corps d'états de l'ensemble des locaux (la phase 4). La mise à plat des hypothèses de réa-

lisation de l'ensemble des travaux a permis de mettre en évidence très tôt la nécessité d'anticiper les travaux de renforcement de la structure qui serait conservée.

Cette première phase s'est déroulée entre le tournoi 2016 et le tournoi 2017 (phase 1), dans les sous-sols existants de la tribune présidentielle au nord et dans les bureaux situés en infra de la tribune des commentateurs au sud. ▷



3 © VCF



4 © VCF



5

© VCF

Cette phase a principalement consisté à renforcer les fondations existantes avec une approche différente en fonction des locaux impactés.

En tribune présidentielle, les renforts concernent les fondations superficielles situées dans l'emprise des locaux techniques innervant le court. Afin de minimiser les risques pour la bonne tenue du tournoi, on a limité au maximum les déposes des installations techniques. Pour ce faire, les techniques de renforcement de fondations superficielles par combinaison de micropieux et de bossages hors sol ont été retenues. L'ensemble des bureaux d'études géotechniques a décidé que les micropieux reprendraient alors la totalité des charges des poteaux, sans tenir compte de la semelle existante. La liaison entre la structure existante et la tête de pieu est assurée par des armatures de couture dimensionnées selon le guide des micropieux Setra. Le dimensionnement du ferrailage des bossages est fait suivant la méthode des bielles-tirants (figure 2). La réalisation de ces travaux a nécessité une étude au cas par cas pour permettre des déposes ciblées et circonscrites des installations techniques en place et l'accès aux machines de forage par les trémies existantes tout en conservant la fonctionnalité et les conditions d'exploitation ultérieure de l'ensemble. En tribune des commentateurs, les tâches n'étaient pas plus simples. Une mégapoutre reprenant les charges combinées des tribunes Lacoste et Cochet (sud et est) a été réalisée pour permettre le creusement à venir d'une nouvelle galerie de service en sous-sol. Là encore, les équipes ont procédé à

des repérages minutieux pour limiter les impacts amenés par cet ouvrage dans la cuisine centrale existante qui devait être parfaitement opérationnelle pour le tournoi 2017 (figure 3).

Par ailleurs, la nouvelle tribune des commentateurs est plus haute de 8 m par rapport à l'ancienne. Cette hauteur complémentaire amène un accroissement et un excentrement de charges que les fondations existantes n'étaient pas à même de reprendre. Cette fois-ci, les renforcements nécessaires consistaient en la création de longrines de redressement permettant de redistribuer les charges dans les

5- Réalisation de la mégapoutre côté intérieur de la tribune Borota (ouest).

6- Principe de reprofilage des gradins.

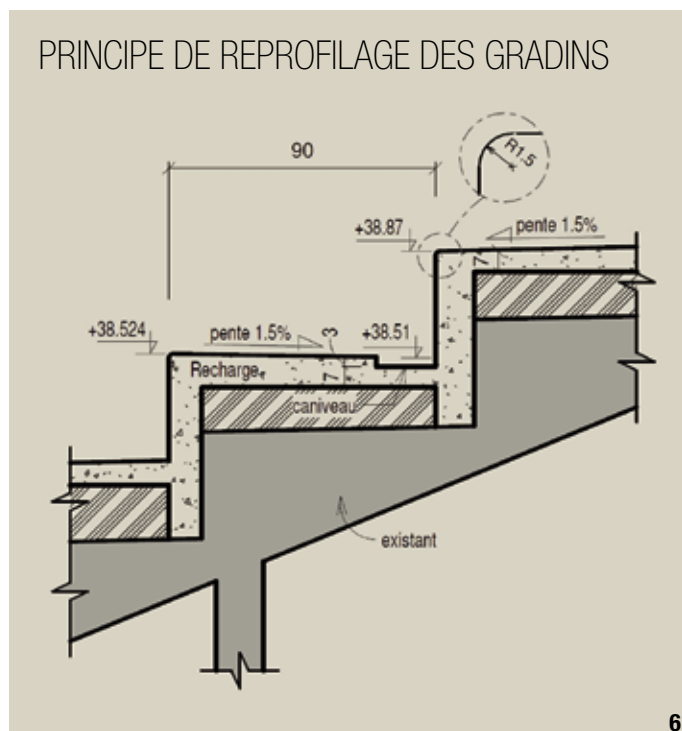
5- Execution of the mega-beam inside the Borota (West) grandstand.

6- Step reprofiling technique.

pieux existants. Là encore, les équipes ont dû œuvrer dans des ensembles de bureaux à restituer pour le tournoi. La deuxième phase anticipée des renforcements s'est tenue entre le tournoi 2017 et le tournoi 2018 (phase 2). Bien que plus spectaculaire, elle s'est principalement déroulée dans les niveaux d'infrastructures du court et sur le court proprement dit.

Le projet prévoyait de créer de nouveaux locaux techniques et un centre de presse flambant neuf. Cette fois, ces locaux seraient situés dans les niveaux de sous-sols à créer, et de rez-de-chaussée bas de la tribune Jean Borotra (tribune Ouest). La tribune Ouest est la seule qui n'est pas conservée dans le nouveau projet. Sa déconstruction et sa reconstruction complète avec la création de 2 niveaux d'infrastructures complémentaires soit 9 niveaux complets, 50 000 m³ de terrassements à évacuer sur un espace réduit en seulement 10 mois faisaient courir un trop grand risque (figure 4). Les fondations périphériques devaient être anticipées. Côté Ouest de la tribune Borotra, dès l'été 2017, après validation du phasage minutieux avec les travaux des bâtiments voisins du Court Philippe Chatrier, les ateliers de paroi moulée démarraient avec les 130 m de murettes guides et le forage de 2 000 m² de paroi en épaisseur 62 cm. Côté Est de la tribune, une tranchée blindée de 40 m de long sur 12 m environ de profondeur devait être créée depuis le court lui-même, court qui, depuis sa création, n'a jamais été modifié ou repris. De plus, l'ensemble du terrassement des 2 000 m³ réalisés en taube de la nouvelle galerie sous

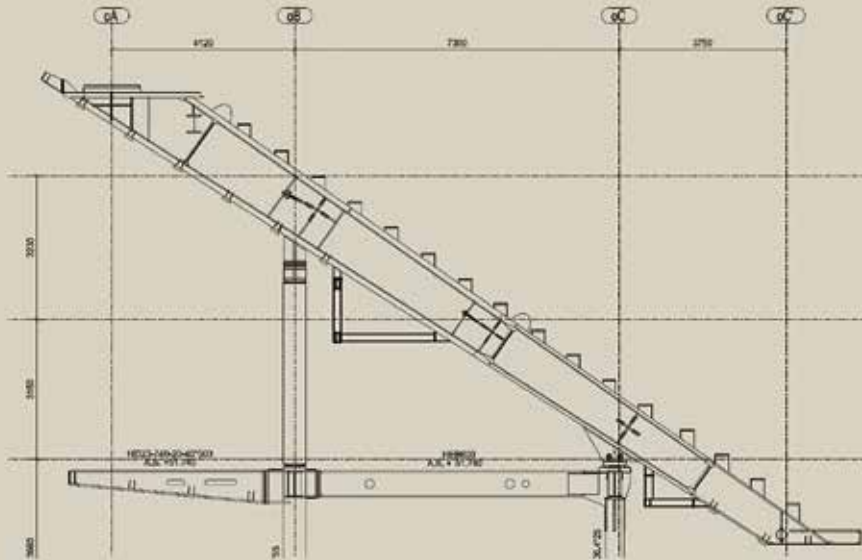
PRINCIPE DE REPROFILAGE DES GRADINS



6

© SIDF

COUPE SUR CRÉMAILLÈRE



© CIMOLAI

7

la tribune Lacoste (sud), terrassement permis notamment par la création de la fameuse mégapoutre, ne pouvait être évacué qu'en passant par le court au travers de la fosse à photographes au moyen de mini chargeuses, seules machines autorisées à rouler sur le court et ayant les dimensions requises pour emprunter les couloirs habituellement dévolus aux accès aux loges (figure 5). La Fédération Française de Tennis, très consciente des enjeux, donnait l'aval sous condition préalable d'une protection particulière à apporter au court.

7- Coupe sur crémaillère.

8- Vue du chantier fin novembre 2018.

7- Cross section on toothed rack.

8- View of the site at end-November 2018.

Les 3 victoires en finale de Nadal aux éditions 2018, 2019 et 2020 attestent que le dispositif mis en place n'a pas remis en cause la praticabilité du court. Enfin, pour terminer les renforcements anticipés des structures existantes, nombre de poteaux en béton ont été chemisés dans des espaces stratégiques :

- Restaurant des joueurs ;
- Vestiaires des joueurs et des joueuses dont l'aménagement a été revu pour répondre aux dispositions structurelles retenues.

Les poteaux ont été corsetés en augmentant leur section d'une épaisseur de béton sur l'ensemble du périmètre du poteau primitif.

Lorsque le chemisage était rendu impossible par la configuration spatiale du poteau et des aménagements voisins, il était alors épaissi sur 2 faces opposées, les armatures de renforts étant liaisonnées par des armatures transversales traversant le poteau primitif.

LA PRÉFABRICATION DU GROS ŒUVRE DE LA PHASE 3

Le nouveau court Philippe Chatrier est un ouvrage R+6 de structure mixte, avec une structure béton du 1^{er} sous sol au R+2, puis d'une charpente métallique du R+3 à la toiture.

La préfabrication des éléments de gros œuvre a été la solution retenue pour tenir le délai de la phase 3.

Après une grosse préparation en amont il ne restait qu'à assembler ce lego géant. 600 gradins et crémaillères, 600 poteaux et poutres, 100 escaliers préfabriqués, 2000 m² de dalles alvéolaires précontraintes, 550 m² de garde-corps béton, 11 000 m² de prémurs.

Une douzaine de préfabriquants ont œuvré pour livrer les éléments de la structure de façon cadencée et "juste à temps". En effet, il a été choisi de ne faire aucun stockage sur site de ces éléments. Le suivi des approvisionnements par la méthode du LPS a rendu possible cette orchestration fine.

CONSERVATION ET REPROFILAGE DES GRADINS EXISTANTS

Gagner du temps, c'est permettre de répondre de façon plus efficace aux aléas et de sécuriser le tournoi. Pour ce faire, conserver une partie des gradins existants et reprofiler dessus les nouveaux gradins a été une solution technique nécessaire.

Les gradins existants après vérification préalable par le BET structure et par sondages étaient utilisés comme fond de coffrage pour le reprofilage des nouveaux gradins plus spacieux. Le principe de reprofilage des gradins existants est un complexe rapporté composé comme suit (figure 6) :

- Une dalle préfabriquée de 10 cm d'épaisseur ;
- Une contremarche coulée en place de 15 cm d'épaisseur qui permet le clavage des dalles préfabriquées et qui est scellée dans l'existant ;
- Un remplissage allégé en panneaux isolants de forte densité.



© DEVISU/BOX

8



9
© VCF

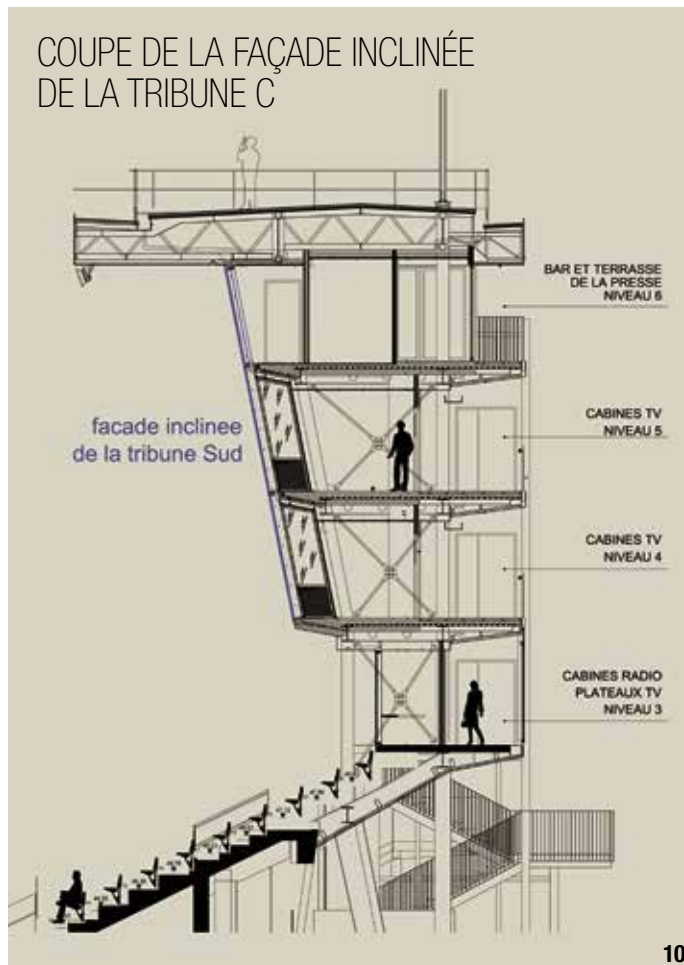
Cette solution permettait également de diminuer considérablement les impacts pour l'environnement en évitant la démolition, le transport et le retraitement des gravats. Cette donnée était importante pour l'obtention de la certification BREEAM niveau "Very Good".

DES MÉTHODES AU SERVICE DU PLANNING

Afin de soulager les grues et limiter le déplacement des matériels d'étaisements, les équipes de Vinci Construction France et de Cimolai ont travaillé ensemble aux sujétions d'attache des gradins en béton préfabriqué sur les crémaillères métalliques. Chaque gradin préfabriqué repose sur les platines équipées de goujons des crémaillères métalliques. Des réservations de 6/15 cm/cm sont laissées pour permettre le passage du goujon et la pose et le réglage des gradins. Les surfaces d'appui ainsi créées et le fait que le gradin repose également en partie sur celui du rang inférieur a permis de s'affranchir des dispositifs d'étaisement classique (figure 7).

Les mêmes recherches ont été menées pour les poutres en béton en appuis sur les poteaux béton. Ceux-ci étaient équipés de corbeaux, créant ainsi des sur-

COUPE DE LA FAÇADE INCLINÉE DE LA TRIBUNE C



10
© VCF

9- Bâche thermo-rétractable dans les gradins.

10- Coupe de la façade inclinée de la tribune C.

9- Heat-shrinkable tarpaulin in the steps.

10- Cross section of the inclined facade of the C grandstand.

faces d'appui et de reprise suffisantes pour ne pas encombrer le chantier et les grues de matériels d'étaisement rendus non nécessaires.

L'ORGANISATION DES ÉQUIPES ET DES MOYENS D'APPROVISIONNEMENT

Il a été indispensable pour tenir le délai de la phase 3 de travailler en 3x8 du lundi au samedi. Afin que les équipes puissent tenir la cadence, l'encadrement du gros-œuvre a également été dédoublé : 2 conducteurs de travaux et 2 chefs de chantier sous chacune des 4 grues pouvaient assurer 2 tranches de travaux de 8 heures.

La 3^e tranche de travaux de nuit était globalement réservée aux travaux de charpente métallique.

La charge des grues était telle que même avec l'ajout d'une 5^e grue disposée à même le court durant 5 mois ne permettait pas l'utilisation de la grue par d'autres corps d'état que le gros-œuvre (figure 8).

En fin de phase 3, 3 lifts ont été mis en place pour l'approvisionnement des différents niveaux par les corps d'état techniques et secondaires.

VARIANTE TECHNIQUE POUR LA RÉSINE DES GRADINS

Toujours dans un souci de sécuriser le planning, les équipes de Vinci Construction France ont été amenées à proposer à la Fédération Française de Tennis et à la maîtrise d'œuvre une solution technique variante pour appliquer en un temps record et en plein hiver de la résine d'étanchéité sur les 13 000 m² de gradins. C'est donc le procédé de la résine projetée à chaud qui a été retenu, car il présente un précieux gain de temps par rapport au procédé de résine solvantée :

- D'une part la préparation du support est plus rapide car elle ne nécessite pas la mise en œuvre de bande de renfort au niveau des points singuliers tels que les arêtes des gradins ou les angles rentrants ;
- D'autre part l'application de la couche d'étanchéité se fait par la projection d'un bicomposant (polyuréthane), avec une polymérisation instantanée.



11
© VCF

11- Pose de la façade inclinée.
12- Maquette BIM.

11- Placing the inclined facade.
12- BIM model.

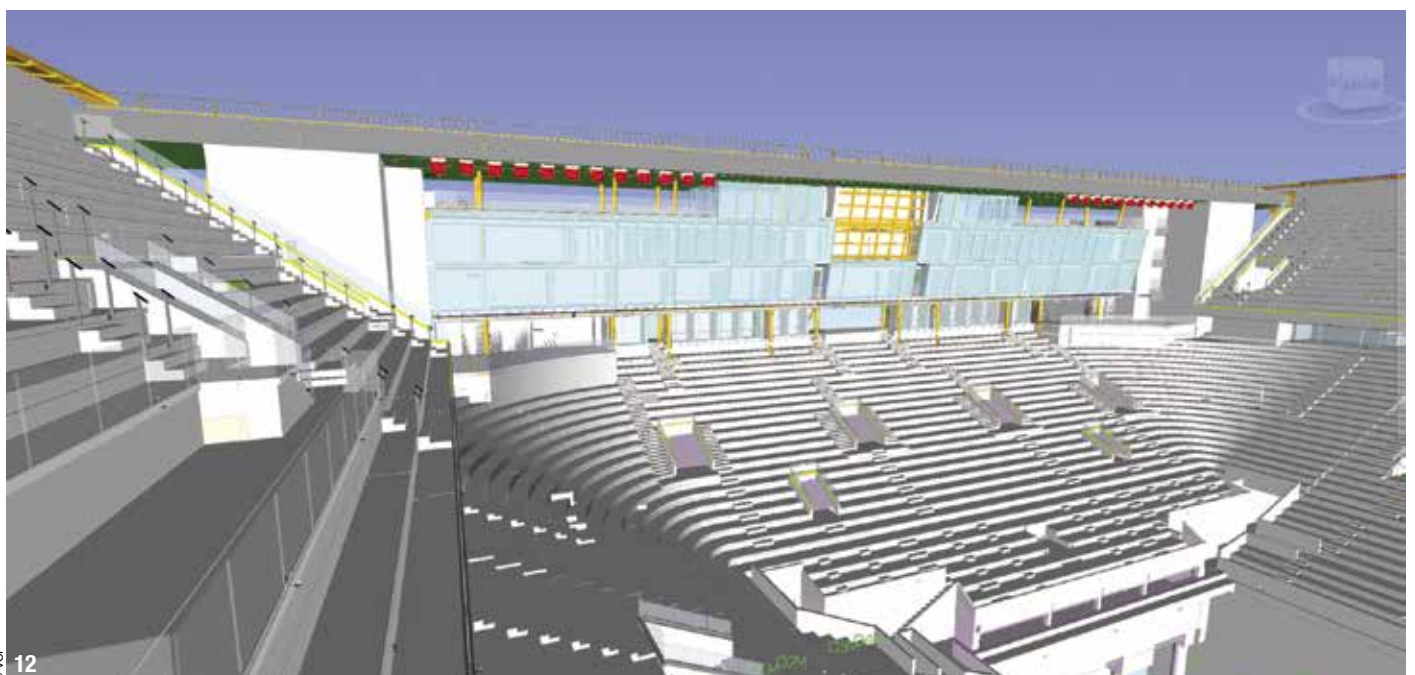
Toutefois, cette solution n'a pas permis de s'affranchir d'importants moyens pour garantir une température et une hygrométrie acceptables pour l'application du polyuréthane : une logistique spécifique a été mise en place pour que les gradins soient recouverts en totalité de bâches thermo-rétractables chauffées (figure 9).

MISE AU POINT DE LA MÉTHODOLOGIE DE POSE PAR BLOC DE LA FAÇADE INCLINÉE DE LA TRIBUNE DES MÉDIAS

Un des éléments indispensables au bon déroulement de la phase 3, notamment pour le démarrage des corps d'état secondaires, fut la pose de la façade inclinée de la tribune des médias (figure 10). En effet, bien qu'il n'était pas nécessaire pour le tournoi 2019 que le central soit achevé au niveau de l'aménagement de l'intérieur des tribunes recevant les salons VIP, il était cependant indispensable que la tribune Sud recevant les médias internationaux soit totalement opérationnelle pour permettre la retransmission des matches. Cette façade inclinée en dévers de 11° de type VEC possède un vitrage extra clair avec un traitement antireflet sur les 2 faces pour éviter l'éblouissement des joueurs par le reflet du soleil ou des éclairages du court.

Sa mise en œuvre a nécessité des échanges quotidiens entre les équipes de Vinci Construction France pour le gros œuvre, de Cimolai pour la charpente et de Facal pour la façade afin d'aboutir à un phasage précis pour intégrer le temps de pose à la grue dans un planning de charge de grue déjà très lourd, et pour intercaler l'intervention du façadier entre la fin de la pose de la charpente de la tribune Sud, et la pose de la casquette qui surplombe la tribune Sud.

De plus, le façadier Facal a su mettre au point une ingénieuse méthode de pose des blocs VEC à la grue par ▷



© VCF
12



© VCF



© VCF

l'extérieur de la tribune : un système de palonnier et de contre-poids a permis de s'affranchir du porte-à-faux des planchers rendant la configuration de pose de la façade complexe du fait du dévers de la façade (figure 11).

La pose des 63 blocs VEC dont les dimensions peuvent varier de 4,5 à 18 m² a pu ainsi être réalisée avec succès en un mois et demi.

LA MISE EN PLACE DU LAST PLANNER SYSTEM (LPS)

Technique issue du Lean Management, elle a pris tout son sens ici pour permettre de faire cohabiter jusque 1 000 compagnons en pointe.

Le timing extrêmement serré de la déconstruction de la tribune B (ouest), le terrassement complet de son infrastructure à venir et les raccords aux parois moulées et tranchée blindée anticipées dans les phases précédentes nécessitaient la mise en place d'une technique de management qui devait permettre de jalonner les grandes étapes de la construction du court :

- 10 juin 2018 : finale du tournoi ;
- 18 juin 2018 : début des opérations de curage du court préalable et nécessaire à la démolition ;
- 2 juillet 2018 : démarrage de la déconstruction lourde de la tribune B ;
- Fin août 2018 : pose des premiers éléments de charpente ;
- Fin septembre 2018 : début du coulage du radier de la tribune B ;
- Début octobre 2018 : pose des premiers gradins ;
- Fin octobre 2018 : démarrage de la résine d'étanchéité des gradins ;
- Fin octobre 2018 : démarrage des premiers corps d'état architecturaux et techniques dans les espaces joueurs.

LA MODÉLISATION BIM AU SERVICE DES COLLABORATEURS

La direction de chantier a choisi de réaliser les études du court Philippe Chatrier en BIM (figure 12). Cet outil digital concentre l'ensemble des informations techniques du bâtiment, ce qui a permis, entre autres applications, la modélisation et le suivi des éléments préfabriqués et de mener les études de synthèse techniques et architecturales.

LA COUVERTURE DU COURT CENTRAL

Réalisée en phase 4 par le charpentier italien Cimolai, la couverture est com-

13- Aire de pré-assemblage.

14- Aile au sol avant levage.

15- Méthodologie de hissage des ailes.

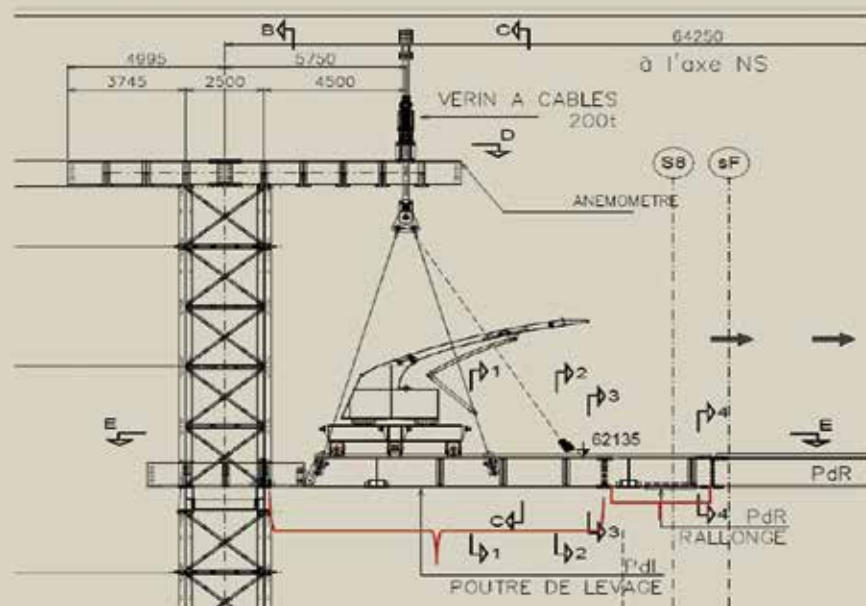
13- Preliminary assembly area.
14- Wing on the ground before hoisting.

15- Wing hoisting methodology.

posée de 11 ailes de 105 m de portée, pesant 310 t chacune. Chaque aile en charpente métallique est entoillée et raccordée à la suivante par un système de compas, ce qui permet de garantir l'étanchéité de la toiture. La couverture se ferme en 15 mn.

En position ouverte, les 11 ailes sont regroupées sur la tribune Nord, ce qui a nécessité la mise en place de 4 poteaux métalliques de 22 m de haut pour renforcer la structure principale. Chaque aile est composée de 7 tronçons métalliques de 15 m, assemblés au sol sur 2 aires de pré-assemblage (figure 13), puis hissée sur le toit avant

MÉTHODOLOGIE DE HISSAGE DES AILES



© CIMOLAI



© VCF 16

d'être ripée sur les 2 poutres de roulement (PdR) qui bordent la toiture. Il aura fallu 3 semaines pour chaque aile pour souder les éléments entre eux, et assembler les caissons acoustiques de la sous-face des ailes.

Afin de respecter la cadence et de libérer la place au sol pour le montage de l'aile suivante, il a été choisi de terminer la pose des caissons acoustiques et de la toile des ailes une fois la structure de l'aile déjà mise en place sur la toiture. Deux palées de levage ont été installées de part et d'autre de la tribune Sud. Sur chacune de leurs extrémités, les ailes

16- La toiture du court en position fermée.

16- The court roof in closed position.

sont posées au sol sur un tronçon de poutre de roulement (PdR) provisoire, ou poutre de levage (figure 14).

Une rallonge de poutre de roulement est également mise en place sur l'extrémité Sud de chacune des 2 poutres de roulement qui ont été mises en

place en phase 3. Chaque aile est hissée avec les poutres de levage sur lesquelles elle est posée. Ce tronçon provisoire est ensuite fixé à la rallonge, puis l'aile est ripée jusqu'à sa position définitive. (figure 15).

Le 5 février 2020, la Fédération Française de Tennis célébrait avec enthousiasme le dernier hissage et le démarrage des essais coordonnés de sa nouvelle couverture. Grâce à une puissance de 300 kW délivrée par deux

postes de transformation distincts et un groupe électrogène, l'hectare de la toiture du court central se déploie en 15 minutes montre en main (figure 16).

CONCLUSIONS

La réussite de l'opération "coup de poing" que représentait en phase 3 la démolition et reconstruction du court central, puis en phase 4 son aménagement avec la pose de la toiture amovible a été rendue possible par :

- L'anticipation de certains travaux de fondation et renforcement en phase 1 et 2 ;
- L'extension des plages horaires de travail ;
- La recherche de solutions techniques et méthodologiques permettant de gagner du temps et de sécuriser le planning ;
- La mise en place d'outils d'aide à la décision tel que le LPS et la modélisation BIM.

La nouvelle couverture du court central assurera dorénavant aux joueurs une équité de jeu sur terrain sec dès les quarts de finale. Elle ouvre des perspectives à la Fédération Française de Tennis sur des nouvelles possibilités de programmation, notamment de nuit. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Fédération Française de Tennis

ARCHITECTE : Acd Girardet & Associés

MAÎTRE D'ŒUVRE STRUCTURE : Dvvd

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Vinci Construction France / Petit / Chantiers Modernes Construction

CHARPENTE MÉTALLIQUE (CO-TRAITANT) : Cimolai

CHIFFRES CLÉS

COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION : 218 Millions d'Euros

DURÉE TOTALE DU CHANTIER : 5 phases de 10 mois

SURFACE AU PLANCHER DU COURT PHILIPPE CHATRIER : 55 000 m²

NOMBRE DE PLACES COURT PHILIPPE CHATRIER : 15 000 places

EMPRISE COURT PHILIPPE CHATRIER : 100 m x 100 m

GRADINS COURT PHILIPPE CHATRIER : 8 km

NOMBRE D'ÉLÉMENTS PRÉFA COURT PHILIPPE CHATRIER : 4 000 pièces

DÉMOLITION COURT PHILIPPE CHATRIER : 12 000 m³

ABSTRACT

A NEW COVERED CENTRE COURT FOR ROLAND GARROS STADIUM

SÉBASTIEN FORGET, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - CLAIRE DOURLET, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

Modernisation work on Roland Garros Stadium, undertaken on the initiative of the French Tennis Federation, began in 2015. The main objectives were to provide greater comfort for the public, and match the prestige of the Grand Slam tournaments. This renovation work, punctuated by the "must-see" annual tournament, lasted more than five years. The main technical and human exploit concerned work on the Philippe Chatrier centre court. A special organisation and innovative technical options were required to complete in a 10-month work phase the demolition and complete reconstruction of the 15,000-seat court, then, in the following phase, the erection of a roof formed of 11 retractable wings. □

UNA NUEVA PISTA CENTRAL CUBIERTA PARA EL ESTADIO ROLAND GARROS

SÉBASTIEN FORGET, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - CLAIRE DOURLET, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION

Impulsadas por la Federación Francesa de Tenis, las obras de modernización del estadio Roland Garros comenzaron en 2015 con los objetivos principales de ofrecer un mayor confort al público y alinearse con los estándares de los torneos del Grand Chelem. Esta rehabilitación, ejecutada al ritmo del imprescindible torneo anual, ha durado más de 5 años. Las obras de la pista Philippe Chatrier han supuesto una verdadera hazaña técnica y humana, que ha precisado una organización específica e innovadoras alternativas técnicas para realizar, en una fase de 10 meses, la demolición y la reconstrucción completa de la pista de 15 000 localidades; en la fase siguiente, se ha realizado el montaje de un techo formado por 11 alas retráctiles. □



1
 © BOUYGUES-TP

LE PONT RAIL CANAL SAINT-DENIS "UN OUVRAGE EN FINESSE DE LA CONCEPTION À LA RÉALISATION"

AUTEURS : PAUL GABET, CHEF DE GROUPE TRAVAUX, RESPONSABLE DU PROJET, BOUYGUES TP - THIBAUT CALLIES, INGÉNIEUR TRAVAUX, BOUYGUES TP - VALÉRY PREMAUD, CHEF DE SERVICE ADJOINT ÉTUDES, BOUYGUES TP

LE PONT RAIL (PRA) SAINT-DENIS SITUÉ DANS LE NORD DE PARIS S'INSCRIT DANS LE PROJET EOLE, DE PROLONGATION DU RER E AVEC LA CRÉATION DU TERMINUS OUEST EN GARE DE ROSA-PARKS. L'AMÉNAGEMENT DE CE TERMINUS TECHNIQUE CONDUIT À INTÉGRER 2 VOIES SUPPLÉMENTAIRES DANS LE FAISCEAU DE VOIES PARIS EST À STRASBOURG. IL NÉCESSITE LE RIPAGE VERS LE SUD DES DEUX VOIES 2EOLE ET 2BIS EXISTANTES. LE PROJET COMPREND LA CONSTRUCTION D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT, D'OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT AU-DESSUS DES BERGES ET DU CANAL SAINT-DENIS ET DE MASSIFS DE FONDATIONS POUR CATÉNAIRES ET SIGNALISATION.

INTRODUCTION

Le projet du PRA Saint-Denis consiste en la réalisation des ouvrages suivants (figure 2) :

- Murs de soutènement OA9/OA10 au niveau du quai de la Gironde et OA11 au niveau du quai de la Charente.
- Pont rails OA10 au-dessus du canal Saint-Denis constitué de 2 tabliers isostatiques en poutrelles enrobées

au-dessus des berges et d'un pont en arc au-dessus du canal. Ce dernier est de type double caissons métalliques avec hourdis béton. L'ouvrage se compose de 3 travées indépendantes pour franchir successivement : le tram T3, la berge Gironde réservés aux piétons et cycles, le canal Saint-Denis, puis la berge Charente réservées aux piétons, cycles et véhicules routiers.

1- Pont en arc OA10 (portée 44 m).

1- Arch bridge OA10 (span 44 m).

Un des challenges de ce projet, outre la construction à proximité d'un ouvrage existant circulé, a été la pose des différents tabliers en zone urbaine dense.

LES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

Les ouvrages de soutènement assurent la stabilité de la plateforme ferroviaire en amont et aval du franchissement. Ils se composent de fondations profondes type pieux, d'une semelle de liaison et de voiles en béton armé. Une attention particulière a été portée aux différents parements béton avec la réalisation de jardinières et de béton matricé.

VUE D'ENSEMBLE DU PROJET



© SNCF RESEAU

2

À titre d'exemple, l'OA11 présente une section fondée sur 2 rangées de pieux forés tubés de diamètre 1 000 mm (longueur 7 m) et d'une section réalisée sur 2 rangées de micropieux de type IV (injection répétitive et sélective) de diamètre extérieur 168,3 mm (épaisseur 17,5 mm avec une longueur moyenne de 10 m). Les micropieux ont été réalisés par l'entreprise Soleffi. Les bétons utilisés sont C30/37 pour les pieux et C35/45 pour la semelle et le mur. Des rampes d'accès sont également incluses dans ces soutènements.

2- Vue d'ensemble du projet.
3- Remblai des plateformes amont et aval par Wagon Auto Déchargeable.

2- Overall view of the project.
3- Upstream and downstream platform backfilling by self-discharging wagon.

Un point important a été la vérification des déplacements en tête de mur afin d'éviter tout tassement au niveau de la voie ferrée.

Certains ouvrages de soutènement présentent des massifs de caténaires et de signalisation en tête de voile. Afin de limiter les opérations logistiques dans le contexte urbain dense du chantier, les matériaux de remblaiement ont été acheminés sur site en opérations coup de poing (figure 3) par trains travaux WAD (Wagon Auto Déchargeable).

L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT

L'ouvrage est constitué de 3 travées et porte 2 voies ferroviaire dont l'une adopte un tracé en plan particulier qui tend à être à cheval avec le pont existant. Un joint longitudinal sur longrines a été réalisé pour assurer la transition entre les 2 ouvrages.

Les principales caractéristiques géométriques du pont (figure 4) sont :

- Longueur totale : 78,43 m ;
- Portée des travées : 17,16 m + 44,11 m + 17,16 m (biaises) ;
- Largeur du tablier : variable de 10,02 à 6,97 m.

L'ouvrage est constitué de 2 types de tabliers :

- Tabliers à poutrelles enrobées (TPE) ;
- Tablier central de type bipoutre mixte (double caissons métalliques connectés au hourdis en béton) reposant sur un arc métallique dédoublé et des pilettes.

Les appuis fixes sont situés sur chaque culée (C0 et C3) et en pieds d'arcs. Leurs fondations profondes sont de type pieux en béton armé pour les culées et micropieux pour les piles. Ces micropieux sont verticaux et inclinés afin de reprendre les efforts de l'arc. L'épaisseur des tabliers est de 0,87 m pour les TPE et 0,89 m pour le tablier mixte central. Ces tabliers sont dimensionnés pour reprendre les charges ferroviaires de type ML71 majorées par le coefficient alpha égal à 1 (réseau ferroviaire à écartement standard).

LES OUVRAGES AU-DESSUS DES BERGES

Ces ouvrages sont des tabliers isostatiques en poutrelles enrobées entre C0 et P1 et entre P2 et C3.

Les tabliers de portée biaise 16,6 m et de largeur maximale 9,24 m sont constitués de poutrelles en HEB 800 espacées de 50 cm (Nuance S355) et de contreflèche de 44 mm (figure 5). Le béton est un C35/45 de classe d'exposition XC4/XF1. Les flèches en service sont limitées à $L/800$ soit 21 mm.

Les tabliers reposent sur des appuis en élastomère fretté au niveau de l'appui mobile. Des platines, bèches et taquets anti-cheminement assurent la reprise des efforts horizontaux transversaux. Au niveau des culées C0 et C3 (points fixes), des tiges d'ancrage en HA32 transmettent les efforts horizontaux longitudinaux dans le voile des culées. Les culées (figure 6) sont constituées d'un mur de front d'épaisseur 1 m et de murs en retour d'épaisseur variable (0,3 m en tête et 0,7 m en pied), ▷



© BOUYGUES-TP

3

VUE D'ENSEMBLE DE L'OA10



4

© SNCF RESEAU

reposant sur une semelle de liaison d'épaisseur 1,8 m. Celle-ci est fondée sur une dizaine de pieux diamètre 1000 mm et de longueur 14 m.

Une attention particulière a été portée sur la qualité des parements par l'utilisation notamment de voiles préfabriqués mis en place devant les murs de front. Le non-déversement des poutrelles a été vérifié lors des différentes phases de bétonnage sans dispositif de contreventement particulier. Un contreventement minimal a cependant été mis en place sur appuis par l'intermédiaire de croix de Saint-André.

Les poutrelles ont été posées par colis de 2 à 4 poutrelles en opérations coup de poing (figure 7) conditionnées par des interruptions temporaires de circulation des voies SNCF, du tram T3 du canal Saint-Denis ou de la voirie publique. Les colis de rives comportent les coques préfabriquées coffrantes.

LE PONT EN ARC

La travée centrale entre P1 et P2 est constituée d'un tablier mixte de type double caissons métalliques connectés à une dalle en béton armé et de deux arcs de type caissons métalliques.

L'ouvrage supporte 2 voies ferrées dont une passe du nouvel OA10 à l'ouvrage existant sur la longueur du franchissement. Les principales caractéristiques du tablier (figure 1) sont :

- Portée biaise 43 m (biais de 120 grades) ;
- Largeur biaise variable de 9,34 m à 7,85 m ;
- Courbure de l'arc 25,75 m en pied d'arc et 12 m à la clé ;
- Pilettes de diamètre extérieur 508 mm (épaisseur 40 mm) ;
- Acier S355 K2+N et NL.

Chaque arc est constitué de PRS (profilé reconstitué soudé) en forme de caissons à âmes verticales.

4- Vue d'ensemble de l'OA10.

5- Coupe des tabliers à poutrelles enrobées.

4- General view of OA10.

5- Cross section of embedded-beams type bridge decks.

Les caissons font 2 m de large pour une hauteur variable de 1 m à 2 m, avec des épaisseurs de tôles de 20 à 50 mm pour les âmes et 60 mm pour les semelles. Des pièces de pont en forme de H relient les deux arcs.

Des diaphragmes verticaux sont disposés au droit des pilettes et au niveau de la clé pour rigidifier la structure.

En pied d'arc, des platines de 50 mm d'épaisseur (figure 8) assurent la liaison avec les massifs de fondation.

La dalle du tablier en béton armé est connectée aux caissons supérieurs métalliques via des goujons.

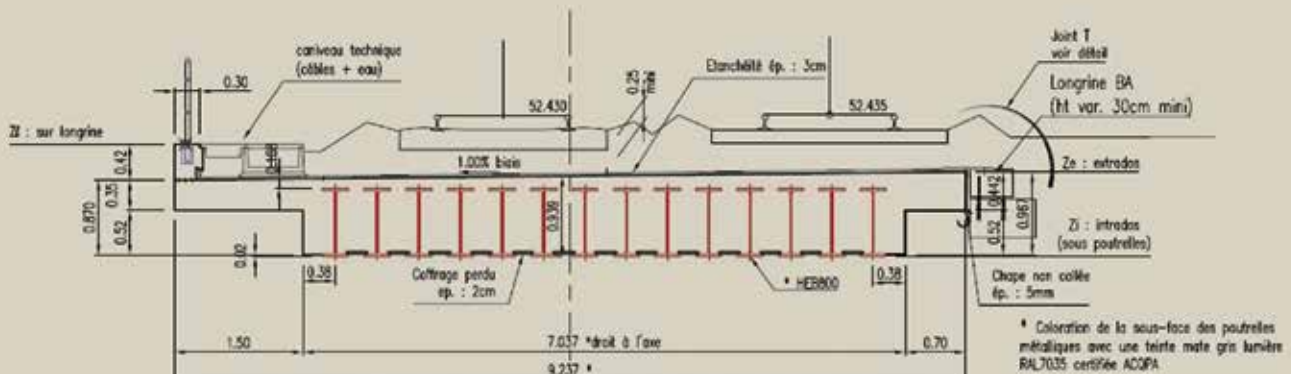
Afin d'augmenter l'inertie de l'ouvrage et de limiter les déplacements, les caissons métalliques ont été remplis partiellement en béton.

Le tablier repose sur des appareils d'appui type sphérique avec blocage transversal des déplacements.

Les pieds d'arc sont également sur des appareils de type sphérique avec blocages de toutes les directions, seules les rotations sont libérées. Des bèches métalliques assurent la transmission des efforts horizontaux vers les massifs de fondation.

Avant la mise en place du pont en arc, des travaux de réfection des parements ont été réalisés sur les surfaces cou-

COUPE DES TABLIERS À POUTRELLES ENROBÉES



5

© BOUYGUES-TP



© BOUYGUES-TP



© BOUYGUES-TP

rantes du pont existant (rejointoiement, sablage, etc.).

L'entreprise Matière a réalisé les arcs et tablier métalliques. Ils ont été montés et apportés sur site à l'aide d'une barge (figure 9).

FONDATEMENTS ET INTERACTION SOL STRUCTURE

Chaque pile du pont en arc (P1 et P2) est constituée de 72 micropieux (type IV), 36 verticaux et 36 inclinés (45°) pour reprendre les différentes composantes d'efforts de la pile et de l'arc (figure 10). Ces micropieux sont des tubes de diamètre extérieur 177,8 mm, épaisseur 20 mm, avec un diamètre de forage de 250 mm.

Le massif de liaison entre les micropieux, la pile et les pieds d'arc présentent des dimensions importantes pour répartir au mieux les efforts, longueur 10 m, largeur 8,5 m et épaisseur

6- Ferrailage de la pile P1.

7- Levage d'un colis de rive de poutrelles de TPE.

8- Massifs de liaison en pied d'arc, avant bétonnage.

9- Premier arc métallique avant pose par barge.

6- Reinforcement of pier P1.

7- Lifting an edge package of embedded-beams type bridge deck beams.

8- Joining foundation blocks at the arch base, before concreting.

9- First steel arch before placing by barge.

variable de 2,85 m à 5 m. Des bossages en béton armé permettent le scellement des platines des pieds d'arc munies de bêches. Les piles sont des voiles en béton armé d'épaisseur 2,1 m pour une hauteur de l'ordre de 5,6 m. Elles reçoivent en tête les appuis de la travée du pont en arc et des tabliers en poutrelles enrobées.

En raison de critères très exigeants en termes de tassement, imposés par la présence d'une voie ferrée à cheval entre le nouvel ouvrage et le pont existant, des calculs d'interaction sol structure ont été réalisés par les bureaux d'études.

Des calculs itératifs et complexes ont permis d'obtenir la raideur des massifs de fondation en prenant en compte les effets d'interaction du sol et des micropieux. Les raideurs sous chaque pile sont sous la forme de matrices 6x6 non diagonales avec des termes cou-

plés non nuls (dissymétrie de répartition des charges au niveau des micropieux). Un changement de repère et une diagonalisation de ces matrices a été nécessaire pour prendre en compte ces raideurs dans le calcul de la structure à l'aide de ressorts.

L'ensemble des massifs de fondations a été réalisé à l'abri de soutènements provisoires (berlinoise et micro berlinoise). Les perrés historiques de berges (figure 11) ont été reconstitués jusqu'au mieux ce nouvel ouvrage dans le cadre architectural du canal Saint-Denis.

LES PRINCIPAUX ENJEUX

Les enjeux du chantier ont été multiples (figure 12) :

→ Respect du planning vis-à-vis des différentes opérations coup de poing et des interruptions temporaires de circulation lors des travaux ▷



© BOUYGUES-TP



© BOUYGUES-TP



10
© BOUYGUES-TP



11
© BOUYGUES-TP

de remblaiement et de pose des tabliers par grue ou par barge. Les délais finaux ont été tenus malgré la suspension des travaux en mars 2020 due à la crise sanitaire.

→ Calcul de l'ouvrage en prenant en compte l'interaction rail structures pour appréhender au mieux les déformés de l'ouvrage en raison d'une voie ferrée à cheval entre l'ouvrage existant et le nouveau PRA.

→ Maintien de la continuité architectural de l'ouvrage avec de nombreux travaux annexes pour assurer son intégration architecturale dans l'environnement du canal Saint-Denis. □

10- Micropieux des massifs de fondation du pont en arc.

11- Reconstruction des perrés.

12- Vue d'ensemble des ouvrages terminés.

10- Micropiles of arch-bridge foundation blocks.

11- Reconstruction of the breast walls.

12- General view of completed works.



12
© BOUYGUES-TP

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

MAÎTRE D'ŒUVRE : SNCF Réseau

GROUPEMENT ENTREPRISES (CONSTRUCTION) :

Bouygues Travaux Publics (Mandataire), Matière, Soleffi, Pro-fond

PRINCIPALES QUANTITÉS

STRUCTURE MÉTALLIQUE DU PONT EN ARC : 367 t

POUTRELLES ENROBÉES : 106 t

BÉTON DES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT : 631 m³

BÉTON DES CULÉES : 282 m³

BÉTON DES TABLIERS : 340 m³

BÉTON DES FONDATIONS (PIEUX) : 278 m³

MICROPIEUX : 4407 m

ABSTRACT

THE SAINT-DENIS CANAL RAIL BRIDGE "A REFINED STRUCTURE FROM DESIGN TO EXECUTION"

PAUL GABET, RESPONSABLE DU PROJET, BOUYGUES TP -
THIBAUT CALLIES, BOUYGUES TP - VALÉRY PREMAUD, BOUYGUES TP

The Saint-Denis rail bridge is characteristic of SNCF Réseau projects with numerous structures and interfaces to manage. It required the construction of permanent and temporary retaining structures, embedded-beams type bridge decks and a composite arch bridge, all this in a complex urban environment. This challenge requires strict management and supervision of operations throughout the works (temporary suspension of traffic, lightning operations at night). This project is now regarded as a benchmark structure above the Saint-Denis canal. □

EL PUENTE FERROVIARIO DEL CANAL SAINT-DENIS "UNA ELEGANTE CONSTRUCCIÓN, DEL DISEÑO A LA REALIZACIÓN"

PAUL GABET, RESPONSABLE DU PROJET, BOUYGUES TP -
THIBAUT CALLIES, BOUYGUES TP - VALÉRY PREMAUD, BOUYGUES TP

El puente ferroviario Saint-Denis es característico de los proyectos de SNCF Réseau, que requieren una gestión de múltiples construcciones e interfaces. Ha precisado la ejecución de obras de sostenimiento definitivas y provisionales, tableros de viguetas de hormigón y un puente abovedado mixto, todo ello en un entorno urbano complejo. Este reto ha exigido una gestión y un seguimiento rigurosos de las operaciones a lo largo de toda la obra (cortes temporales del tráfico, operaciones relámpago nocturnas). Actualmente, este proyecto constituye una obra de referencia sobre el canal Saint-Denis. □



1

© SETEC TPI

À MI-PARCOURS DE LA MODERNISATION DE LA VENTILATION AU TUNNEL DU FRÉJUS

AUTEUR : MAXIME GENTHON, INGÉNIEUR VENTILATION ET CHARGÉ D'ÉTUDES, SETEC TPI

LA TRANSITION VERS DES ÉQUIPEMENTS PLUS MODERNES POUR LA VENTILATION EN TUNNEL NE PEUT S'OPÉRER AISÉMENT QUAND IL S'AGIT DE LA REFONTE D'UN SYSTÈME DATANT DE PLUS D'UNE QUARANTAINE D'ANNÉES. EN AJOUTANT LE BESOIN DE MAINTENIR LEDIT TUNNEL EN EXPLOITATION, LES TRAVAUX DE REMPLACEMENT SONT COMPLEXIFIÉS CAR IL FAUT ALORS FAIRE CO-EXISTER D'ANCIENS ÉQUIPEMENTS AVEC DE NOUVEAUX. CEPENDANT, AVEC UNE BONNE MAÎTRISE DES ENJEUX TECHNIQUES ET EN OPTIMISANT LES ÉCHANGES ENTRE LES DIFFÉRENTS ACTEURS, UNE RÉNOVATION À UN RYTHME CONSTANT PEUT ÊTRE RESPECTÉE.

CONTEXTE

LA VENTILATION ACTUELLE ET FUTURE DU TUBE HISTORIQUE DU TUNNEL DU FRÉJUS

Le tunnel du Fréjus, long d'environ 13 km, est situé entre Modane (Savoie-France) et Bardonnèche (Piémont-Italie) sur l'axe Lyon/Turin.

Dans l'attente de l'ouverture d'un second tube, l'ouvrage est actuelle-

ment exploité avec un monotube bidirectionnel à 2 voies (1 voie par sens de circulation). Le tunnel est ventilé selon un système de ventilation dit "transversal" par soufflage d'air frais et extraction d'air vicié. Deux gaines de ventilation sont disposées au-dessus de l'espace de circulation, entre le faux-plafond et la voûte de l'ouvrage : l'une permet d'apporter l'air frais et l'autre

1- Livraison de ventilateur AV et AF pour une usine de ventilation souterraine.

1- Delivery of AV and AF fans for a tunnel ventilation plant.

d'extraire l'air vicié. Étant donné la longueur conséquente du tunnel, ces gaines sont subdivisées en plusieurs tronçons indépendants qui sont équipés de couples de ventilateurs de soufflage (dit "AF") ou d'extraction (dits "AV"). Au total, le système de ventilation est composé de 24 ventilateurs (12 AF + 12 AV) situés dans des bâtiments (que l'on appelle "usine de ventilation")

déportés du tunnel ; les usines A et D, situées respectivement à l'extérieur aux têtes de tunnel française et italienne, et les usines B et C, à chaque tiers (aux 1/3 et 2/3) du tunnel dans des cavernes souterraines (figures 2 et 3). La ventilation de l'ouvrage est exploitée selon deux modes principaux :

→ Le mode sanitaire, utilisé en exploitation normale, qui a pour principal objectif d'assurer une bonne qualité de l'air dans le tunnel. Ce mode est notamment réalisé grâce à l'apport d'air frais venant des AF ;

→ Le mode désenfumage, utilisé en cas d'incendie, qui a pour objectif de permettre l'auto-évacuation des usagers dans des conditions de sécurité acceptables. L'extraction des fumées est réalisée au droit de l'incendie par les AV (un système de contrôle de courant d'air permet par ailleurs de concentrer les fumées) et une ouverture adaptée de 4 trappes en sous-face de la gaine d'air vicié (figure 2).

Après la mise en service du second tube, le tube historique verra son système de ventilation adapté en "longitudinal" via notamment l'ajout et l'utilisation de 55 nouveaux accélérateurs installés en piédroits.

Les 24 ventilateurs seront néanmoins mis à profit pour assurer les deux régimes de ventilation principaux :

→ Le mode sanitaire sera dorénavant réalisé par les accélérateurs mais pourra au besoin être complété par les AF ;

→ Le mode désenfumage suivra toujours une logique d'extraction massive mais en aval de l'incendie, là où les fumées seront poussées, notamment à l'aide des accélérateurs (figure 3).

CONCEPTION DU NOUVEAU SYSTÈME DE VENTILATION

L'intitulé du marché de travaux discuté dans ce papier emploie le terme de "remplacement" pour définir les actions réalisées sur la ventilation du tunnel du Fréjus. En réalité, cette tournure est quelque peu galvaudée tant les travaux qui seront réalisés mèneront à un nouveau système de ventilation bien plus complet et efficace que l'actuel. Certains choix de conception adoptés dans ce projet de rénovation (et éventuels ajustements terrain) sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

ÉQUIPEMENTS DE VENTILATION

Avec la perspective d'une exploitation du tunnel en bitube unidirectionnel, les nouveaux ventilateurs doivent être adaptés à leur utilisation future et, à la fois, offrir des possibilités d'emploi permettant de se calquer sur le fonctionnel ventilation actuel. Ces machines présentent donc une puissance mécanique conséquente (1 MW environ pour 450 kW anciennement) et une technologie sophistiquée (développée plus loin). L'environnement d'implantation n'est cependant pas dimensionné pour accueillir les performances maximales de ces nouveaux ventilateurs ▷

2- Stratégie actuelle d'extraction des fumées (contrôle de courant d'air et apport d'air frais non-représenté).

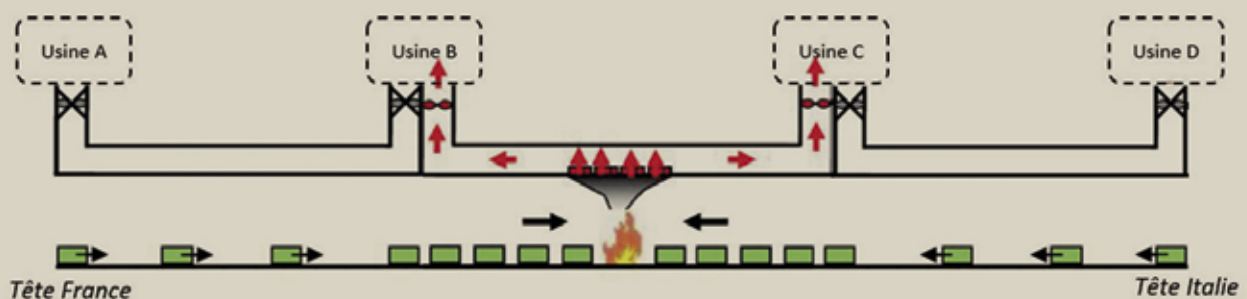
3- Stratégie future d'extraction des fumées (apport d'air frais non-représenté).

2- Current fume extraction strategy (air flow monitoring and fresh air intake not shown).

3- Future fume extraction strategy (fresh air intake not shown).

STRATÉGIE ACTUELLE D'EXTRACTION DES FUMÉES

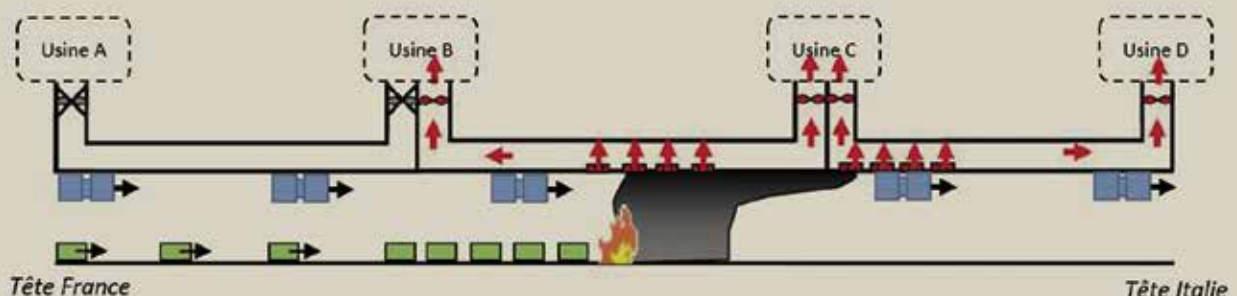
(Contrôle de courant d'air et apport d'air frais non-représenté)



© SETEC TPI
2

STRATÉGIE FUTURE D'EXTRACTION DES FUMÉES

(Apport d'air frais non-représenté)



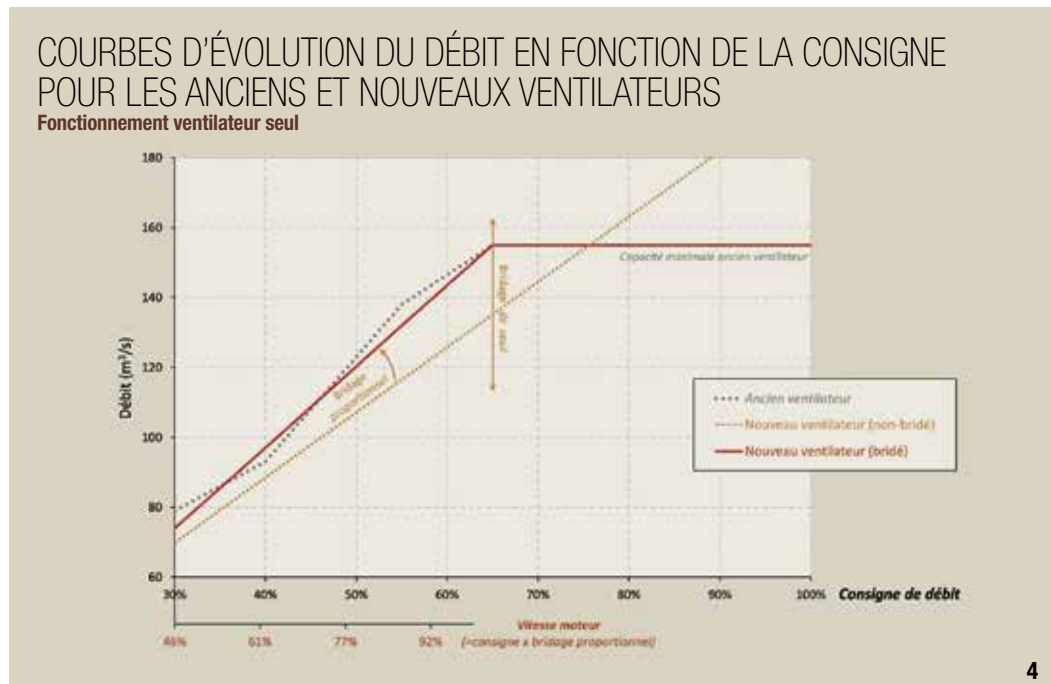
© SETEC TPI
3

4- Courbes d'évolution du débit en fonction de la consigne pour les anciens et nouveaux ventilateurs (fonctionnement ventilateur seul).

5- Ventilateurs d'air vicié recouverts de leur protection thermique.

4- Curves showing changes in flow according to the set-point value for old and new fans (fan operation only).

5- Foul air fans covered with their thermal protection.



(les artères d'alimentation haute tension doivent par exemple être-redimensionnées à la hausse, etc.). Les nouveaux ventilateurs sont donc "bridés" via un compromis sur :

- Le réglage de l'angle de pale : les ventilateurs du Fréjus sont composés d'une roue sur laquelle sont montées des aubes dont l'inclinaison est variable. C'est en modifiant ce calage de pale que le débit d'un ventilateur en marche est actuellement régulé ;
- Le régime moteur : la vitesse de rotation des nouveaux ventilateurs pourra être contrôlée finement par de nouveaux variateurs dédiés. En conséquence, le débit sera dorénavant régulé via la variation de cette vitesse.

Les nouveaux ventilateurs peuvent également changer leur angle de pale en cours de marche, mais ce paramètre ne constitue plus un levier de pilotage car le débit fourni par le ventilateur n'évolue pas linéairement avec l'angle de pale, au contraire de la vitesse moteur (figure 4). Ainsi, l'angle de pale est dorénavant fixe pour une configuration donnée de fonctionnement d'un nouveau ventilateur. Comme introduit plus-haut, l'objectif à court-terme est de reproduire les performances (plus modestes) des anciens ventilateurs. Par conséquent, un bridage de "seuil" et un "proportionnel" sur la consigne ventilateur sont mis en place pour les nouvelles machines (figure 4) :

- La valeur du bridage de "seuil" permet de définir la consigne au-delà de laquelle la vitesse moteur

des nouveaux ventilateurs n'augmente plus afin de simuler les performances maximales des anciens ventilateurs ;

- Le coefficient du bridage "proportionnel" est appliqué sur la consigne afin de superposer au mieux les courbes de débits des nouveaux et anciens ventilateurs, dans la zone en-deçà de la valeur de bridage de "seuil".

À noter que le fonctionnement ventilation du Fréjus a souvent recours à la marche

à deux ventilateurs en parallèle. De ce fait, la consigne actuellement appliquée sur les ventilateurs est exprimée en pourcentage du débit maximal produit par les ventilateurs jumeaux en marche simultanée (figure 4).

Pour rester sur le sujet de la marche simultanée, elle s'est avérée être une contrainte de mise en œuvre non-négligeable tant le risque de désynchronisation du couple est élevé en cas de calages de pales différents. Notre retour d'expérience travaux va notamment en

ce sens avec des écarts constatés de 1° qui amenaient à un déséquilibre des débits dans le couple. Une nouvelle étape de mesure rigoureuse et commune de l'inclinaison des pales d'un couple de ventilateurs lors des recettes site est devenue nécessaire.

Parmi les difficultés rencontrées à la suite des premières mises en service de ventilateurs de l'usine A en 2019, l'exploitation de ces nouvelles machines durant plusieurs semaines a notamment fourni de nouveaux enseigne-





6a- Transformateur d'un ventilateur de l'usine A.

6b- Tableaux Généraux Basse Tension des ventilateurs de l'usine A.

7- Basculement de source sur perte de l'alimentation du ventilateur n°1 et indisponibilité du ventilateur n°2.

6a- Transformer for a fan in plant A.

6b- Main low voltage switchboards for fans in plant A.

7- Source switching upon loss of the power supply for fan No. 1 and unavailability of fan No. 2.

ments concernant l'influence électrique des équipements entre eux. L'alimentation des nouveaux ventilateurs se trouvait notamment très perturbée par des démarrages simultanés d'anciens ventilateurs. Pour contourner ce problème (qui occasionnait des indisponibilités répétées des nouvelles machines), la plage de surveillance et le temps d'observation des relais de tension associés ont été revus.

Mis à part ces aléas de chantier, d'autres approches inédites validées

au stade des études ont permis d'anticiper des problématiques d'exploitation. C'est le cas de l'échauffement des ventilateurs d'air vicié lors de l'extraction des fumées qui peut affecter les câbles d'alimentation, les composants électriques et électroniques des armoires de contrôle/commande disposés à proximité (e.g. la température de fonctionnement d'une carte électronique est de 45-50°C).

Des protections thermiques constituées de laine de roche sont montées sur les

ventilateurs et gaines de raccordement en acier pour pallier ce risque (figure 5).

ÉQUIPEMENTS D'ÉNERGIE ET DE CONTRÔLE COMMANDE

Après une quarantaine d'années, les standards de l'industrie électromécanique ne sont plus les mêmes et les moteurs des ventilateurs d'air vicié existants, qui étaient alimentés en 3 kV, sont remplacés par des moteurs alimentés en 690 V. En effet, peu de ventilateurs sur le marché présentent la

tenue au feu requise (400°C/2h) et un fonctionnement sur des plages Hautes Tension. Par homogénéité, les moteurs de ventilateurs d'air frais ont aussi opéré une transition au 690 V. L'alimentation des équipements auxiliaires en 400 V ayant été reconduite, ce passage au "tout Basse Tension" présente des avantages dont notamment :

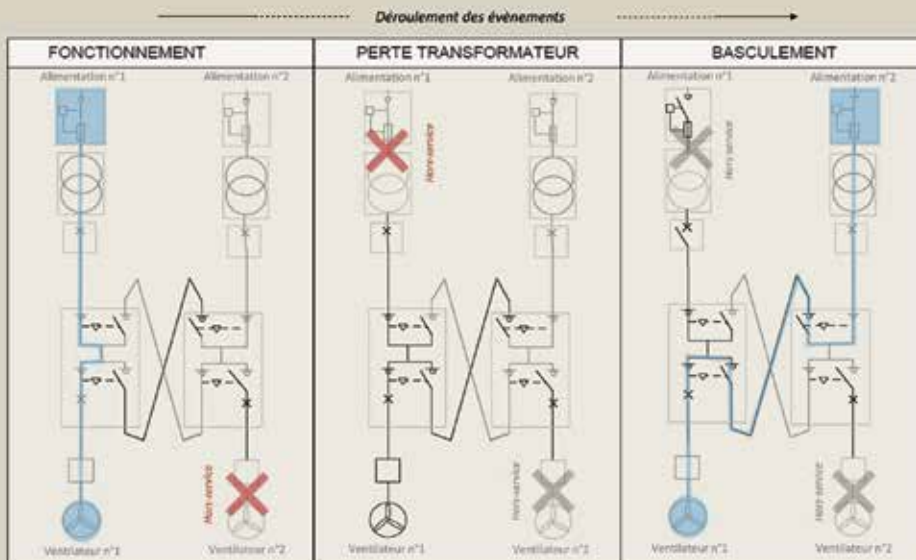
- Un encombrement des armoires électriques moins important ;
- Des interventions plus simples et moins risquées pour la maintenance ;
- Des basculements de source plus rapides.

Devant ces possibilités d'optimisation, une nouvelle redondance a été ajoutée entre les Tableaux Généraux Basse Tension (dit TGBT - figure 6b) des deux ventilateurs d'un même couple. Un des modes secours peut se résumer à ceci : en cas de perte de l'alimentation du ventilateur 1 et de l'indisponibilité du ventilateur 2, alors le ventilateur 1 peut malgré tout démarrer via l'alimentation du ventilateur 2 (figure 7).

Quant à l'architecture contrôle-commande, elle est revue en profondeur en prévision de l'ouverture du second tube et des nombreuses interfaces à gérer avec ce dernier. Les objectifs poursuivis pour le nouveau système GTC sont les suivants : la disponibilité, la sécurité et l'intégrité.

Pour répondre à ces critères, une architecture pyramidale (supervision au sommet) va être mise en place via des remplacements, maintien ou ajouts d'automates (figure 8) :

BASCULEMENT DE SOURCE SUR PERTE DE L'ALIMENTATION DU VENTILATEUR 1 ET INDISPONIBILITÉ DU VENTILATEUR 2



- Les 4 Automates de Gestion existants (dit de AG) dont le rôle était de dérouler les algorithmes de ventilation et de calculer les consignes en fonction des informations en tunnel (contrôle de l'atmosphère, vitesse de l'air, etc.) sont, à terme, remplacés par 2 automates de "métier ventilation" (dit d'API-Frontal Ventilation) dans les usines A et C ;
- Les automates régulation de chaque couple de ventilateurs (dit de RF ou RV selon qu'il s'agisse d'un AF ou d'un AV) sont remplacés par un seul automate de "métier ventilation" (dit d'API-Usine de Ventilation) par centrale (2AV+2AF d'un même tronçon de gaine), dont le rôle est l'acquisition des signaux et mesures issus des équipements de ventilation ;
- Un dernier et nouveau niveau de contrôle est ajouté par le biais d'un automate de contrôle-commande (bénéficiant d'une interface homme-machine tactile) pour chaque ventilateur, permettant le contrôle local de ce dernier et de ses équipements auxiliaires (i.e. centrale hydraulique, registre, etc.) ;
- Enfin, un nouveau niveau de supervision est développé et dédié aux

équipements de ventilation. Il est notamment accessible de façon "mobile", simplement via un ordinateur portable qui doit être connecté au réseau d'exploitation.

CONTRAINTES DE TRAVAUX ET D'EXPLOITATION

Les travaux de remplacement des équipements de ventilation au tunnel du Fréjus sont confrontés majoritairement à deux types de contraintes :

- Le maintien en exploitation du tube existant ;
- Les travaux en interface avec le nouveau tube.

Comme entraperçu aux paragraphes précédents, ce projet de rénovation prévoit l'installation de nombreux équipements de taille imposante (i.e. les dimensions d'un ventilateur sont approximativement 3x4x3 [l x L x h] en m - figure 9) mais également la dépose des équipements existants. Par conséquent, le remplacement d'un ventilateur dure au minimum entre 10 et 12 semaines (toutes actions comprises : dépose, désamiantage, pose, recettes site). Or, la nécessité de maintenir des conditions d'exploitation satisfaisantes implique une indisponibilité de ventilateurs faible : un maxi-

mum de 1 ventilateur d'air vicié et de 1 ventilateur d'air frais en remplacement est acceptable. De plus, à chaque achèvement d'un remplacement suit une phase de Vérification de Service Régulier (dite de VSR) d'une durée de 12 semaines minimum également. La gestion du projet s'en trouve alors compliquée car cela implique d'être continuellement en phase travaux et en phase de mise en service. Par exemple, il faudra à la fois maîtriser rapidement les éventuelles anomalies de fonctionnement du ventilateur nouvellement remplacé, mais aussi gérer les aléas de chantier du remplacement suivant en cours. Chaque usine de ventilation étant com-

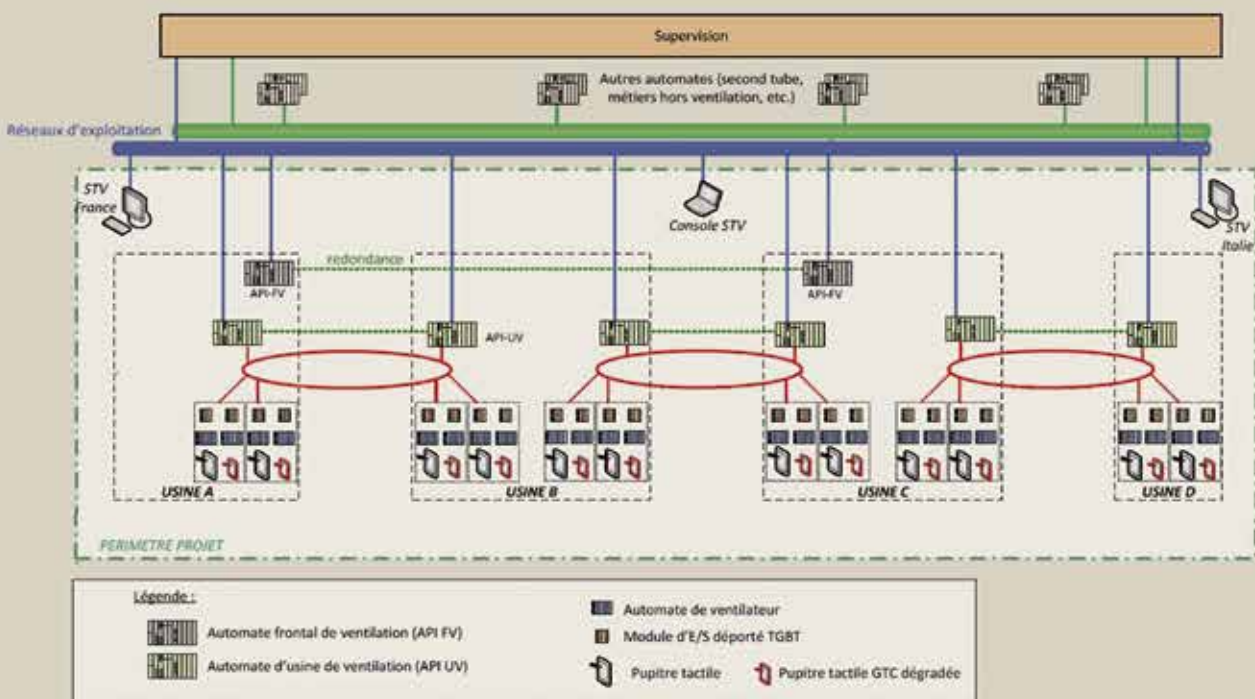
posée d'au minimum 4 ventilateurs, les travaux se déroulent inévitablement à proximité d'équipements encore en exploitation. Tout accès journalier au chantier est donc soumis à la validation de l'exploitant et selon des horaires d'entrée/sortie bien définis. Par ailleurs, certaines interventions ne peuvent être réalisées que de nuit, lors d'exploitation du tunnel en alternat (ou bien fermé), ce qui est inhabituel et nécessite donc de s'adapter d'autant plus au planning d'interventions de l'exploitant. Pour les opérations lourdes comme les évacuations ou livraisons d'équipements aux usines de ventilation souterraines, elles nécessitent des manœuvres du véhicule de livraison sur les voies circulées (figure 1) et l'accord de l'exploitant pour une fermeture temporaire du tunnel en journée est nécessaire.

Les phases de remplacement en usine souterraine se déroulent de fait en milieu confiné alors que les zones de travail peuvent également devenir très exigües. Cela complique certaines tâches simples, comme les opérations de découpes (i.e. à l'oxycoupeur) avec notamment l'évacuation des poussières. La situation sanitaire actuelle liée au COVID-19 a également dû être prise en compte avec attention pour

8- Transformateur d'un ventilateur de l'usine A - Armoires Basse-tension des ventilateurs de l'usine A.

8- Transformer for a fan in plant A - Low-voltage cabinets for fans in plant A.

SCHÉMA DE LA NOUVELLE ARCHITECTURE CONTRÔLE-COMMANDE DU TUBE HISTORIQUE DU FRÉJUS





© SETEC TPI
9

procéder à la poursuite des travaux (le chantier a été suspendu de mi-mars à mi-mai 2020) dans cet environnement. Enfin le projet de rénovation de la ventilation dépend grandement d'autres travaux, dont principalement la construction de la nouvelle usine de ventilation D (l'usine actuelle est située sur le tracé du second tube du tunnel et doit par conséquent être déplacée). Ces travaux

9- Travaux de remplacement des ventilateurs AF de l'usine de ventilation A.

9- Replacement work for AF fans in ventilation plant A.

de génie-civil sont à la charge d'autres marchés, ce qui implique de fortes interfaces. Une bonne coordination des plannings et une bonne souplesse d'intervention de chaque entité en cas d'aléas est nécessaire pour pénaliser le moins possible l'avancement général des travaux.

CONCLUSION

Les 12 ventilateurs des usines de ventilation A et B sont aujourd'hui remplacés et mis à disposition de l'exploitant dans un délai proche de celui visé contractuellement (à quelques semaines près). Les études d'exécution de qualité ont participé au maintien de ce rythme d'avancement soutenu, mais cette phase de préparation ne pouvait prédire les aléas de travaux et d'exploitation auxquels les acteurs du projet ont su répondre efficacement grâce notamment à une bonne synergie. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Sfrf et Sitaf

EXPLOITANT : Geie Gef

MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec

GROUPEMENT MARCHÉ VENTILATION :

Eiffage Energie Systèmes Clevia Centre Est, Sielte, Yvroud

GROUPEMENT MARCHÉ ENERGIE CONTRÔLE COMMANDE :

Eiffage Energie Systèmes Clemessy, Sielte

PRINCIPALES QUANTITÉS

LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'OUVRAGE SONT :

- Longueur : 12 868 m
- Altitude moyenne : 1 263 m

SYSTÈME DE VENTILATION :

- 4 usines de ventilation
- 24 ventilateurs axiaux à calage de pales variable en marche (et autant de variateurs)
- 101 trappes d'extraction de surface unitaire 6 m²
- Environ 3 200 bouches de soufflage (répartition environ tous les 4,5 m en base de piédroit)

SYSTÈME D'ÉNERGIE ET DE CONTRÔLE-COMMANDE :

- 24 transformateurs 20 kV - 690 V
- Environ 3 km de câble de puissance par usine
- Entre 6 à 12 automates dédiés à la ventilation par usine
- Environ 2 km de câble de communication par Usine

ABSTRACT

MID-TERM REVIEW OF MODERNISATION OF THE VENTILATION SYSTEM IN FREJUS TUNNEL

MAXIME GENTHON, SETEC TPI

Since 2009, Fréjus Tunnel has undertaken a vast programme to improve safety, in particular by driving a second tube parallel to the existing tube. The safety improvement works include the replacement of ventilation equipment. This operation has major implications, such as obsolescence treatment, increased performance, improved redundancy and compatibility of the existing tube ventilation system with future twin-tube operating developments. The main works for this project are the replacement of the 24 fans and their power supply and monitoring and control systems, all this with the severe constraint of keeping the tunnel in operation. □

A MEDIO CAMINO DE LA MODERNIZACIÓN DE LA VENTILACIÓN DEL TÚNEL DEL FREJUS

MAXIME GENTHON, SETEC TPI

Desde 2009, el túnel del Fréjus participa en un amplio programa de afianzamiento, en el que destaca la excavación de un segundo tubo paralelo al tubo existente. Las obras de afianzamiento incluyen los trabajos de sustitución de los equipos de ventilación. Esta operación presenta importantes dificultades, como el tratamiento de la obsolescencia, el aumento de las prestaciones, la mejora de la redundancia y la compatibilidad de la ventilación del tubo existente con las futuras evoluciones de la explotación con dos tubos. Las principales obras de esta operación incluyen la sustitución de los 24 ventiladores y de su alimentación y sus sistemas de control-mando, con la presión adicional de mantener operativo el túnel. □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : RÉHABILITATION DE L'ÎLOT ÉDOUARD VII - FONDATIONS

PAR ALEXANDRE ABINADER, CHEF DE PROJET, SOLÉTANCHE-ENTREPRISE
ET MAURICE GUILLAUD, DIRECTEUR MARKETING, SOLÉTANCHE-ENTREPRISE
TRAVAUX N°725 - NOVEMBRE 1996

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER



L'îlot Édouard VII est situé à Paris 9^e, à l'angle du boulevard des Capucines et de la rue Caumartin.

Avant l'opération de réhabilitation, il était occupé par le siège social de la banque Société Générale. Autre manière de le situer : il contient le célèbre théâtre de l'Olympia, bâtiment classé, qui sera démolí et reconstruit quelques mètres plus loin. L'îlot se trouve aussi à proximité du théâtre Édouard VII.

La réhabilitation de cet îlot, dans le cœur haussmannien de Paris, près des théâtres et des grands magasins, a donné lieu à des travaux excep-

tionnels de fondations spéciales profondes, en hyper-centre urbain, avec conservation de façades.

Ces travaux de fondations ont été exécutés par Solétanche-Entreprise (avec un "é") qui fusionnera avec Bachy juste après, en 1997, pour former l'actuelle entité Soletanche Bachy (avec un "e").

Le chantier Édouard VII est, à l'époque, une vitrine du savoir-faire exceptionnel de cette entreprise de travaux dans le sol : paroi-moulées, barrettes, injections, tirants, butons, poteaux pré-fondés, Hydrofraise® normale et à hauteur réduite, pompages de rabattement.

Dans le contexte très sensible du chantier, et en présence de couches dures dans le sol, le procédé de perforation à l'Hydrofraise®, qui permet d'éviter les nuisances du trépannage, a été déterminant.

Rappelons que Solétanche a déposé le brevet de l'Hydrofraise® en 1964, que le prix de l'innovation de la FNTP a été décerné à Bachy pour le joint de paroi moulée CWS® en 1984 et à Solétanche pour l'Hydrofraise® en 1985. Ces technologies innovantes, qui ont marqué un grand progrès dans le domaine des fondations, ont été progressivement adoptées par toute la profession. □

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: REHABILITATION OF "ILOT EDOUARD VII" - FOUNDATIONS

TRAVAUX No. 725 - NOVEMBER 1996

A. ABINADER, SOLÉTANCHE-ENTREPRISE - M. GUILLAUD, SOLÉTANCHE-ENTREPRISE

Îlot Edouard VII is a street block in Paris, at the corner of Boulevard des Capucines and Rue Caumartin. Before the rehabilitation project, it was occupied by the head office of Société Générale bank. Other nearby locations are the famous Olympia theatre, a building listed as an historical monument, which will be demolished and rebuilt a few metres away. The street block is also located near the Edouard VII theatre. The rehabilitation of this block, in the Haussmann-style centre of Paris, near the theatres and department stores, required exceptional special deep foundation works, in an urban hyper-centre, while conserving the facades. These foundation works were performed by Solétanche-Entreprise, which would merge with Bachy just afterwards, in 1997, to form the present Soletanche Bachy entity. At the time, the Edouard VII project was a showcase of this contractor's exceptional expertise in soil works: diaphragm walls, deep foundations (barrettes), grout injection, tie anchors, struts, plunge columns, normal and low-height Hydrofraise®, and pumping for groundwater lowering. In the very sensitive site environment, and in the presence of hard layers in the soil, the Hydrofraise® drilling process, avoiding the nuisances of trepanning, was decisive. As a reminder, Solétanche registered the Hydrofraise® patent in 1964, and the French Public Works Federation (FNTP) innovation prize was awarded to Bachy for the CWS® diaphragm wall seal in 1984 and to Solétanche for the Hydrofraise® in 1985. These innovative technologies, which were a big step forward in the field of foundations, were gradually adopted by the whole industry. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: REHABILITACIÓN DE LA MANZANA EDOUARD VII - CIMENTOS

TRAVAUX N° 725 - NOVIEMBRE DE 1996

A. ABINADER, SOLÉTANCHE-ENTREPRISE - M. GUILLAUD, SOLÉTANCHE-ENTREPRISE

La manzana Edouard VII está situada en el distrito 9 de París, en la confluencia del bulevar de las Capuchinas y la rue Caumartin. Antes de la operación de rehabilitación, estaba ocupado por la sede social del banco Société Générale. Otra manera de ubicarlo: contiene el famoso teatro L'Olympia, edificio catalogado, que será deruido y reconstruido unos metros más lejos. La manzana también se encuentra cerca del teatro Edouard VII. La rehabilitación de esta manzana, en el núcleo haussmanniano de París, próxima a los teatros y los grandes almacenes, exigió unas excepcionales obras de cimentación especial profunda, en pleno centro urbano, conservando las fachadas. Las obras fueron ejecutadas por Solétanche-Entreprise (con una "é"), que se fusionaría con Bachy justo después, en 1997, para formar la actual sociedad Soletanche Bachy (con una "e"). La obra Edouard VII fue, a la sazón, un escaparate de las excepcionales competencias de esta empresa líder en cimentaciones y tecnologías del suelo: pantallas de hormigón, pilotes flotantes, inyecciones, tirantes, butones, postes precimentados, Hydrofraise® normal y a baja altura, bombeos de abatimiento. En el contexto muy sensible de la obra, y en presencia de capas duras en el suelo, el procedimiento de perforación con la Hydrofraise®, que evita los inconvenientes del trepanado, fue determinante. Recordemos que Solétanche presentó la patente de la Hydrofraise® en 1964 y que Bachy obtuvo el premio a la innovación de la FNTP por la junta de pantalla de hormigón CWS® en 1984, y Solétanche por la Hydrofraise® en 1985. Estas innovadoras tecnologías, que han marcado un gran avance en el ámbito de la cimentación, han sido progresivamente adoptadas por toda la profesión. □

Réhabilitation de l'îlot Edouard VII

Fondations spéciales

La réhabilitation de l'îlot Edouard VII, quadrilatère de 1,5 ha situé au cœur du IX^e arrondissement de Paris, est une opération de grande envergure qui mobilise une quinzaine d'entreprises, chacune soumise à un planning très strict. Après la phase de démolition de l'intérieur des bâtiments existants et de soutènement des façades, se déroulent - d'avril à décembre 1996 - les travaux de fondations spéciales comprenant essentiellement une paroi moulée et des poteaux profonds : les conditions particulières de ce site exigu et très urbanisé ont imposé de définir en détail les méthodes, les procédures et le planning de ces travaux.

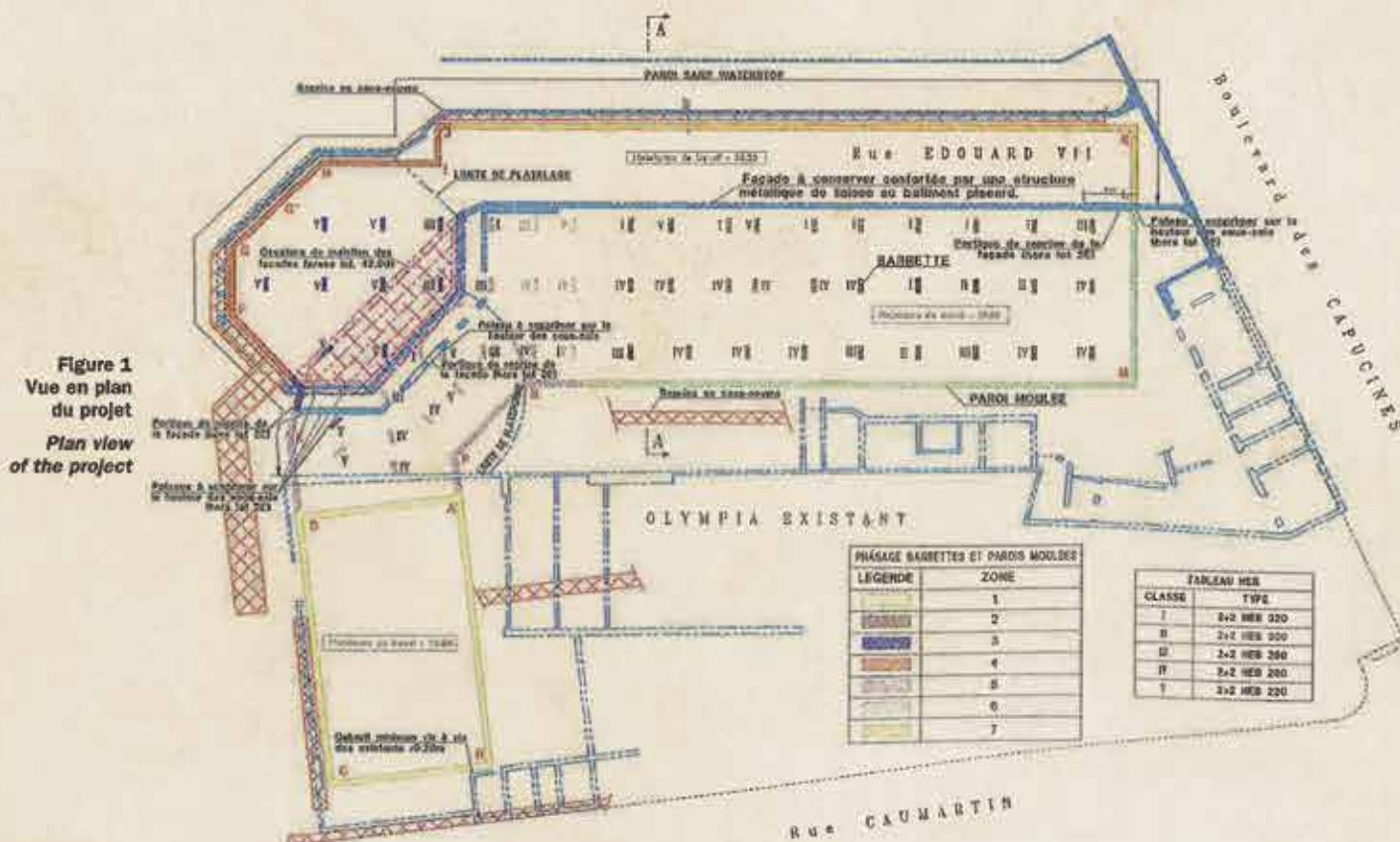


Photo 1
Etalement des façades de la rue Edouard VII
La hauteur libre sous étais est de 6,50 m
Bracing of façades on Rue Edouard VII
The clearance under the braces is 6.5 m

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'ensemble de ses bureaux étant aujourd'hui transféré dans deux tours ultramodernes du quartier de la Défense, la Société Générale réalise une opération immobilière de grande envergure à l'emplacement de son ancien siège social situé sur l'îlot Edouard VII, dans le IX^e arrondissement de Paris, délimité par le boulevard des Capucines, les rues Caumartin et Edouard VII et la place Edouard VII. A l'intérieur des façades haussmanniennes conservées en l'état et soutenues à certains endroits par une forêt d'étais métalliques (photo 1), la quasi-totalité des structures a été démolie et l'îlot Edouard VII deviendra un quartier d'affaires qui comprendra des bureaux, des commerces, une résidence hôtelière, des logements et un parc souterrain de cinq sous-sols.

Les travaux de fondations liés à la réalisation de cet important projet de réhabilitation ont fait l'objet d'un marché séparé (lot 02 E) attribué par le maître d'ouvrage délégué Sogeprom à Solétanche-Entreprise.



FONDATEURS - EN SITE URBAIN

Une particularité de ce projet est la présence - au cœur de l'îlot Edouard VII - du théâtre de l'Olympia - classé II y a quelques années - qui devra être démolit puis reconstruit quelques mètres plus loin dans des délais extrêmement réduits.

Les travaux de fondation

Ils consistent à réaliser :

◆ **Une paroi moulée périmétrale**, descendue à environ 21 m, permettant d'exécuter une fouille de 19 m correspondant à cinq niveaux de parc de stationnement souterrain (dont un niveau à 4 m sous plafond réservé aux autocars). La paroi moulée, exécutée avec un outillage type Hydrofraise, est arrêtée au toit d'un horizon de marnes et caillasses à faciès calcaire.

Deux épaisseurs de paroi ont été définies en fonction des poussées à reprendre, variables suivant les zones avec ou sans mitoyens, et les hauteurs libres entre appuis (butons, dalles ou ancrages). Sur la longueur de 280 m des zones 1 et 2 (figure 1), la paroi a une épaisseur de 0,68 m ; compte tenu de la hauteur libre de 6 m seulement sur cette emprise, l'entreprise a mis en œuvre l'hydrofraise compacte HL 4000 dont la hauteur n'excède pas 5 m (photo 2).

Sur les 130 m du reste du tracé, la paroi a une épaisseur de 0,82 m ; elle a été exécutée avec une hydrofraise classique type HF 4000 (photo 3). La tolérance de verticalité des parois est de 1%. Cette verticalité est contrôlée en permanence par un système d'inclinomètres fixés sur le châssis-guide de l'hydrofraise.

◆ **Une jupe injectée** sous la base de la paroi (voir la figure 2 page suivante), qui couvre la hauteur des marnes et caillasses à faciès calcaire et s'ancre de 2,50 m dans la couche de calcaire grossier. Cette jupe injectée, réalisée par injection classique de coulis de ciment, est destinée à réduire le débit de fuite en fond de fouille (situé à 9 m sous le niveau moyen de la nappe) qui ne devra pas contractuellement dépasser 100 m³/h en phase travaux.

◆ **Cinquante-six "poteaux préfondés" c'est-à-dire des barrettes de fondation**, d'une profondeur variable de 24 à 30 m, équipées chacune de deux poteaux métalliques (chaque poteau est constitué de 2 HEB 220 à 320 soudés). Ces poteaux préfondés définitifs, situés dans la zone du parking, serviront d'appui aux planchers coulés au fur et à mesure des terrassements "en taube" et supporteront une partie des charges de la superstructure dont la construction commencera en même temps que les terrassements (méthode *top-down*). La base des profilés, entourée d'une cage-panier pour le fretage, est scellée dans du béton jus-

qu'au niveau du radier ; la partie supérieure de la barrette est remplie d'un coulis à base de ciment-bentonite-sable-killer et adjuvants spéciaux. Ce coulis - dit remblai "liquide" - a fait l'objet d'une mise au point en laboratoire afin d'assurer que sa résistance soit supérieure à 0,5 MPa mais toujours inférieure à 5 MPa pour lui permettre d'être cassé et évacué facilement lors du terrassement. En fait, la résistance moyenne mesurée sur chantier se situe autour de 2 MPa.



Photo 2
Paroi en cours d'exécution place Edouard VII avec l'hydrofraise compacte HL 4000
Wall being completed on Place Edouard VII with HL 4000 compact hydrocutter

La mise en place des profilés métalliques doit être assurée avec une précision de 0,5%.

◆ **Des butons et des tirants d'ancrage** provisoires dans la zone de terrassement à ciel ouvert. Cette zone, côté rue Caumartin, correspond à l'emplacement de la future salle de l'Olympia.

■ DIFFICULTÉS ET CONTRAINTES DE CHANTIER CHOIX DU MATÉRIEL

Les contraintes sont principalement de deux ordres : d'abord celles que l'on qualifiera d'**environnementales**, liées à la situation même du chantier, dans un périmètre de circulation très dense, dans une zone d'immeubles pour la plupart classés, et celles, **techniques**, qui découlent des conditions du projet (délais, phasages, terrains, mitoyens fragiles, travaux difficiles).

Contraintes environnementales

◆ La présence du théâtre de l'Olympia à l'intérieur de l'emprise des travaux et le maintien de son activité pendant les travaux représentent une contrainte omniprésente. Les travaux de démolition puis de construction de la nouvelle salle de spectacle devront être réalisés dans un délai tel que le théâtre ne soit fermé que six mois au maximum.



Photo 3
Paroi en cours d'exécution côté rue Caumartin avec l'outillage Hydrofraise HF 4000
Wall being completed on Rue Caumartin side with HF 4000 Hydrocutter tool

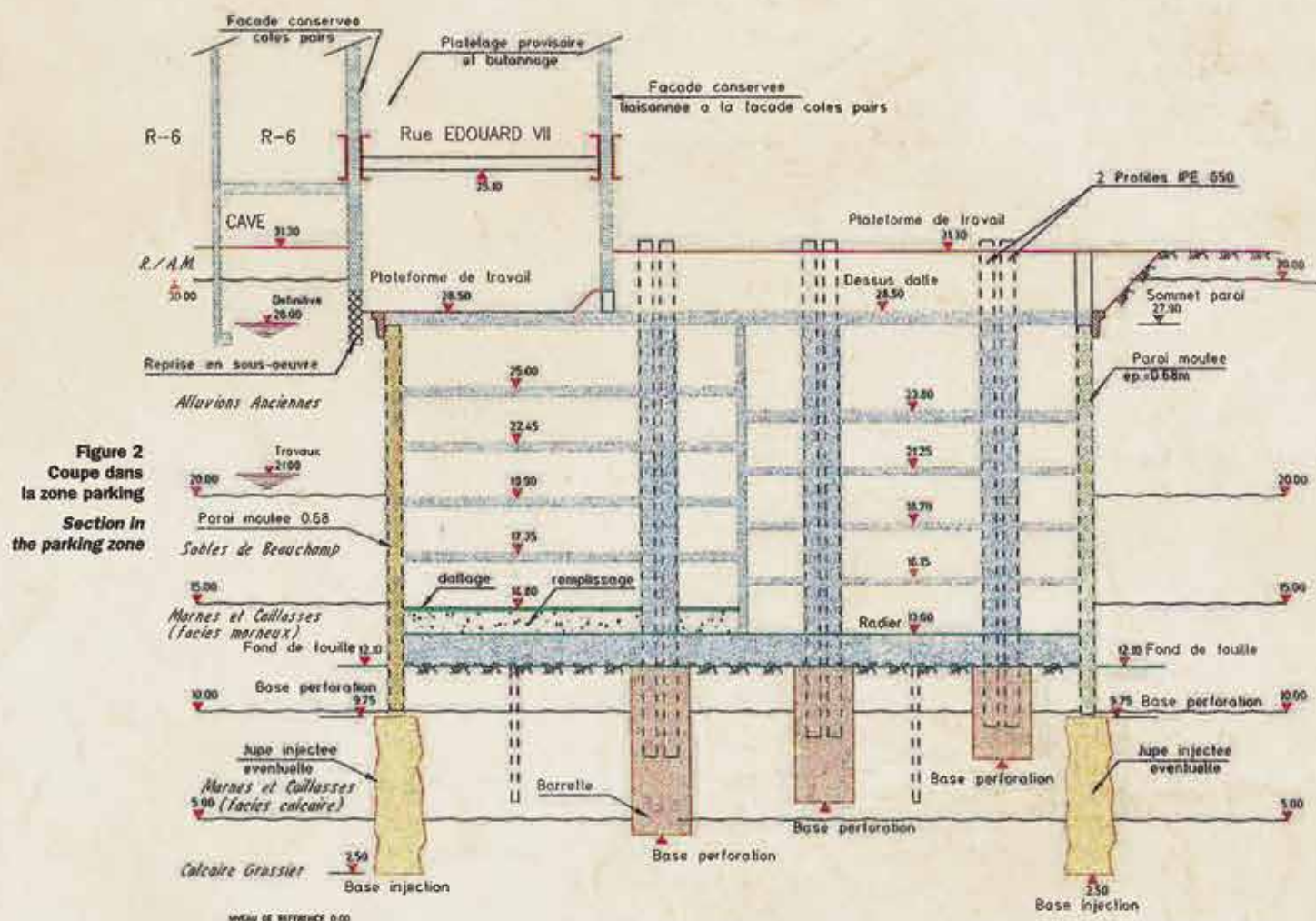


Figure 2
Coupe dans
la zone parking
Section in
the parking zone

LES INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Société Générale

Maitre d'ouvrage délégué

Sogeprom

Maitre d'œuvre

Architectes agences

Bechu et Urquijo-Macola-Valle

Maitre d'œuvre d'exécution

Serete construction

Coordination

Planitec

Contrôle

Socotec

Travaux spéciaux

Solétanche-Entreprise

Les dates de fermeture (avril 1997) et de réouverture (octobre 1997) sont impératives et en aucun cas modifiables.

◆ Il était prévu que le théâtre Edouard VII, situé sur la place du même nom, soit maintenu en service pendant les travaux ; sa fermeture n'a été décidée qu'au dernier moment. Cependant, subsiste le plan de lutte incendie imposé par les pompiers, ce qui impose un accès permanent aux camions de secours.

◆ Les nombreuses façades classées des immeubles de l'îlot Edouard VII sont maintenues et protégées mais la géométrie du projet - en particulier du parc de stationnement souterrain - impose à plusieurs endroits le passage de la paroi moulée et des poteaux profonds sous les portiques de reprise de ces façades.

◆ Les phasages extrêmement serrés des travaux successifs (démolition - fondations - génie civil) ne permettaient pas à l'entreprise de fondations d'implanter toutes ses installations générales à l'intérieur de l'emprise du chantier. Ainsi la centrale de dessablage d'un poids en service de 450 t a-t-elle

dû être placée sur le trottoir du boulevard des Capucines (figure 3), sur une structure métallique qui permet le passage des piétons... et les attroupements des spectateurs de l'Olympia (photo 4).

◆ Le contexte général de travail en site urbain, dans un quartier résidentiel, avec un chantier d'une telle ampleur ne disposant que d'une seule entrée, impose des contraintes multiples : respect strict des horaires de travail (deux postes de huit heures avec recouvrement à midi), circulation contrôlée des camions de déblais et de livraison des matériaux, propreté des abords, niveau de bruit, etc.

Contraintes techniques

◆ Les délais pour l'exécution des travaux de fondations spéciales sont de huit mois. Un système dit OPC (ordonnement, pilotage, coordination) définit pour chaque phase de travaux des dates "au plus tôt" et "au plus tard" ; l'OPC détermine également le planning des approvisionnements en matériaux sur une base prévisionnelle fournie huit jours à l'avance par l'entreprise et confirmée la veille de la livraison.

FONDACTIONS - EN SITE URBAIN

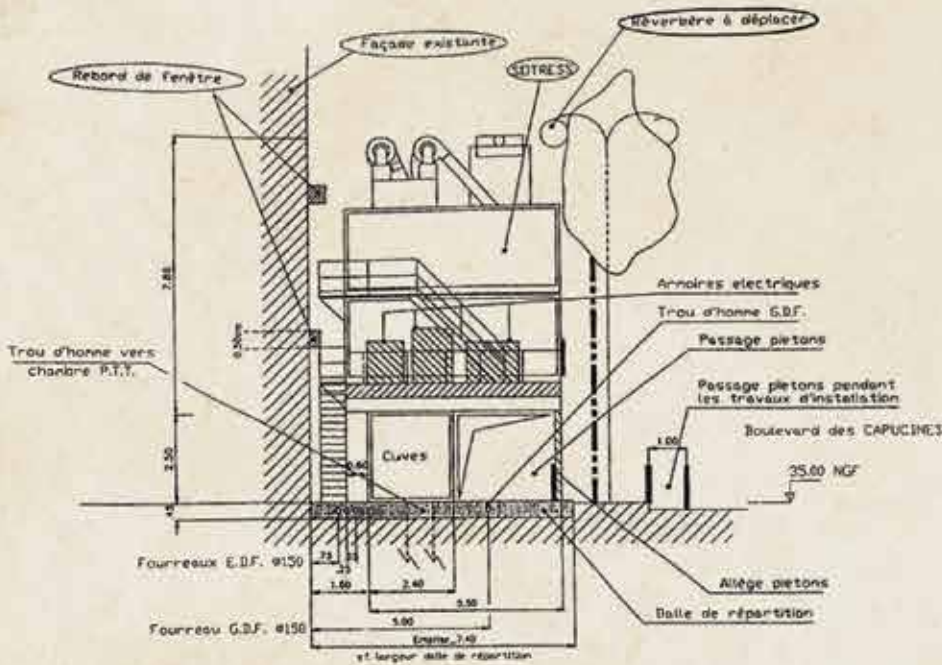


Photo 4
Station de dessablage SOTRES type 450-300 installée au-dessus du trottoir devant l'Olympia
SOTRES type 450-300 sand removal station installed over the footpath before the Olympia theatre

Figure 3
Installation de la centrale de traitement de boue au-dessus du trottoir du boulevard des Capucines

Installation of slurry processing plant over the sidewalk of Boulevard des Capucines

◆ La partie inférieure de la paroi et des barrettes se situant dans la couche à prédominance calcaire des marnes et caillasses, l'utilisation d'un outillage classique à benne aurait nécessité l'emploi fréquent du trépanage, occasionnant des chocs et des vibrations que les ouvrages mitoyens n'auraient pas supporté sans dommage.

L'outillage type Hydrofraise s'imposait donc par rapport à un outillage classique à benne, mais les dimensions réduites des emprises, l'étroitesse des accès et - par endroits - la hauteur libre de 6 m seulement, ne furent pas sans poser quelques problèmes. Ainsi, dans la zone de la nouvelle salle de l'Olympia, côté rue Caumartin, une hydrofraise HF 4000 a été descendue par une rampe provisoire sur la plate-forme de travail à la cote 28,50, puis, la paroi terminée, elle a été démontée et transportée par éléments avec une grue de 200 t.

Dans les zones à hauteur libre réduite - par exemple sous les étais de façades de la rue Edouard VII - l'entreprise a été amenée à mettre en œuvre l'hydrofraise compacte HL 4000 capable de forer jusqu'à 35 m de profondeur mais dont la hauteur en position de travail n'excède pas 5 m (1).

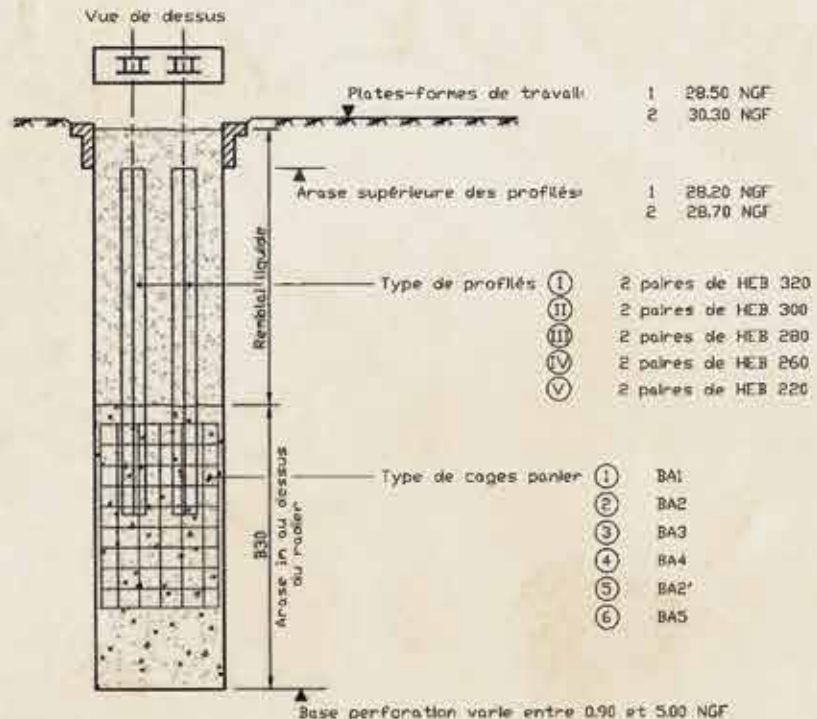


Figure 4
Schéma de disposition d'un poteau préfondé
Schematic diagram of a pre-founded column

■ POTEAUX PRÉFONDÉS

La réalisation de poteaux préfondés définitifs (figure 4) qui permet l'utilisation de la méthode *top-down* (construction simultanée ascendante et descendante) est toujours assez délicate par la précision qu'elle requiert pour la mise en place des profilés :

(1) Une nouvelle hydrofraise compacte de mêmes dimensions mais plus puissante, la HC 03, capable de forer à 50 m, a été mise en service en juillet 1996 sur le chantier du parc de stationnement souterrain du boulevard de Sébastopol.

LES TRAVAUX

Paroi moulée

- A.** Epaisseur : 0,82 m
Périmètre : 130 m
Profondeur de perforation maxi : 21 m
Surface de perforation : 2 000 m²
- B.** Epaisseur : 0,68 m
Périmètre : 280 m
Profondeur de perforation maxi : 21,5 m
Surface de perforation : 5 800 m²
Hauteur libre au-dessus de la machine de perforation : 6 m

Barrettes

- A.** 4 unités, épaisseur : 0,82 m
Profondeur de perforation : 30 m
- B.** 52 unités, épaisseur : 0,68 m
Profondeur de perforation maxi : 28,60 m
Surface de perforation : 4 000 m²
Tolérance de verticalité en perforation : 1 %
Tolérance de mise en place des profilés : 0,5 %

Injections

Réalisation d'une jupe injectée sous la paroi moulée (optionnelle)
Surface traitée : 2 200 m²

Divers

Butons et tirants provisoires pour la zone de terrassement à plein ciel
Terrassement en taupe pour les autres zones

les conditions d'exiguïté du chantier Edouard VII ont rendu cette opération encore plus difficile et l'entreprise a été conduite à établir des procédures qualité très détaillées.

Les HEB, assemblés par paires, sont livrés par éléments de 12 m en usine où ils sont rabotés à la longueur requise (20 à 24 m).

Ce montage en usine permet d'assurer une rectitude parfaite du poteau profondé qui est ensuite redécoupé et livré au chantier en éléments de 12 m de longueur maximum, prééquipés avec leurs platines d'assemblage, les écarteurs, les connecteurs au niveau du radier, les anses de positionnement et - pour les profilés inférieurs - la partie haute de la cage d'armature (photo 5)

Pour les poteaux situés dans la zone à hauteur libre réduite à 6 m, les éléments HEB ont une longueur de 3,50 m seulement, ce qui rend plus difficile leur assemblage, leur mise en place et le réglage de leur verticalité.

La séquence de mise en place d'un poteau profondé dans une barrette est schématisée sur la figure 5. On notera que :

- les profilés inférieurs sont liaisonnés entre eux et la partie supérieure de la cage d'armature est fixée aux profilés inférieurs ;
- les profilés inférieurs sont prépercés en usine pour permettre le passage des aciers du radier ;
- les profilés supérieurs ne sont pas liaisonnés entre eux ;



Photo 5
Déchargement de profilés inférieurs préassemblés
Pre-assembled lower sections being unloaded

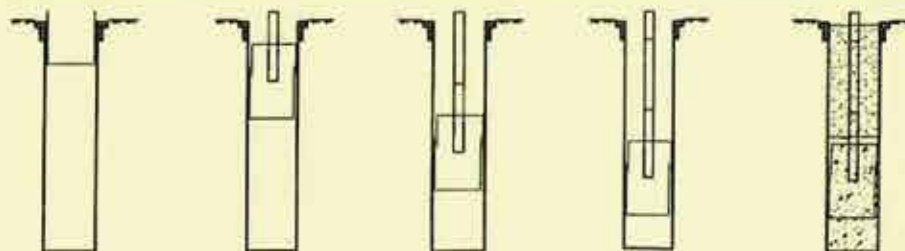


Figure 5
Séquence de mise en place des poteaux profondés dans une barrette
Installation sequence for pre-founded columns in a strip

- | | | | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| ① Mise en place partie basse panier | ② Mise en place partie inf. profilé + partie haute panier | ③ Mise en place partie haute profilé | ④ Mise en place tête de positionnement . réglage X Y Z | ⑤ Mise en place tête de positionnement . réglage X Y Z | ⑥ Bétonnage 230 + remblai liquide |
|-------------------------------------|---|--------------------------------------|--|--|-----------------------------------|

FONDATIONS - EN SITE URBAIN

- les profilés haut et bas sont remplis de béton B30 vibré avant leur mise en place ;
- les profilés comportent une tête de positionnement et le réglage s'effectue :
 - en altitude, avec des barres Gewi munies d'écrous,
 - en latitude, à partir de profilés fixés sur la murette-guide de la barrette (photo 6),

TRAVAUX ANNEXES

- ◆ Dans la zone à ciel ouvert de la future salle de l'Olympia, les parois moulées sont retenues par des tirants d'ancrage précontraints provisoires sauf dans les angles où sont mis en place des butons tubulaires.
- ◆ La réalisation de la jupe injectée qui prolonge la paroi périmétrale jusqu'à la couche de calcaire est subordonnée aux résultats de l'essai de pompage qui aura lieu dès que la "boîte" sera fermée. Si le débit stabilisé s'avère inférieur au débit maximum fixé à 100 m³/h en phase travaux, les injections pourraient ne pas s'avérer indispensables.

Photo 6
Têtes de positionnement des profilés et barres GEWI de réglage en hauteur
Section positioning heads and GEWI height-adjustments bars



ENGLISH SUMMARY

**Rehabilitation of Edouard VII Island
Special foundations**

A. Abinader, M. Guillaud

The rehabilitation of Edouard VII Island, a quadrilateral of 1.5 ha located in the centre of the IXth arrondissement of Paris, is an undertaking of wide scope mobilising about 15 companies, each subject to very strict scheduling. After the demolition phase inside the existing buildings and the support of the façades, the special foundation works will begin from April to December 1996, including essentially a diaphragm wall and pre-founded columns: the special conditions of this narrow, highly urbanised site required detailed definition of the methods, procedures and scheduling of this work.

DEUTSCHES KURZREFERAT

**Sanierung des Häuserblockes Edouard VII
Spezialfundamente**

A. Abinader, M. Guillaud

Die Sanierung des Wohnblockes Edouard VII, ein unregelmäßiges Viereck mit 1,5 ha Fläche im Zentrum des 9. Pariser Arrondissements, ist ein Großprojekt, an dem etwa fünfzehn Unternehmen beteiligt sind, die alle einen präzise definierten Terminplan einzuhalten haben. Im Anschluß an den Innenabriss der bestehenden Gebäude und an die Entlastung der Fassaden werden von April bis Dezember 1996 die Arbeiten an den Spezialfundamenten, die im wesentlichen eine Formwandung und vorgegründete Pfeiler umfassen, durchgeführt: unter den schwierigen Bedingungen an diesem engen Standort in einem extrem urbanisierten Umfeld war die detaillierte Festlegung der Methoden, Verfahren und Terminpläne unabdingbar.

RESÚMEN ESPAÑOL

**Rehabilitación del islote Edouard VII
Cimentaciones especiales**

A. Abinader y M. Guillaud

La rehabilitación del islote Edouard VII - cuadrilátero de 1,5 ha - situado en pleno centro del IX distrito de París, constituye una operación de gran envergadura, en la cual han participado unas quince empresas constructoras, cada una de las cuales ha tenido que atenerse a un plan sumamente estricto. Tras la fase de derribo del interior de los edificios existentes y de apuntalamiento de las fachadas, que se ha desarrollado entre los meses de abril y diciembre de 1996, se ha procedido a las obras de cimentaciones especiales, compuestas principalmente por la ejecución de una pantalla continua y columnas previamente cimentadas. Las condiciones tan particulares de este emplazamiento exiguo y sumamente urbanizado han impuesto una definición detallada de los métodos, los procedimientos y el programa de estas obras.



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

Engineering a Better Solution

© Aurore Doudoux Photographie

Depuis plus de 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

MACCAFERRI



Ile de loisirs de la
Corniche des Forts
Romainville (93)

Murs poids en gabions double torsion
Remblai renforcé parement minéral
Terramesh® System & géogrilles ParaGrid®

www.maccaferri.com/fr



© Aurore Doudoux Photographie