

CONSTRUCTION MODERNE

OUVRAGES D'ART
SEPTEMBRE
2017

N° 153





Éoliennes flottantes à Saint-Nazaire
Image 3D : Ideol

P. 2 | **ÎLE DE LA RÉUNION**
UN VIADUC CONÇU POUR
AFFRONTER LES CYCLONES

P. 8 | **GRAND PARIS EXPRESS**
CATALYSEUR DE LA VILLE
DE DEMAIN



P. 12 | **SAINT-NAZAIRE**
ET FLOTTE L'ÉOLIENNE...
SUR DU BÉTON LÉGER !

P. 14 | **MONTPELLIER**
UNE OMBRIÈRE CLIMATIQUE
INÉDITE POUR LA GARE TGV

P. 18 | **NICE**
PROMENADE EN SOUTERRAIN
POUR LE TRAMWAY

P. 22 | **RENNES**
UN VIADUC TOUT EN FINESSE
POUR LE MÉTRO

P. 26 | **MASSY-ANTONY**
LE GALET DE BÉTON
POUR LA STATION DE POMPAGE

P. 30 | **SEINE-ET-MARNE**
PASSE À POISSONS
ET CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

P. 32 | **ISSY-LES-MOULINEAUX**
MAÎTRISER LES RISQUES
D'INONDATION

P. 35 | LA LANGUE DES SIGNES FRANÇAISE
AU SERVICE DU GÉNIE CIVIL

ÉDITO

Nous célébrons cette année le 200^e anniversaire de la présentation par Louis-Joseph Vicat au Conseil des Ponts et Chaussées et à l'Institut de France de son mémoire intitulé : « Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires », qui reçut les louanges et les encouragements de ces deux institutions et constitua le socle sur lequel se développèrent ensuite la chimie et l'industrie du ciment. Depuis lors, l'histoire du Génie Civil et celle du béton sont intimement liées, dans une évolution constante et partagée, marquée par quelques grandes étapes : l'invention du béton armé dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, celle du béton précontraint au cours des premières décennies du XX^e et, plus récemment, le développement des bétons à hautes performances, des bétons fibrés et des BFUP. Comme l'a très bien montré Cyrille Simonnet¹, les découvertes de Vicat sont l'aboutissement d'une quête séculaire, celle de la pierre artificielle, dite aussi pierre factice, et plus encore celle du monolithisme, que mettront en œuvre au XIX^e siècle François Coignet avec le « béton aggloméré » et François Hennebique avec les premières ossatures en béton armé. Simonnet cite notamment Claude Perrault qui écrivait en 1673 : « *C'est ainsi une grande beauté à un bâtiment que de paraître n'être fait que d'une pierre.* »² Ainsi, le béton sous toutes ses formes a non seulement pris la place de la maçonnerie pour devenir de loin le premier matériau de construction sur notre planète, mais il a aussi et surtout donné aux architectes et aux ingénieurs des moyens et une liberté immenses.

Le numéro spécial Ouvrages d'Art de *Construction Moderne* illustre abondamment, année après année, le fantastique potentiel du béton de structure pour faire face aux défis environnementaux, sociaux et économiques auxquels nous sommes confrontés. Bonne lecture !-

MICHEL MOUSSARD

PRÉSIDENT DU COMITÉ DES AFFAIRES INTERNATIONALES DE L'AFGC

1 – Cyrille Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau – économie, technique, architecture*. Éditions Parenthèses, Marseille, 2005.

2 – Claude Perrault, *Les Dix Livres d'architecture de Vitruve (1673)*. Éditions Errance, Paris, 1999.

CONSTRUCTION MODERNE

Créée en 1885, la revue *Construction Moderne* est éditée par l'association CIMbéton, centre d'information sur le ciment et ses applications – 7, place de la Défense 92974 Paris-la-Défense Cedex – Télécharger *Construction Moderne* sur www.infociments.fr
Présidente : Bénédicte de Bonnechose • Directeur de la publication : François Redron • Directeur de la rédaction : Patrick Guiraud • Rédacteur en chef : Norbert Laurent • Rédacteur en chef adjoint : Clothilde Laute • Rédaction et réalisation : Two & Two • Conception graphique : Zed Agency • Directrice artistique : Sylvie Conchon • Pour tout renseignement concernant la rédaction, tél. : 01 55 23 01 00 • Abonnements : par fax au 01 55 23 01 10 ou par e-mail à centrinfo@cimbeton.net

Couverture : Gare TGV, à Montpellier – Architecte : Marc Mimram Architecture & Associés – Photographe : DRONESTUDIO pour François Fondeville.

ÎLE DE LA RÉUNION

UN VIADUC CONÇU POUR AFFRONTER LES CYCLONES

L'île de la Réunion, son volcan, ses randonnées nature et... ses ponts ! Après la route des Tamarins, le viaduc du Littoral vient compléter cette véritable vitrine du savoir-faire français en termes d'ouvrages d'art.

TEXTE : OLIVIER BAUMANN – REPORTAGE PHOTOS : SÉBASTIEN MARCHAL ; EGIS/SIGNES_PAYSAGE/LAVIGNE CHÉRON ARCHITECTES ; VINCENT COSTE – ECOVEX

Les plus de 60 000 automobilistes qui la parcourent chaque jour l'empruntent avec angoisse. Axe routier majeur de l'île de la Réunion, reliant Saint-Denis à La Possession, l'actuelle route du littoral est menacée à tout instant de voir s'effondrer sur elle un pan de la falaise qui la surplombe. Les nombreux dispositifs anti-chutes de pierres installés au fil des ans ont contribué à contenir les éboulements mais n'ont jamais réussi à les maîtriser totalement. Et ceux-ci restent fréquents et malheureusement parfois mortels.

La route s'affranchit des éboulements et des cyclones

Pour sécuriser totalement le site, les experts qui se sont penchés à son chevet étaient unanimes : le risque d'effondrement n'étant pas maîtrisable, c'était la route qu'il fallait déplacer. Si bien qu'en octobre 2010, un protocole d'accord entre l'État et le maître d'ouvrage, la région Réunion, lançait le projet de construction de la nouvelle route du littoral, en pleine mer. « Des études de trajectogra-

phie ont été menées pour dessiner une route suffisamment écartée de la falaise pour que les blocs rocheux, même en rebondissant, ne puissent pas l'atteindre », expose Alain Gagey, directeur du projet pour Egis, maître d'œuvre du viaduc de la nouvelle infrastructure. Il fallait aussi que la route s'élève à un niveau supérieur à celui des houles centennales cycloniques, très puissantes aux abords de cette île située en plein océan Indien. L'ensemble de ces contraintes a permis de déterminer un tracé et un profil en long : la route sera implantée entre 60 et 300 m du rivage et 20 à 30 m au-dessus du niveau de la mer, « dont un mètre pour tenir compte de l'élévation à venir liée au réchauffement climatique », précise Alain Gagey.

Digues ou viaducs ?

Restait à décider si la nouvelle route s'appuierait sur des digues ou des viaducs. Les considérations techniques (construction et exploitation) et socio-économiques amenèrent le maître d'ouvrage à opter pour une infrastruc-

Chiffres clés

Viaduc : longueur 5 409 m, largeur 29,80 m, élévation de 20 à 30 m au-dessus de la mer

1 386 voussoirs préfabriqués : formant 7 tabliers successifs de 770 m

48 piles en mer

9 300 tonnes de précontrainte

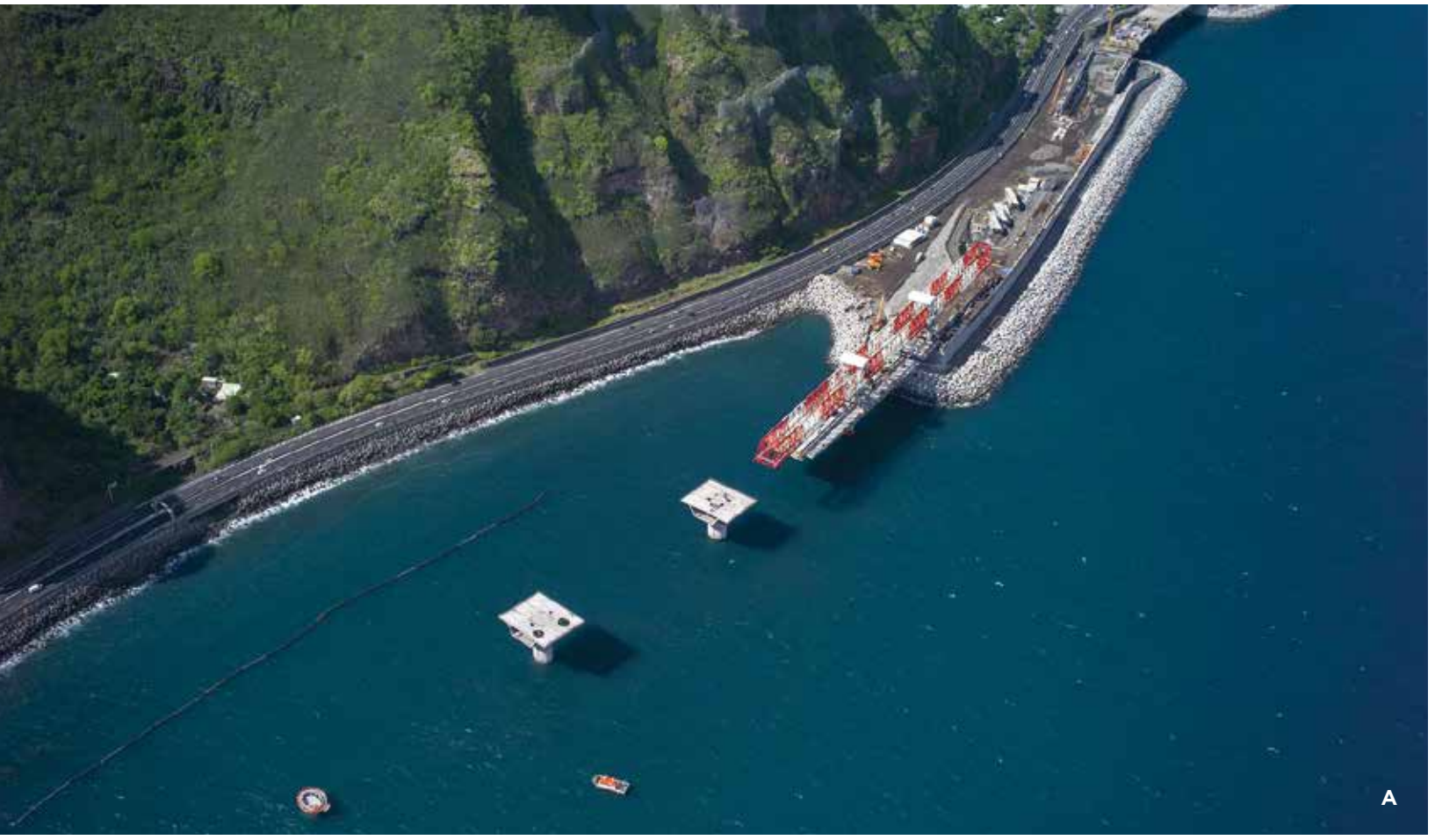
300 000 m³ de béton de structure

Une mégabarge autoélévatrice : de 4 800 t de capacité

ture mixte. Longue de 12,3 km, l'ample chaussée (2 x 2 voies routières, 2 voies pour un transport en commun en site propre – bus ou tram – et 1 voie vélos) comprend finalement 6,7 km de sections sur digues et 5,6 km sur viaducs. Digues ou viaducs, les ouvrages construits sont ceux de tous les records. Les digues géantes, hautes de 25 m et larges de 100 m, sont dimensionnées pour absorber l'énergie cinétique de la houle. Elles sont constituées d'une série de dispositifs de protection, dont un mur chasse-mer et une carapace externe anti-houle constituée de 38 500 blocs préfabriqués en béton à protubérances tronconiques (des accropodes) et 4,2 millions de m³ d'enrochements.

Les viaducs, eux, sont au nombre de deux : le viaduc de la Grande Chaloupe (240 m de

Maître d'ouvrage : région Réunion – **Maître d'œuvre** : Egis – **Groupement d'entreprises** : Vinci Construction Grands Projets (mandataire), Dodin Campenon Bernard (Vinci Construction), Bouygues Travaux Publics (Bouygues Construction), Demathieu Bard Construction – **Fournisseur du béton** : béton produit par le groupement avec 3 centrales dédiées sur le site de préfabrication des voussoirs – **Fournisseurs du ciment et des agrégats** : Teralta – **Coût** : 715 M€ TTC, financés par l'État (49 %), la région Réunion (42 %) et des fonds européens (9 %).



A



B

A __
 Implanté en pleine mer, le viaduc est à l'abri des éboulements rocheux qui menacent la route actuelle.

B __
 Une fois leur phase de maturation terminée, les embases et têtes de piles sont embarquées directement depuis l'aire de préfabrication sur la barge (au fond en bleu) qui les mettra en place.

Des bétons formulés selon l'approche performantielle

Le viaduc du Littoral est conçu pour une durée d'utilisation de cent ans. Si cette durabilité est courante pour les ouvrages de Génie Civil, elle représentait ici une vraie gageure. « Dans un environnement marin aussi agressif, le premier facteur de durabilité de l'ouvrage repose sur la qualité intrinsèque du béton », expose Pierre-Édouard Denis, responsable du béton et du laboratoire pour le groupement d'entreprises. « Afin que les armatures soient protégées de manière optimale contre la corrosion, il nous fallait produire un béton extrêmement compact. » Pour le formuler, il a été décidé de faire appel à l'approche performantielle. Alternative à l'approche normative classique et empirique, cette méthode permet de créer des bétons sur mesure en respectant des critères de durabilité spécifiques. Elle permet en l'occurrence d'intégrer dans la composition les granulats locaux d'origine volcanique, à la porosité élevée. Après un important travail de mise au point, les formulations des trois grandes familles de béton nécessaires à la réalisation des voussoirs, des fûts de piles et des semelles ont pu être validées. Pour éviter les risques de pathologies (réaction sulfatique interne) liées à la trop forte montée en température des éléments structurels lors de leur bétonnage dans cet environnement tropical, un système de refroidissement complet du béton frais a été mis en œuvre. De l'eau réfrigérée, complétée de paillettes de glace lors des pics de chaleur de l'été, permet d'assurer le maintien en température des granulats. Les semelles de fûts, pièces les plus massives, sont ainsi bétonnées avec un béton dont la température lors du coulage ne dépasse pas 27 °C.

•••

long) et le viaduc du Littoral. Avec ses 5 400 m de long, ce dernier pulvérise le record du plus long viaduc de France, détenu jusqu'ici par le pont de l'île de Ré (2 927 m), lui aussi en site maritime.

Un viaduc aux dimensions XXL

Cet ouvrage exceptionnel dispose d'un tablier monocaisson extralarge de 29,8 m constitué de l'assemblage de 1 386 voussoirs en béton précontraint formant des travées courantes de 120 m de portée, à inertie variable (entre 7,3 m de hauteur sur pile à 3,8 m à la clé). Le béton comme matériau constitutif du tablier s'est imposé naturellement. « En milieu marin, l'atmosphère saline, combinée aux embruns, a conduit à le préférer à l'acier, dont les coûts d'entretien et de maintenance auraient été beaucoup plus importants », décrit Alain Gagey. Ce tablier imposant, divisé en 7 tronçons indépendants de 770 m, repose sur 50 appuis, dont 48 piles en mer et 2 culées. Dimensionnées pour encaisser la

houle et les vents cycloniques, les secousses sismiques et les chocs de bateaux, ces piles de forme elliptique – « une géométrie favorable à la diffusion de l'énergie de la houle », selon Alain Gagey – sont dotées d'immenses semelles de fondation cylindriques (20 à 23 m de diamètre et 4 m d'épaisseur) posées sur le sol marin, à une profondeur variable de 8 à 11 m.

Un ouvrage en mer construit à terre

L'édification de ce géant des mers nécessite des moyens de mise en œuvre à sa mesure. C'est au groupement d'entreprise, qu'est revenue la tâche de les inventer. Tout comme pour l'ouvrage en phase d'exploitation, le premier objectif pour le chantier était de pouvoir s'affranchir au maximum des conditions de houles et de vents cycloniques, qui peuvent souffler à plus de 250 km/h. « Les grands ouvrages maritimes construits dans l'Hexagone bénéficient du plateau continental qui limite ou casse les houles océaniques. Ici, la

mer est ouverte, sans protection possible contre la violence de l'océan », expose Francis Guinchard, directeur du projet pour le groupement constructeur.

Alors, pour limiter les interventions en mer, le groupement a fait le choix de fabriquer l'ensemble des éléments structurels de l'ouvrage à terre, y compris les semelles de fondation. Une industrialisation totale rendue possible par une standardisation des fondations superficielles. « Initialement, environ la moitié des piles devait être fondée sur des pieux, détaille Francis Guinchard, mais en menant des analyses supplémentaires sur la nature géologique du sol marin, nous sommes arrivés à la conclusion qu'en terrassant le sol sur 4 à 8 m au droit de chaque pile et en le renforçant dès que nécessaire, il était possible d'étendre les semelles superficielles à la totalité des piles. »

Deux aires de préfabrication ont ainsi été installées à l'extrémité sud du viaduc, sur la commune du Port. L'une, située dans l'enceinte portuaire, est dédiée sur 3 ha à la préfabrication des piles. L'autre, à 1 km en retrait de la zone portuaire, est consacrée sur 9 ha à la réalisation des 1 386 voussoirs. Elle comprend en outre trois centrales à béton (dont une de secours) destinées à fabriquer la totalité des des bétons de l'ouvrage.

Des usines géantes à voussoirs et à piles

Le site de préfabrication des voussoirs s'apparente à une véritable usine. Il dispose de 10 cellules de coffrage : 6 pour la production des 14 géométries de voussoirs courants et 4 pour les voussoirs sur piles et autres voussoirs spéciaux. Les outils coffrants sont desservis par 4 grues à tour et 2 portiques de manutention et de stockage des voussoirs courants. En rythme de croisière, 3 voussoirs sont produits chaque jour. La préfabrication des piles répond elle aussi à un impressionnant processus d'industrialisation. Pour limiter le poids des colis à transporter en mer, elles sont préfabriquées en deux tronçons : l'embase, constituée de la semelle de fondation et de l'amorce du fût de pile, et la tête de pile, composée quant à elle de la par-



C



D

C ____
 Long de 5,4 km, le viaduc forme des travées de 120 m et repose sur 48 piles en mer.



E

D ____
 Les têtes de piles les plus lourdes pèsent jusqu'à 2 000 t.

E ____
 Les semelles de fondation cylindriques des embases de piles sont très massives : de 20 à 23 m de diamètre pour 4 m d'épaisseur.

F ____
 Les embases de 4 500 t sont posées avec une précision de 35 mm grâce à la barge *Zourite*.

G ____
 Les voussoirs sont acheminés depuis l'aire de stockage jusqu'à leur lieu de pose sur des fardiers munis de 216 roues !



F



G

Zourite, la barge pieuvre

Comment transporter des têtes de piles et des embases géantes (jusqu'à 4 800 t) et les poser avec précision dans un océan exposé aux cyclones ? Aucun moyen conventionnel n'étant dimensionné pour réaliser une telle tâche, le groupement d'entreprises a dû concevoir une machine unique en son genre. *Zourite*, qui signifie « poulpe ou pieuvre » en créole, est une mégabarge flottante automotrice et autoélévatrice. De la dimension d'un terrain de football (longueur 107 m, largeur 44 m) et d'un poids équivalent à celui de deux tours Eiffel, elle a été fabriquée en Pologne avant d'être acheminée à la Réunion, où elle arrive en mai 2016 après un périple de 50 jours. Après l'embarquement des « colis » de béton depuis Le Port, elle navigue jusqu'au lieu d'implantation des piles, pilotée par un équipage de 6 personnes. Elle se hisse alors sur ses 8 « jambes » en acier, ce qui stabilise totalement la plate-forme et permet de travailler dans des conditions équivalentes à celles de la terre ferme. Un portique de 4 800 t soulève ensuite les éléments de piles, les positionne et les descend avec toute la précision nécessaire. Une centrale à béton embarquée permet de finaliser l'opération en clavant les parties hautes et basses des fûts. En cas de houle cyclonique, le système d'élévation de la barge lui permet de stationner en toute sécurité à plus de 11 m au-dessus du niveau de la mer en se mettant à l'abri au Port. En s'accommodant des conditions cycloniques de la Réunion, *Zourite* optimise le rendement de l'installation des piles du viaduc et assure la sécurité du personnel.

•••

tie supérieure du fût de pile et du chevêtre. Embases et têtes de piles disposent chacune de deux lignes de production sur l'aire de pré-fabrication. Au cours de leur fabrication, ces pièces massives, d'un poids maximum de 2 000 t pour les têtes de piles et 4 800 t pour les embases, vont être déplacées le long de la ligne de production selon 4 positions successives (3 pour les têtes de piles) constituant autant d'ateliers : préparation des cages d'armatures, bétonnage, finitions, stockage, puis chargement.

Sur l'aire de fabrication sont également assemblés des colis spéciaux, les « mégavoussoirs sur pile », qui correspondent à l'amorce du tablier sur chaque pile. Ces pièces de 2 400 t sont constituées de l'assemblage de 7 voussoirs.

Les piles empruntent la voie maritime...

Une fois la phase de maturation des piles et des voussoirs terminée, ces éléments structuraux sont pris en charge pour être acheminés jusqu'à leur lieu de pose. Leurs destins

se séparent alors. Les piles sont embarquées directement depuis le quai de l'aire de préfabrication sur une barge géante baptisée *Zourite*, spécialement fabriquée pour le chantier et disposant d'une capacité de 4 800 t (voir encadré). Pour chaque pile, *Zourite* effectue deux voyages aux chargements optimisés : un premier pour le transport et la pose de l'embase (jusqu'à 4 800 t), le second pour le transport et la pose de la tête de pile et du mégavoussoir sur pile (d'un poids cumulé atteignant également la capacité maximale de la barge, soit 4 800 t).

... et les voussoirs la voie terrestre

Contrairement aux piles, les voussoirs sont acheminés par voie terrestre. Des fardiers (plates-formes automotrices) de 35 m de long munis de 216 roues les convoient depuis l'aire de stockage pour les transporter jusqu'à leur lieu de pose, en empruntant de nuit les routes réunionnaises et les portions de tablier déjà construites. Une fois l'extrémité du tablier atteinte, les voussoirs sont alors pris en charge

par une poutre de lancement. Cette structure métallique mécanisée de 280 m de long et 28 m de haut permet d'assembler un fléau complet en prenant appui sur les piles déjà en place. Chaque voussoir est d'abord soulevé par un pont roulant qui le transfère au droit de sa position finale. Là, le voussoir est descendu et connecté au voussoir précédent. Le tablier est ainsi construit par encorbellements successifs de part et d'autre de chaque pile. Une fois le fléau posé et clavé au fléau précédent, la poutre de lancement est avancée jusqu'à sa position suivante, et le cycle recommence.

Aires de préfabrication s'étendant sur près de 12 ha, barge géante, poutre de lancement XXL... les superlatifs sont de mise pour évoquer la chaîne logistique du chantier du viaduc du Littoral. Mais ces moyens étaient indispensables à la tenue des délais du chantier. « *L'ensemble a été dimensionné pour atteindre une cadence de deux travées complètes fabriquées, transportées et posées par mois (y compris les piles)* », précise Francis Guinchard.

Tout au long du chantier, des mesures concrètes visant à préserver la qualité environnementale du site sont prises. Entre autres dispositions, 6 des piles du viaduc seront équipées de modules préfabriqués en Composite Ciment Verre destinés à accueillir et favoriser la faune sous-marine. La structure « nid d'abeille » de ces récifs artificiels protégera ses habitants des attaques des prédateurs. Une autre mesure veille à préserver la tranquillité des espèces aquatiques. Les travaux sous-marins potentiellement bruyants ne peuvent ainsi pas démarrer tant que l'absence de mammifères marins à proximité n'a pas été confirmée par un contrôle visuel effectué par un ULM.

Le chantier du viaduc, dont l'ordre de service de démarrage a été donné en janvier 2014, devrait être livré en juillet 2018 au bout de 54 mois de travaux. La mise en service de la Nouvelle Route du Littoral (NRL), dépendante de l'avancement du chantier de la digue, est quant à elle toujours prévue à l'horizon 2020. ■



H



I

H __
 La barge *Zourite* permet de transporter en une fois la tête de pile surmontée du mégavoussoir sur pile.

I __
 Stockage de voussoirs sur le site de pose. La tablier est découpé en 1 386 voussoirs préfabriqués sur une aire dédiée de 9 ha à quelques kilomètres du chantier.



J

J __
Zourite, la plate-forme automotrice, peut se stabiliser en se hissant sur ses 8 jambes d'acier. Les éléments de piles peuvent alors être installés dans des conditions équivalentes à celles de la terre ferme.

K, L __
 Appuyée sur les piles déjà en place, la poutre de lancement géante est capable d'assembler un fléau complet avant de se déplacer vers sa position suivante.



K



L

GRAND PARIS EXPRESS

CATALYSEUR DE LA VILLE DE DEMAIN

Le Grand Paris Express est l'un des grands chantiers du XXI^e siècle dédié au développement de la région capitale. La ligne 15 sud sera la première à être mise en service dès 2022.

TEXTE : DELPHINE DÉSVEAUX – ILLUSTRATIONS 3D : © ATELIER D'ARCHITECTURE KING KONG ; ATELIER BARANI ; VALODE & PISTRE (ARCHI GRAPHI)

Métro automatique de 200 km, dont 180 km de tunnels, pour relier les quartiers d'affaires, les pôles scientifiques, les aéroports et les gares TGV, 68 nouvelles gares à vocation de centralités urbaines... beaucoup plus qu'un réseau de transport, le Grand Paris Express (GPE) constitue l'ossature du développement économique francilien à l'horizon 2030. Redessinant les contours de la métropole, le GPE va contribuer à rééquilibrer les disparités spatiales grâce à la construction de nouveaux quartiers autour des gares. Le GPE, c'est aussi un symbole de la transition énergétique puisque ce métro automatique, écologique en soi, réduira d'autant la congestion automobile et la pollution qui en découle tout en simplifiant le quotidien de millions de Franciliens. Les estimations chiffrent à deux millions le nombre de voyageurs qui emprunteront chaque jour ce réseau, avec des temps de trajet considérablement réduits grâce aux rocadés et à une vitesse commerciale de 55 km/h.

En attendant, pour que ce gigantesque chantier profite au plus grand nombre, Philippe Yvin, président du directoire de la Société du Grand Paris (SGP), rappelle l'im-

portance de « l'empreinte économique et sociale du Grand Paris » : 20 % du montant des marchés sont réservés à des PME ; l'insertion doit représenter 5 % des heures travaillées ; les principaux éléments nécessaires à la construction du nouveau métro, par exemple les voussoirs en béton des tunnels, seront fabriqués en Île-de-France.

Ligne 15 sud, entre Pont-de-Sèvres et Noisy-Champs

Les études de Génie Civil de la ligne et des gares ont été menées par Setec TPI et Ingérop sur le tronçon Pont-de-Sèvres – Villejuif Louis-Aragon et par Systra sur le tronçon Villejuif Louis-Aragon – Noisy-Champs. La ligne 15 sud sera la première à être mise en service fin 2022. Longue de 33 km, cette ligne souterraine dessert 22 communes, 16 gares entre Pont-de-Sèvres (92) et Noisy-Champs (93 et 77). À ces 33 km s'ajoutent 4 km de raccordement au site de maintenance des infrastructures à Vitry et au site de maintenance et de remisage du matériel roulant à Champigny. L'interconnexion avec les lignes radiales existantes est l'un des atouts de ce tracé : 15 des 16 gares qui la structurent sont en in-

Chiffres clés

33 km

16 gares

38 ouvrages annexes

22 communes

4 départements : 92, 94, 93, 77

250 000 à 300 000 voyageurs/jour
(en semaine) à la mise en service

terconnexion directe avec le métro, le RER ou les Transiliens. La 16^e, Vitry-Centre, se trouve à proximité immédiate du tramway T9. La ligne 15 sud facilite donc les déplacements de banlieue à banlieue tout en améliorant la desserte de grands équipements régionaux comme l'Institut Gustave Roussy à Villejuif, le musée d'art contemporain « MAC VAL » à Vitry-sur-Seine ou l'hôpital Henri Mondor à Créteil...

Les gares, vecteurs d'aménités urbaines

Dans le cadre de ce développement global, les gares jouent un rôle urbain majeur. Plus que de simples stations, elles sont conçues comme des centralités emblématiques du Grand Paris : intégrées dans leurs contextes – géographique, urbain, social, économique –, accueillantes, ouvertes sur leur quartier, elles font également l'objet de projets immobiliers, logements ou bureaux, et d'aménage-

Maître d'ouvrage : Société du Grand Paris – **Maître d'œuvre** : Setec TPI, Ingérop, Systra, Egis ; 11 agences d'architecture – **Allotissements et attribution des marchés de Génie Civil** : cf. www.societedugrandparis.fr



A
 Vue intérieure
 de la gare de
 Vitry, atelier
 d'architecture
 King Kong.

B
 Végétalisée
 en toiture, la
 gare de Vitry
 prolonge
 le parc.

3 questions à

Guillaume Pons, directeur de projet de la ligne 15 sud du Grand Paris Express

Que révèle la géologie du sous-sol et quelles sont les incidences sur le profil en long du tunnel ?

Au-delà des tissus urbains très contraints et de la traversée sous-fluviale entre Pont-de-Sèvres et Issy RER, l'ouest de la ligne se développe dans un substrat géologique particulièrement compliqué en raison d'une immense zone de carrières (5 à 6 km) entre Issy RER et Arcueil-Cachan. Son étendue est telle qu'il n'a pas été possible de l'éviter. Le tunnel va donc passer dessous, ce qui nécessite un comblement partiel des cavités pour garantir la maîtrise technique du creusement. La profondeur moyenne des gares se situe entre 25 et 30 m. Elle atteint 48 m à Villejuif en raison du passage du tunnel sous la vallée de la Bièvre au niveau de l'Institut Gustave Roussy, point le plus haut du Val-de-Marne, et 53 m à Saint-Maur-Créteil pour s'affranchir d'une géologie d'argiles particulièrement défavorable. Ces données géotechniques impactent le profil en long de la ligne qui doit être compatible avec les contraintes techniques du matériel roulant, tant pour les rayons de courbure que pour les pentes.

Où en sont les attributions des marchés et l'avancement des travaux ?

L'ensemble de la ligne et les huit marchés de Génie Civil ont été attribués, soit plus de 3 milliards d'euros. Ces marchés comprennent, selon les cas, la construction de gares, des tunnels forés, des ouvrages spécifiques – entonnements, arrière-gare – et des ouvrages annexes – accès de secours, puits de ventilation. En 2016, ont commencé les chantiers de la gare Fort d'Issy – Vanves – Clamart et les travaux de l'arrière-gare de Noisy-Champs. En 2017, 14 des 16 gares et 31 des 38 ouvrages annexes sont en travaux. Les chantiers de Pont de Sèvres et Châtillon-Montrouge commenceront en 2018.

Le GPE est entièrement conçu en BIM (Building Information Model). Quel est l'intérêt de la modélisation à cette échelle ?

L'innovation fait partie de l'ADN du GPE, qui est le premier métro du monde conçu en BIM depuis la conception jusqu'à la mise en service. Un partenariat étroit entre la Société du Grand Paris, les collectivités locales, les concepteurs et les entreprises a permis de réaliser une carte interactive qui modélise en 3D les territoires concernés par le futur métro. Les modélisations, obtenues à partir de vues aériennes, ont permis de reconstituer plus d'un million de bâtiments existants et donnent une représentation extrêmement précise des futures gares, des intermodalités ainsi que des programmes immobiliers connexes.

•••

ments, vecteurs d'une dynamique nouvelle. Génératrices de quartiers mixtes et animés, elles privilégient l'innovation dans les modèles économiques, les procédés et les matériaux de construction ainsi que des conceptions énergétiques... La charte architecturale imaginée par Jacques Ferrier et Pauline Marchetti exprime l'idée de « gare sensuelle ». Ainsi, à mesure qu'il plonge dans les tréfonds de la

terre, le parcours se doit d'être intuitif et sensoriel : séquençages de la descente, variations des volumétries spatiales, alternances d'éclairages, effets acoustiques, choix des matériaux sont les moyens dont disposent les équipes de maîtrise d'œuvre qui ont donc pour mission de dépasser la logique purement infrastructurelle et sa cohorte de contraintes techniques, commerciales et sécuritaires pour

transformer ces gares souterraines en lieux de vie accueillants et connectés. Plusieurs architectes ont choisi le béton dont ils exploitent les textures pour développer des univers singuliers.

Forme organique à Vitry

S'inscrivant dans un tissu urbain dense, la gare de Vitry-Centre « égratigne » le parc du Coteau, espace vert très apprécié des riverains. Comme pour restituer cet emprunt, l'agence bordelaise King Kong crée un ruban de béton clair qui circule dans le parc, devient clôture, garde-corps ou banc avant de se soulever pour former une grande voûte où apparaît l'entrée de la gare.

Végétalisée dans sa partie supérieure, cette forme organique semble une émanation du parc tout en assurant sa vocation de repère urbain. L'intérieur, tel un gouffre minéral, sera traité avec du béton.

Émergence d'un squelette aux Ardoines

Signée Valode et Pistre, l'architecture de la nouvelle gare des Ardoines s'inspire des mutations du quartier qui va se densifier et se tourner vers les biotechnologies. Le béton, repris dans les structures de la gare, est un élément contextuel fort. Depuis le fond de la gare émerge la structure constituée de voiles de béton perforés qui s'évident à mesure qu'elle s'élève. Son dessin biomorphique l'apparente à un squelette. La teinte du béton autoplaçant avec des granulats clairs sera proche de la couleur naturelle des os.

Grotte souterraine à Bagneux

La gare de Bagneux est l'une des plus profondes du GPE avec des quais à 33 m de profondeur. Marc Barani réalise en surface une gare épurée avec une structure en béton. À l'intérieur, une grande faille permet de faire descendre rapidement le voyageur dans une « grotte agréable » en béton clair. Insistant sur la fluidité des circulations et le rapport du corps à l'espace, Marc Barani s'inspire de l'approche phénoménologique de Bachelard pour créer une expérience sensorielle. ■



C
 Carte de la
 ligne 15 sud
 du Grand Paris
 Express.

D
 La structure
 biomorphe
 de la gare
 des Ardoines
 conçue par
 Valode et Pistre
 s'apparente
 à un squelette.

E
 La structure
 massive
 des voiles de
 béton perforés
 s'évide en
 s'élevant.

F
 Pour évoquer
 l'ambiance
 d'un gouffre,
 l'intérieur
 de la gare de
 Bagneux sera
 traité avec
 un béton clair.

SAINT-NAZAIRE

ET FLOTTE L'ÉOLIENNE... SUR DU BÉTON LÉGER !

Floatgen, la première éolienne flottante de France, est actuellement en construction dans le port de Saint-Nazaire. Son flotteur en béton, léger et résistant, prend la forme d'une bouée carrée.

TEXTE : OLIVIER BAUMANN – REPORTAGE PHOTOS : IDEOL ; OLIVIER BAUMANN ; IDEOL/BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

Sur les quelque 3 200 éoliennes offshore actuellement installées dans le monde, seules 6 unités sont de type flottant : leur fondation n'est pas posée sur le sol marin, mais est maintenue en position à la surface de l'eau par un système d'ancrage. Pour ses promoteurs, l'éolien flottant pourrait représenter l'avenir de la filière tant ses atouts sont nombreux : s'affranchissant des contraintes de profondeur, il peut être implanté au large, là où le vent souffle et où la distance avec la côte limite voire supprime son impact visuel. Pour confirmer sa faisabilité technique, sa viabilité économique et valider son impact sur l'environnement, un consortium européen associant notamment la start-up Ideol, spécialisée dans les technologies des fondations flottantes, Bouygues Travaux Publics et l'École centrale de Nantes a été constitué. Il construit actuellement dans le port de Saint-Nazaire la première éolienne flottante de France, baptisée Floatgen.

Le chantier de construction de la fondation flottante – une bouée carrée de 36 m de

côté et 9,5 m de haut en béton armé précontraint – a démarré en septembre 2016. Pour le constructeur, l'objectif est d'« alléger au maximum le poids de la structure tout en assurant une bonne flottabilité », synthétise Régis Bigard, directeur du chantier pour Bouygues Travaux Publics. C'est ainsi qu'un béton léger constitué de granulats poreux a été formulé. La masse volumique du béton du flotteur a ainsi été abaissée à 2 t/m³, contre 2,4 t/m³ pour un béton classique.

« Plusieurs centaines de tonnes ont ainsi pu être gagnées sur le poids total de l'ouvrage », précise Régis Bigard.

Une structure légère et résistante !

Outre la légèreté, la structure doit pouvoir résister aux assauts répétés de la houle, qui génèrent d'intenses efforts de fatigue. C'est pourquoi les densités d'armatures dans le béton sont élevées. À ce ferrailage passif s'ajoutent des câbles de précontrainte horizontaux dans chacune des quatre faces destinés à maîtriser la fissuration du béton, et

Chiffres clés

Fournisseur béton : Point P

Éolienne : 2 MW (modèle Vestas V80)

Diamètre du rotor : 80 m

Nombre de lignes d'ancrage : 6 lignes

Profondeur d'eau : 33 m

Hauteur maximale de houle en période retour 50 ans : 16 m

donc améliorer sa durabilité. « Pour pouvoir couler le béton de manière homogène dans cet enchevêtrement d'armatures et de gaines de précontrainte, nous avons dû formuler un béton autoplaçant, mis en œuvre par pompage », détaille Régis Bigard. Ce béton est utilisé pour la fabrication de chacune des 16 alvéoles du flotteur, dont la section transversale courante est constituée de deux voiles de 9,5 m de haut reliés en tête et en pied par des dalles de même épaisseur.

Une fois la fondation achevée, elle sera mise à l'eau dans la forme-écluse Joubert située à l'entrée du port de Saint-Nazaire. L'éolienne de 60 m de hauteur sera ensuite installée avant que l'ensemble ne soit acheminé en pleine mer à 22 km au large du Croisic, à 33 m au-dessus des fonds marins. La mise en service est quant à elle prévue fin 2017. ■

Consortium de conception-construction-exploitation : Ideol (coordinateur) ; École centrale de Nantes ; Bouygues Travaux Publics ; RSK Group (Royaume-Uni) ; Zabala (Espagne) ; Université de Stuttgart (Allemagne) ; Fraunhofer-Iwes (Allemagne).

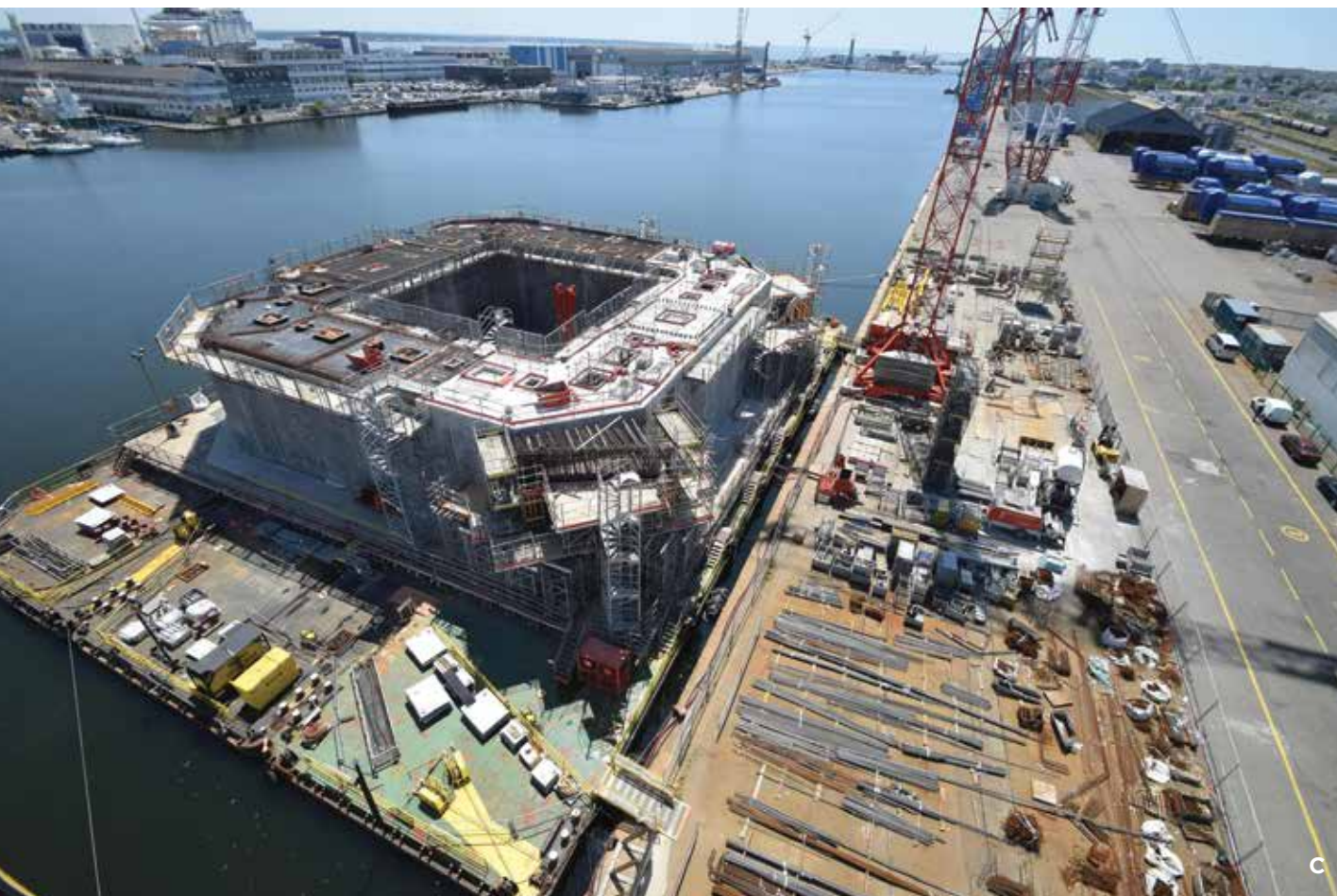
FINANCEMENT – Le consortium Floatgen est soutenu financièrement par : l'Union européenne : à travers le 7^e programme de recherche et de développement technologique – l'Ademe : au titre du programme des investissements d'avenir (PIA) – **Coût total** : 25 M€.



A



B



C



D

A __
L'éolienne flottante Floatgen sera installée à 22 km de la côte, par 33 m de profondeur. Son flotteur sera maintenu par un système de lignes ancrées de plusieurs centaines de mètres de long.

B __
Travaux de mise en place des armatures sur le pont du flotteur.

C __
Les caractéristiques de portance du quai n'étant pas suffisamment connues, il a été décidé de construire la fondation directement sur trois barges solidement accouplées.

D __
Le béton léger, autoportant est mis en œuvre par pompage.

Une fondation flottante mais stable

La stabilité de la fondation flottante repose sur des dispositifs complémentaires. L'ouverture centrale de la bouée d'abord, brevetée par Ideol sous le nom de Damping Pool®, permet d'atténuer les mouvements de la fondation grâce à l'action de la masse d'eau qui génère des efforts s'opposant à ceux induits par la houle, dont la hauteur maximale peut atteindre 16 m. Les effets de la houle sont ensuite également diminués grâce à un élargissement de l'assise des pieds de voiles extérieurs. Le maintien en position du flotteur est enfin assuré par un système constitué de 6 lignes en fibres de nylon de plusieurs centaines de mètres de long ancrées dans le fond marin au moyen d'ancre à pénétration.

MONTPELLIER

UNE OMBRIÈRE CLIMATIQUE INÉDITE POUR LA GARE TGV

Pour cette gare méditerranéenne, Marc Mimram a imaginé une gare-pont coiffée d'une ombrière inédite qui filtre la lumière. Grâce au BFUP, elle sert à la fois de structure et de couverture.

TEXTE : DELPHINE DÉSVEAUX – REPORTAGE PHOTOS : DRONESTUDIO POUR FRANÇOIS FONDEVILLE ; MÉDITERRANÉE PRÉFABRICATION

L'idée d'une ligne à grande vitesse de la vallée du Rhône jusqu'à Barcelone remonte aux années 1980. Après bien des aléas, un barreau du tracé ferroviaire est en cours de réalisation. Il s'inscrit dans le cadre du contournement de Nîmes et Montpellier, soit 60 km de ligne nouvelle mixte fret/voyageurs. Située au sud de l'agglomération montpellieraine, la gare de la Mogère, proche d'Odysseum, est conçue comme un pont qui enjambe les voies de la nouvelle LGV, la rocade et l'autoroute A9. Conçu comme un pôle d'échange multimodal dans un secteur en devenir, l'équipement intègre les différentes modalités de transport : au sud, le « jardin » est dédié aux véhicules motorisés, avec la gare routière et les parkings ; à l'ouest, une gigantesque ouverture accueille les voyageurs du tramway.

Un bâtiment-pont

La gare se présente comme un « pont habité » qui franchit la voie ferrée au moyen d'une dalle de béton armé portée par 30 piles architectoniques en V (3,60 m de hauteur), des poutres primaires s'apparentant à des dalles

autoportantes et 280 poutres secondaires. Plus impressionnant encore, le bâtiment voyageurs est abrité par une étonnante couverture, un grand « parasol » perforé, selon le mot de Marc Mimram, qui se déploie à l'extérieur (porte-à-faux de 7 m) pour couvrir les abords de la gare. Dans ce contexte méditerranéen, Marc Mimram Architecture & Ingénierie a préféré l'hypothèse d'une « ombrière climatique qui filtre la lumière » au vocabulaire de verre et d'acier des halles ferroviaires du XIX^e siècle. Climatique, parce que la forme aérodynamique de la couverture permet, comme un spoiler de voiture, d'aspirer l'air pour accroître la ventilation naturelle, très importante à Montpellier. Filtrante, parce que les perforations, calculées en fonction de la course du soleil et de la distribution des efforts, filtrent les apports solaires avec de magnifiques jeux d'ombre et de lumière.

Hautes performances au pluriel

Point fort du projet, la couverture en BFUP se compose de trois types d'éléments : 115 longues « palmes » autoportantes qui franchissent les voies ; 480 coques d'habillage qui

Chiffres clés

Gare : 10 000 m², dont une halle de 3 500 m² sur 11 m de hauteur dédiée aux voyageurs

Nombre de voyageurs par an en 2030 : 3,5 millions

Couverture : 7 500 m²

BFUP : 750 m³, 115 palmes, 480 coques, 150 éléments de casquette

dissimulent la structure métallique porteuse ; 150 pièces qui forment une casquette périphérique en porte-à-faux de 7 m.

Cette couverture est tout à fait inédite : outre ses qualités esthétiques et la maîtrise des apports lumineux, sa singularité repose sur le fait qu'elle joue à la fois le rôle de structure et de couverture. Le secret ? Le recours au béton fibré à ultra hautes performances (BFUP) qui, grâce à son extrême résistance, lui permet d'assurer de grandes portées (18,30 m, correspondant à l'entraxe des voies ferrées) avec une grande délicatesse de forme. « *Des hautes performances au pluriel*, insiste l'ingénieur Romain Ricciotti, *d'abord en termes de résistance mécanique qui autorise des longues portées avec des éléments d'une grande finesse, mais également en termes de durabilité car le BFUP est un béton parfaitement étanche et insensible aux agressions chimiques.* » Formulé par le laboratoire de recherche de Lafarge, il s'agit d'un Ductal® blanc

Maître d'ouvrage : SAS Gare de la Mogère – **Maître d'œuvre** : Marc Mimram Architecture & Associés, Marc Mimram Ingénierie ; Egis ; Atelier Nebout ; BET Lamoureux & Ricciotti ingénierie – **Réalisation** : François Fondeville – **Fabrication palmes** : Méditerranée Préfabrication – **Fabrication coques et casquettes** : Delta Préfabrication – **Coût** : 60 M€ HT.



A —
 La gare de la Mogère est conçue comme un pont qui enjambe les voies de la nouvelle LGV, la rocade et l'A9.

B —
 Les palmes sont réparties en cinq travées de 23 unités.

B

Questions à

Marc Mimram, architecte de la gare de la Mogère

Comment naît l'idée d'une telle couverture ?

J'ai été formé avec l'idée que l'on ne pouvait plus faire ce que faisaient hier Nervi, Torroja, Candela, Lafaille, Freyssinet... Les pièces moulées, les grandes coques en béton, les grands voiles minces, qui ont eu une grande résonance dans les années 50 ou 60, demandent beaucoup de main-d'œuvre. C'est devenu trop compliqué. Ce que j'essaie de démontrer ici, c'est qu'il est possible de faire à nouveau ce que nous pouvions faire hier. Avec le BFUP et la préfabrication, on parvient rapidement à créer une couverture étanche qui est en même temps une structure avec des finitions très soignées. C'est la première fois que l'on assure la mise hors d'eau à partir de la structure. C'est une vraie prouesse technique au service de l'architecture.

Est-ce l'occasion d'entrer dans une nouvelle ère ?

L'enjeu est de transformer l'infrastructure considérée comme un mal nécessaire en bien partagé. Nous sommes à un moment important où on peut l'envisager de manière positive, c'est-à-dire en la considérant non plus comme une contrainte mais comme une source de valeur intégrée dans une démarche globale de développement urbain où elle prendrait plusieurs formes : pont habité ou immeuble pont, comme cette gare, pont symbole, pont héritage historique, pont espace public, pont paysage, pont balcon, pont toit...

•••

dosé à 1,75 % de fibres Inox, ces fibres remplaçant les armatures pour assurer la résistance en traction. La conception aura duré deux ans, au cours desquels Marc Mimram, l'entreprise François Fondeville, le bureau d'études Lamoureux & Ricciotti et Patrick Mazzacane, directeur de Méditerranée Préfabrication, ont travaillé de concert pour mettre au point les éléments de couverture et tous les accessoires.

Plusieurs défis inédits

Si la couverture est inédite, les procédés de fabrication, le transport et la pose des palmes le sont aussi. « Parce qu'elles sont très élancées, d'une minceur extrême (4 cm en moyenne) et ajourées, il était impossible de les réaliser en deux parties. Le défi technologique a donc été de fabriquer des éléments monolithiques », résume Patrick Mazzacane. Cette option impliquait de préparer à l'avance la totalité du béton, soit 5,2 m³, pour garantir une parfaite homogénéité. Le processus de fabrication n'a laissé aucune place à l'improvisation quant aux pesées, au temps de malaxage, au cycle

de remplissage ou aux outils coffrants. « Dix gâchées, chacune prenant un peu moins de 20 min, étaient nécessaires pour réaliser une palme. L'opération se déroulant pendant les fortes chaleurs de l'été 2016, nous avons mis au point la fabrication en adaptant les températures ambiantes pour le malaxage et les différents temps d'attente et, en parallèle, avec les équipes de Lafarge Ductal, une adjuvantation qui tienne compte de ces contraintes. Grâce au maintien de la bonne rhéologie, les conditions de moulage étaient excellentes. Le remplissage s'est effectué moule fermé par injection en des points judicieusement placés afin d'assurer la bonne répartition des fibres. » Les moules, au nombre de cinq, conformément au nombre de modules des palmes, ont été conçus en 3D par Méditerranée Préfabrication et ses partenaires moulistes, découpés au laser et assemblés sur gabarit. Une cage d'armatures passives située au centre de la palme reprend les efforts en torsion, telle la nervure d'une feuille à double courbure, à l'intérieur de laquelle sont positionnés les câbles de pré-

contrainte (quatre torons gainés et graissés) : là encore, une opération délicate requérant une précision extrême.

Un chantier sensible

À pièces exceptionnelles, moyens de manutention hors du commun ! Les palmes fraîchement démoulées (48 h après leur fabrication), ont été acheminées sur le chantier par des semi-remorques à rallonge équipés d'un châssis sur mesure. Une fois sur site, restaient à réaliser la post-tension des « nervures », l'intégration des vitrages et des pavés acoustiques et, bien sûr, la pose des éléments de couverture sur la charpente. Un challenge pour l'entreprise Fondeville. « En raison du poids des éléments et de l'impossibilité de s'approcher, nous avons utilisé une grue de 1 200 tonnes et de 100 m de flèche », explique Georges Chammas, directeur des grands projets de Fondeville. « Pour couronner le tout, la pose ne pouvait se dérouler que de nuit, le chantier étant placé sous le cône de circulation de l'aéroport de Montpellier. »

Un choix sûr, efficace et pertinent

Pour la mise en œuvre de cette couverture, rien n'a été laissé au hasard : essais de convenue pour la formulation du béton et le coulage des monolithes, études en soufflerie au CSTB de Nantes pour évaluer les sollicitations de prise au vent et de secousses sismiques, test de chargement avec le CSTB et l'APAVE, appréciation technique d'expérimentation (ATEX) validée par le CSTB... Reste la question économique : « Il faut considérer cette solution dans sa globalité, assure Patrick Mazzacane, car elle résout plusieurs problématiques : la grande portée, la légèreté, l'esthétique, l'étanchéité et la durabilité. C'est pourquoi elle est tout à fait pertinente et compétitive au regard de l'économie de structure, de matière et de temps de réalisation. » « L'intérêt, conclut Romain Ricciotti, c'est d'avoir un seul composant pour la structure et l'étanchéité. La qualité du matériau et son association à une pièce monolithique, qui réduit considérablement le nombre d'interfaces et donc de points de faiblesse, sont les clés de la durabilité. » ■



C



D



E



F



G

C
Fraîchement
démoulées, les
palmes sont
chargées par
deux ponts
roulants sur
un châssis
sur mesure
pour l'achemi-
nement.

D
Elles sont
mises en place
avec une grue
de 1 200 t et
de 100 m de
flèche.

E
En sous-face,
les coques
habillent la
structure et
forment avec
les palmes
une surface
à double
courbure.

F
Au centre
des palmes,
les câbles de
précontrainte
passent dans
une cage
d'armatures
pour reprendre
les efforts en
torsion.

G
Filtrant les
apports
solaires, les
perforations
créent des jeux
d'ombre et
de lumière.

NICE

PROMENADE EN SOUTERRAIN POUR LE TRAMWAY

La ligne 2, longue de 13,2 km, comprend 3,2 km en tunnel et 4 gares souterraines. Les entreprises ont dû gérer une géologie complexe et l'exiguïté des zones de travaux.

TEXTE : SYLVIE ROMAN – REPORTAGE PHOTOS : © VILLE DE NICE, DIDIER QUILLON ; © MÉTROPOLÉ NICE CÔTE D'AZUR – ESSIA – ENODO

Depuis bientôt deux ans, une partie du port de Nice accueille trémies, tapis roulants et autres silos de stockage de ciment... Afin de minimiser l'impact sonore et visuel, la centrale à béton est dissimulée derrière un habillage de grandes bâches tendues insonorisantes, couvertes de reproductions de photos des monuments alentour.

Pour réduire au maximum les nuisances pendant la phase de chantier, la Métropole Nice Côte d'Azur, maître d'ouvrage, a scindé le projet en deux : une partie de la ligne à « l'air libre » et une partie souterraine dans les quartiers les plus denses de la ville. Ainsi à l'est, après la station du port Lympia située sur un quai, la ligne plonge dans les entrailles de la Terre jusqu'à la rue de France (une artère parallèle à la Promenade des Anglais), 3,2 km plus loin, où elle sort à l'air libre pendant 4,5 km. Elle se divisera alors en deux branches, l'une vers l'aéroport, l'autre vers le centre administratif, au nord.

Une zone de chantier au millimètre

C'est à l'automne 2014 que les travaux ont débuté à l'est de la ligne, rue Ségurane, à trois

cents mètres environ du port, par des diagnostics archéologiques et la déviation des réseaux souterrains. Cette longue rue au pied d'une colline jouxtant le Vieux Nice est d'un accès particulièrement complexe. Ce qui a engendré une organisation millimétrée de la zone de chantier et d'approvisionnement, et son déploiement sur deux sites : une centrale à béton occupe un quai du port, et l'approvisionnement en béton et en coulis de ciment est réalisé en flux tendu par camions, jusqu'au puits d'entrée du tunnel situé à 300 m. À cause de l'étroitesse de la rue, la trémie du puits d'entrée est réduite au maximum, paramétrée pour introduire les éléments du tunnelier jusqu'à une « boîte » de 55 m x 12 m et descendant progressivement à 20 m de profondeur. Il était donc « impossible d'assembler tous les éléments du tunnelier sur le site, mais nous avons dû pousser au fur et à mesure le train afin de lui ajouter les divers éléments », explique Didier Charrin, responsable du chantier du tunnel pour le maître d'ouvrage. Autre conséquence de l'exiguïté de la zone de chantier, l'alimentation en flux

Chiffres clés

Longueur : 11,3 km

Tunnel : 3,2 km

Voussoirs en béton : 14 560 unités

Ciment Calcia : Duracem 52,5 N HRC de Beaucaire

Bétons parois moulées et stations : 140 000 m³

Ciments Vicat : CEM III/B 42,5 N LH SR ; CEM II/A-S 42,5 N ; CEM I 52,5 N

tendu de tous les matériaux, y compris les 14 560 voussoirs de 6 tonnes chacun (hormis le voussoir de clef de voûte, plus léger), qui ont été acheminés quotidiennement depuis l'usine de préfabrication Stradal de Beaucaire !

Exfiltration des déblais par la mer

L'évacuation des quelque 200 000 m³ de déblais de forage du tunnel représentait une autre gageure et une exigence forte du maître d'ouvrage, soucieux de réduire au maximum les nuisances. Une fois excavés et concassés par le tunnelier, puis mélangés à de la boue, les déblais ont été évacués au fur et à mesure de la progression du tunnelier, via une conduite de marinage souterraine, puis acheminés vers la centrale de traitement implantée sur le port. Là, ils ont été exfiltrés par la mer, après avoir été « asséchés ». Plusieurs fois par semaine, de grandes barges chargées de plus

Maître d'ouvrage : Métropole Nice Côte d'Azur – **Maître d'œuvre** : Essia, constitué de Egis Rail mandataire, Ingérop, Stoa Architecture, Atelier Villes & Paysages, Pierre Schall – **Entreprises** : Thaumasia, groupement constitué de Bouygues TP, Soletanche Bachy, CSM Bessac, Snaf et Colas Midi-Méditerranée – **Bétons** : Vicat (3 stations et le puits de sortie) ; Bétons Niçois & Lafarge (station Jean Médecin) – **Coût** : 721 M€ HT.



A
Port de Nice :
 la centrale
 à béton
 dissimulée par
 des bâches
 couvertes de
 reproductions
 de photos.
 Future
 implantation
 de la station
 Quai Cassini.

B
**Station
 Durandy :**
 butonnage des
 parois moulées
 d'une des
 « boîtes ».

•••

de 2 000 tonnes de déblais ont effectué des rotations vers une plate-forme de recyclage située à Fos-sur-Mer. Pour la réalisation du tunnel, le port de Nice s'est ainsi mué en centre névralgique : en effet, une deuxième canalisation, est-ouest celle-là, a permis d'alimenter le tunnel en boue bentonitique, indispensable pour stabiliser le front de taille lors du creusement, avant la mise en place des voussoirs.

Un tunnel en zone contrainte

17 mois ont été nécessaires pour réaliser les 3,3 km du tunnel monotube, grâce à Catherine (en hommage à l'héroïne niçoise Catherine Ségurane), un tunnelier à pression de boue construit sur mesure par l'entreprise allemande Herrenknecht. Il présente un diamètre de creusement de 9,7 m, pour une longueur totale de 78 m, dont 10 pour le bouclier. « C'est l'un des plus grands tunneliers au monde actuellement en service », précise Didier Charrin. Il a été acheminé en pièces détachées par convois exceptionnels, sur plus de 2 000 km, puis monté sur place.

Gérer une géologie complexe...

Globalement, trois types de terrains ont été diagnostiqués : un à matrice argileuse et composé de marnes et de galets sous l'ancien lit du fleuve du Paillon, des terrains à dominante sableuse et argileuse, et enfin, des calcaires. Et malgré les multiples carottages, les surprises ont émaillé le chantier, comme devoir passer par trois profils géologiques, de l'argileux, du sableux et des galets, en seulement 3 anneaux de voussoirs (4,8 m) ! Aussi, les équipes ont dû paramétrer régulièrement les qualités de boue et de pression de creusement du tunnelier. Pour faire face à ces incertitudes géologiques, la tête de coupe du tunnelier était mixte, équipée de 44 molettes faciales de 17 pouces, et 14 en périphérie, ou encore de 164 dents et 16 racleurs périphériques... La course du tunnel est comprise entre - 22 et - 25 m de profondeur, avec plusieurs courbes, dont la plus serrée présente un rayon de 250 m. Chacun des anneaux du tunnel est constitué de 8 voussoirs en béton armé, dont 7 identiques de 160 cm de largeur et 40 cm

d'épaisseur, et d'un voussoir-clé biseauté et de dimension très réduite. Pour assurer la livraison du mortier de bourrage injecté derrière les voussoirs (sur 15 cm d'épaisseur environ), une benne faisait la navette toutes les deux heures, de l'entrée du tunnel près du port jusqu'au train du tunnelier.

... avec une cadence maintenue

Durant les premières semaines de chantier, la progression du tunnelier était de 8 m par jour, grâce aux équipes tournant en 3 x 8, sauf le dimanche. Rapidement, les cadences ont atteint 10 voire 11 m, selon la typologie du terrain. La ligne souterraine traverse 4 stations, dont les travaux ont débuté après le passage du tunnelier. Aussi, pour les parties de tube correspondant aux futurs quais des stations, Stradal a fourni des voussoirs en béton fibré (dosage 40 kg/m³) pouvant être plus facilement détruits au moment du terrassement des stations.

Si le montage du tunnelier a été complexe, le démontage, cet été, le fut tout autant. En fin de course, le puits de sortie de Grosso a été rempli d'eau « comme une gigantesque piscine » afin d'équilibrer les pressions de part et d'autre des parois du puits au moment de l'arrivée du tunnelier et du perçage des parois ; ce qui a permis alors le démontage du tunnelier dans des conditions optimales.

Des stations souterraines en géologie chahutée

La ligne 2 comprend 20 stations, dont 4 souterraines, un puits d'entrée et un de sortie. Trois stations sont réalisées sur une même typologie, une boîte longitudinale de 60 m x 15 m et de 30 à 40 m de hauteur, agencée sur trois niveaux : le niveau bas pour les quais et le plan de roulement du tramway, le niveau médian accueillant des mezzanines constituées de dalles de béton, ainsi que des passerelles permettant de desservir les deux quais, et enfin, le niveau supérieur qui permettra d'installer la billetterie et les locaux techniques. Cette typologie commune a cependant nécessité des réponses diverses, en fonction de la géologie. Ainsi, la station Garibaldi, sous la place éponyme, est

implantée dans un terrain torturé, constitué en grande partie par des éboulis calcaires très durs, sans parler de la présence d'anciennes fortifications devant être traversées par les parois moulées ! Aussi, l'entreprise Soletanche Bachy, en charge des travaux souterrains au sein du groupement Thaumasia, a fait intervenir une hydrofraise compacte, plus adaptée grâce à son gabarit, à son emprise réduite au sol et à sa grande capacité de forage dans des sols très durs. Les parois étaient imposantes, du fait de la géologie : 1,5 m d'épaisseur, sur 30 m de profondeur.

Les stations Durandy et Alsace-Lorraine sont implantées dans des couches géologiques très chahutées. « Nous sommes dans des conditions hydrogéologiques complexes, dans des terrains alluvionnaires. Ainsi, à la station Alsace-Lorraine, l'eau n'étant qu'à 2 m du fond de la cuve, nous avons dû injecter le sol sous le niveau du radier », précise Yannick Sherer, ingénieur et responsable des travaux souterrains chez Egis. Autre difficulté, pour s'ancrer dans des terrains favorables, les parois sont descendues en moyenne à 40 m, et jusqu'à 45 m à Durandy, pour atteindre un substratum étanche. Aussi, pour résister aux poussées extrêmes, « les parois moulées de 120 à 150 cm d'épaisseur ne sont pas linéaires, mais raidies par des contreforts en béton en forme de T de 160 cm pour limiter les déplacements, ce qui est très rare », ajoute Houssame Belkouri, responsable des travaux de la station Durandy chez Egis. La station Durandy est la plus complexe, la seule à ne pas être linéaire. Elle est constituée d'une « boîte » principale pour la ligne et les quais de 60 m x 15 m, avec des parois moulées de 150 cm d'épaisseur et de différentes hauteurs, jusqu'à 46 m, et de deux boîtes plus réduites sur les côtés, accueillant les accès et divers locaux techniques.

Pour la réalisation des stations, trois centrales à béton sont mises à contribution, dont une de secours, afin de fournir les 80 000 m³ de béton des parois moulées et les 60 000 m³ des stations ! L'ensemble des opérations de Génie Civil des stations devrait être terminé début 2018, pour une mise en service complète fin 2019. ■



C



D

C __
Puits d'entrée
du tunnel.
Manutention
des voussoirs
de 6 tonnes
chacun.



E

D __
Rue Ségurane :
sur la zone
de chantier,
stockage des
voussoirs en
flux tendu,
en raison de
l'exiguïté
des lieux.

E __
Intérieur du
tunnel avec la
conduite de
marinage pour
l'exfiltration
des déblais et
la canalisation
de boue
bentonitique.

F __
Vue 3D
de la station
Alsace-
Lorraine.

G __
Future station
Durandy :
les parois
moulées seront
recouvertes
de parements
de pierre.



F



G

RENNES

UN VIADUC TOUT EN FINESSE POUR LE MÉTRO

La qualité architecturale du viaduc est essentielle à sa bonne insertion dans le tissu urbain de la métropole bretonne. La finesse et la légèreté de l'ouvrage masquent une vraie complexité technique.

TEXTE : OLIVIER BAUMANN – REPORTAGE PHOTOS : © LAVIGNE CHÉRON ARCHITECTES ; EIFFAGE ET RAZEL BEC ; OLIVIER BAUMANN

La future ligne B du métro automatique de Rennes Métropole reliera en 2020 le sud-ouest et le nord-est de l'agglomération bretonne. Après le succès de la ligne A, inaugurée en 2002, cette infrastructure vise à compléter l'offre de transport collectif et accompagner l'essor de pôles d'attractivité majeurs. Longue de 12,8 km et dotée de 15 stations, elle devrait accueillir 113 000 trajets quotidiens. Souterraine sur la majeure partie du tracé en cœur de ville, la ligne devient aérienne en son extrémité nord-est. Elle s'élève alors pour prendre la forme d'un viaduc urbain en béton précontraint de 2 400 m de long, ponctué de 3 stations aériennes.

Une architecture légère...

Le maître d'ouvrage, Rennes Métropole, et son mandataire, la SEMTCAR, ont veillé à ce que l'ouvrage s'insère le plus harmonieusement possible dans le tissu urbain. Implanté à 30 m environ des premières habitations, « ses

abords font l'objet d'un aménagement paysager intégrant des masques arborés évitant les vues directes sur les maisons ainsi que des circulations douces (promenades piétonnières et voies vélos) », décrit Frédéric Philippeau, directeur Interface Projets pour la SEMTCAR.

La réussite esthétique de l'ouvrage constituait aussi pour le maître d'ouvrage un enjeu majeur. En lien avec le groupement de maîtrise d'œuvre, piloté par Egis Rail, la réflexion du cabinet d'architecture Lavigne Chéron s'est orientée vers la recherche de la plus grande finesse. L'ouvrage, intégralement réalisé en béton clair de teinte uniforme, dispose d'un tablier unique de très faible épaisseur (1,70 m), constitué de 973 voussoirs en béton précontraint assemblés en 36 ouvrages indépendants à 1 ou 2 travées, de 30 à 38 m de portée. Ses rives sont équipées d'écrans acoustiques doublés de bandeaux architecturaux en Béton Fibré à Ultra hautes Performances (BFUP).

Chiffres clés

Longueur du viaduc : 2,4 km

Largeur du tablier : 8,6 m

70 piles : dont 40 % fondées sur pieux, 60 % sur semelles superficielles

973 voussoirs

Béton : 22 000 m³

« Ce matériau qualitatif permet de dessiner un bandeau de rives ménageant des persiennes qui donnent de la légèreté à l'ouvrage », expose Frédéric Philippeau.

Pour souligner les fortes variations de courbures du tracé et le fort dévers de la voie, les 70 piles sur lesquelles repose le tablier possèdent un « déhanché » caractéristique dessinant tantôt un « Y » dans les courbes, tantôt un « X » aux abords des trois stations.

... masquant une grande complexité technique !

Chacune des spécificités architecturales du viaduc masque une grande complexité technique. Si l'obtention d'une teinte claire et uniforme entre le tablier et les piles est un défi (voir encadré), la réalisation du « déhanché » des piles en est un autre. Pour soutenir les efforts induits par cette courbure gracieuse, et résister aux chocs de véhicules, les piles

VIADUC - Maître d'ouvrage : Rennes Métropole – **Mandataire du maître d'ouvrage** : SEMTCAR – **Maître d'œuvre** : Egis Rail, Egis Bâtiment Centre Ouest, Arcadis, L'Heudé & L'Heudé – **Architecte viaduc** : Lavigne et Chéron – **Groupement d'entreprises** : Razel-Bec (groupe Fayat, mandataire), Eiffage Génie Civil – **Contrôle technique** : Socotec – **Fournisseur ciment** : Lafarge – **Coût** : 50 M€ HT.

STATIONS AÉRIENNES - Architectes : Anthracite/AMA – **Groupements d'entreprises** : Angevin entreprise générale (mandataire)/Angevin SAS pour les stations Atalante et Beaulieu Université ; Cardinal Edifice pour la station « Cesson-Viasilva ».



A —
 Le déhanché des piles en « Y » souligne la sinuosité du viaduc et le fort dévers qui le caractérise par endroits. Les teintes claires des piles et du tablier ont été choisies pour une meilleure insertion urbaine.

B —
 Tous les voussoirs sont préfabriqués dans une aire dédiée de 4,5 ha. Après maturation, les voussoirs sont acheminés jusqu'à leur lieu de pose en empruntant les parties de l'ouvrage déjà construites.

Un béton clair homogène pour les voussoirs et les piles

Pour la qualité esthétique de l'ouvrage, le maître d'ouvrage souhaitait que les teintes claires des bétons des piles et du tablier soient homogènes. Pour s'assurer de l'homogénéité du rendu, le groupement d'entreprises a fait le choix d'un béton unique pour couler l'ensemble des éléments structurels. Mais ceux-ci n'étant pas soumis aux mêmes sollicitations mécaniques, une formulation optimale devait être trouvée. « Elle devait d'une part permettre d'obtenir une résistance importante au jeune âge pour pouvoir décoffrer les voussoirs dans un délai compatible avec la cadence de production, et d'autre part offrir une résistance élevée à 28 jours », précise Matthieu Carry, directeur de production pour le groupement d'entreprises. Finalement, un béton de classe de résistance C 55/67 a été choisi. Le liant équivalent dosé à 405 kg/m³ est constitué d'un ciment CEM I 52,5, de laitiers moulus de hauts-fourneaux et de métakaolins pour obtenir la teinte claire.

•••

sont très fortement ferrillées : la densité d'armatures de leur chevêtre atteint jusqu'à 385 kg/m³. Pour s'assurer de la bonne répartition du béton dans tout le volume dans cet enchevêtrement d'armatures, de nombreuses cheminées de bétonnage et colonnes de vibration sont prévues lors de l'assemblage des cages d'armatures. « La difficulté principale pour la mise au point du ferrailage des appuis est due au fait que ces réservations entraînent en conflit avec les armatures principales », explique Michel Bousquet, directeur du projet pour le groupement constructeur. Pour résoudre ce casse-tête, les entreprises ont fait appel à un modèle numérique de calcul tridimensionnel.

Autre défi à relever pour le groupement constructeur : la prise en compte de la forte sinuosité du tracé – le rayon de courbure atteint par endroits 125 m – et du dévers – jusqu'à 10 %. Ces contraintes pesaient notam-

ment sur la géométrie des voussoirs. Ainsi, « chacun des 973 voussoirs possède des caractéristiques et une géométrie uniques », décrit Matthieu Carry. Pour arriver à optimiser leur fabrication, nous avons conçu des outils de coffrage en nombre limité et réglables, permettant de maîtriser l'ensemble des variations géométriques ».

La préfabrication au service de la furtivité

Pour mieux faire accepter le projet aux riverains, le maître d'ouvrage souhaitait un chantier « furtif », minimisant les nuisances et son incidence sur la circulation routière, qui devait être maintenue la quasi-totalité du temps. Pour répondre à cette problématique, le groupement d'entreprises a décidé d'industrialiser les méthodes de construction. La totalité des voussoirs est ainsi préfabriquée sur une aire dédiée de 4,5 ha. Une fois préfabriquées dans un atelier spécifique, les cages d'armatures sont transférées à l'atelier de bétonnage des voussoirs. Là, six cellules coffrantes fonctionnant en parallèle permettent de réaliser les voussoirs courants (30 t en moyenne) et les voussoirs sur pile, de 63 t. L'objectif est de fabriquer 80 unités en moyenne par mois. Les voussoirs sont pris en charge par un portique roulant qui les dépose sur une zone de stockage. Ils sont ensuite acheminés par des fardiers jusqu'à la zone de pose en empruntant les portions de tablier déjà construites. La fabrication, le stockage et l'acheminement des voussoirs jusqu'à leur lieu de pose se font ainsi selon un circuit propre au chantier, qui n'impacte pas l'environnement extérieur.

Deux travées lancées par une poutre en une seule fois

Précédant la pose du tablier, l'atelier de construction des piles prend la forme d'un chantier mobile très étroit évoluant le long des voies de circulation que longe le tracé. Très étroite, son emprise au sol s'étire sur seulement 200 m pour limiter la gêne. Les cages d'armatures des chevêtres sont acheminées depuis l'aire de préfabrication et connectées

à celles des fûts, qui sont elles assemblées *in situ*. Le coulage en place des piles peut alors démarrer dans un outil coffrant courbe fabriqué sur mesure.

La dernière étape est celle de la pose des voussoirs. Elle est réalisée à l'aide d'une poutre auto-lanceuse, structure métallique qui permet de mettre en place jusqu'à deux travées de 38 m en une seule fois. Reposant sur trois des appuis définitifs du futur viaduc, cette poutre géante est munie d'un chariot de levage capable de reprendre les voussoirs approvisionnés par les fardiers. Ces voussoirs sont suspendus les uns après les autres à la poutre dans un ordre prédéterminé. Une fois l'équivalent de deux travées complètes suspendu, les voussoirs sont repris et mis en position définitive. Les câbles de précontrainte, qui permettent de rendre le tablier monolithique, sont alors mis en tension. La poutre est ensuite avancée par une succession de déplacements de ses points d'appui et de translation, qui lui permettent de négocier les virages les plus serrés. Un nouveau cycle de deux semaines peut alors démarrer à raison de 2 postes de travail 6 jours sur 7.

Le chantier, démarré en octobre 2015, devrait être livré mi-2018. Les nouvelles rames sur pneus CityVal de Siemens devraient quant à elles entrer en service en 2021. ■

Le viaduc entre en gare !

Le viaduc de la ligne B du métro desservira trois stations aériennes. Chacune d'elles est conçue comme une « boîte » à l'architecture spécifique. Pour raccourcir le délai de construction global de la ligne, les phasages des chantiers du viaduc et des stations ne sont pas interdépendants. La poutre de lancement du viaduc doit ainsi être en mesure de poser les voussoirs de la section traversant la station avant que celle-ci soit terminée. Les stations sont structurellement totalement indépendantes du viaduc. Les entreprises de construction des stations ont adapté leurs méthodes constructives à cette spécificité. Elles n'ont pas droit à l'erreur : lorsque le viaduc entre en gare, quelques centimètres seulement peuvent séparer le bord du tablier des quais !



C ___
 La poutre autolanceuse permet de mettre en place jusqu'à deux travées de 38 m en une seule fois.



D ___
 Le dévers du tablier atteint jusqu'à 10 %.

E ___
 La manutention des 973 voussoirs dans l'aire de stockage est effectuée par un portique mobile.

F ___
 Chacun des voussoirs possède des caractéristiques et une géométrie uniques.

G ___
 Les bandeaux de rives du tablier sont constitués d'une succession de 2 000 panneaux préfabriqués en béton fibré à ultra hautes performances.



MASSY-ANTONY

GALET DE BÉTON POUR LA STATION DE POMPAGE

Du béton projeté pour façonner un galet : focus sur une prouesse dans la recherche et une haute technicité dans la conception et la réalisation.

TEXTE : SYLVIE ROMAN – REPORTAGE PHOTOS : LES ATELIERS MONIQUE LABBÉ ; LAURENT THION ; SOLPOL

Avec ce galet blanc posé en pied d'immeubles, l'architecte Monique Labbé explore toutes les possibilités et repousse les limites qu'offre le béton. La nouvelle station de pompage de Massy-Antony, en travaux depuis 2015, se substituera à quatre réservoirs aériens, culminant à près de 50 m.

La demande du SEDIF (Syndicat des Eaux d'Île-de-France), le maître d'ouvrage, était de moderniser le réseau, le sécuriser, tout en intégrant davantage le bâtiment dans l'environnement très urbain de Massy. « *Le choix de cet objet a fait consensus. Les élus, experts et membres du conseil d'administration ont été subjugués par la forme que nous proposaient Monique Labbé et Egis* », explique Isabelle Radlak, responsable du service Ouvrages du SEDIF. « *Pour nous, même si nous avons une totale confiance dans le projet de l'équipe choisie, notamment imaginé par l'architecte, la question de la faisabilité de la forme ne se posait pas, mais c'était plutôt comment la réaliser.* »

Mais l'équipe de maîtrise d'œuvre a su rassurer et « *ce galet, lisse et comme recouvert*

d'une peau, d'une grande pureté », que souhaitait Monique Labbé, est bien sorti de terre. Entre les anciens fûts aériens d'une cinquantaine de mètres de haut, et datant de la fin des années 60, et l'ovoïde blanc qui se déploie aujourd'hui, le contraste est donc total. De plus, les performances attendues, une capacité moyenne de 4 700 m³/jour dont un pompage d'eau maximal de 1 100 m³/h, imposaient des dimensionnements conséquents.

Pour répondre à ces objectifs, tout en intégrant au maximum le projet, l'équipe de maîtrise d'œuvre a privilégié un bâtiment en deux zones distinctes, l'aérienne et la souterraine.

Un objet très complexe

En effet, il ne faut pas se fier au visible : la forme courbe, convexe et concave, mais aussi en larges débords, cache en fait une importante usine de surpression souterraine, située dans les entrailles de la bulle de béton. S'enfonçant à plus de 7 m, la salle des machines se présente comme une sorte de cuve oblongue de 23 m sur 13 m environ. Le site se trouvant à proximité de la nappe phréatique, la première étape a été l'étanchéification du

Chiffres clés

Béton projeté : 20 cm d'épaisseur

Coque : 360 points référencés et positionnés

périmètre de la cuve, à l'aide de palplanches. Ces palplanches ont par la suite servi de coffrage négatif pour le coulage des voiles béton (classe de résistance C30/37) d'une épaisseur de 50 cm. Le coffrage de la surface intérieure des voiles a été assuré par des panneaux de 7 m de hauteur.

L'ensemble de cette opération était délicat et technique, notamment en raison des conditions particulières du site : un milieu urbain habité en bordure immédiate d'une avenue très passante, sur une zone spatialement très contrainte, avec très peu d'aire de stockage pour le matériel et les intervenants.

Pour maintenir l'ensemble des voiles béton, plusieurs poutres-butons en béton (classe de résistance C25/30) de dimensions importantes ont été mises en place : la salle des machines étant avant tout un local technique, certaines poutres servent de support au matériel de levage pour les éléments des pompes, dont certains pèsent plusieurs centaines de kilos.

Les parois ont aussi une fonction structurelle pour le galet : elles reprennent en partie les charges des prémurs de la structure aérienne,

Maître d'ouvrage : SEDIF – **Maître d'œuvre** : BPR France ; Safege ; Egis Eau ; Les Ateliers Monique Labbé – **Contrôleur technique** : Socotec – **Coordinateur SPS** : Presents – **Entreprises** : Sogea IDF Génie Civil (mandataire) ; Sogea IDF Hydraulique ; PRS ; Cofely-Ineo ; Dodin IDF – **BET** : Ingérop – **Durée des travaux** : 25 mois – **Coût** : 7,3 M€ HT.



A



B

A _
 La station de pompage dans son environnement : contraste entre la rondeur du galet et les immeubles.

B _
 Vue de profil, partie émergée de la station de pompage réalisée en béton projeté.

•••

et les forces contraires dues aux porte-à-faux relativement importants. Le visible et l'invisible sont donc intimement liés.

Le galet, summum de précision et de calcul

« La complexité de l'ouvrage vient de sa forme absolument unique, non symétrique, non sphérique, dans laquelle chaque point est particulier », commente Dany El Sibai, directeur des travaux chez Sogea Île-de-France Génie Civil. La méthode choisie pour réaliser une forme aussi inédite s'est portée, après de nombreuses discussions des concepteurs et bureaux d'études, sur une coque en béton projeté double face. La coque devant bien sûr reproduire au millimètre l'objet dessiné par l'architecte.

La forme de galet, d'une superficie de 600 m² environ, a été esquissée puis modélisée à l'aide de logiciels 3D, avec surtout le calcul dans l'espace (X, Y, Z) d'un très grand nombre de points de la coque. C'est cette maquette numérique 3D qui a permis ensuite de calculer chaque point d'assise de la structure, toutes les données étant exploitées selon une démarche BIM, afin de servir de base à chaque étape de la conception pour l'ensemble des intervenants du chantier.

Pour supporter une telle structure, une dizaine de prémurs en partie arrondis, ou en forme de demi-lunes et mesurant jusqu'à 8 m de hauteur, pour 2 à 8 m de longueur, ont été spécialement fabriqués par l'entreprise KPI. Un véritable challenge pour le bureau d'études (Ingérop), le préfabricant, mais surtout pour les équipes chargées de leur mise en œuvre : les assises de certaines de ces pièces en béton étant les parties les plus étroites des prémurs. D'où « une instabilité au moment du grutage, mais surtout lors des positionnements sur le site », précise encore le directeur de travaux.

360 points à régler, en X, Y, Z

Une fois les différents prémurs implantés sur la dalle de couverture, la réalisation de la coque proprement dite a débuté... Mais « comment créer un coffrage pour réaliser une telle forme inhabituelle ? C'était vrai-

ment notre interrogation », se souvient Isabelle Radlak, du SEDIF. « Les études de conception ont d'ailleurs été assez longues, tout était à inventer, ou presque. »

Étape préliminaire au coffrage, un étaie-ment très particulier a été spécialement mis au point. Il est constitué d'une centaine de poteaux d'étaie, réglables en hauteur et terminés par une fourche. Chacune de ces fourches, mobile et réglable, a alors été précisément positionnée selon les coordonnées X, Y, Z, fournies par la modélisation 3D. Un travail d'orfèvre, qui a nécessité de nombreuses journées d'intervention. Une fois cette forêt de poteaux mise en place, y compris sur les côtés à cause des nombreux débords de la future coque, la mise en œuvre des armatures a pu débuter. « C'est le ferrailage qui fait la forme du bâtiment », souligne Dany El Sibai. Pour compliquer l'opération, deux nappes d'armatures ont été réalisées, séparées par un écarteur d'une dizaine de centimètres.

Une coque en béton projeté

La coque en béton armé, de 20 cm d'épaisseur, est donc constituée d'un « mille-feuille » : les deux nappes d'armatures, un lattis (sorte de filet très fin) métallique. Le lattis est fixé sur la nappe d'armatures, son rôle étant de maintenir le béton projeté. Sa souplesse lui permet d'épouser au mieux la forme particulière de la coque.

Le béton projeté a été mis en œuvre en trois phases pour le toit : une projection de béton par voie sèche, réalisée depuis l'intérieur de la coque sur une épaisseur de 13 cm, afin de remplir l'espace entre les deux nappes d'armatures ; puis une projection par voie sèche d'une couche de finition de 3 cm par-dessous, de l'intérieur, afin d'enrober le treillis inférieur, suivie d'une finition à la règle.

La troisième phase de la projection s'est déroulée depuis l'extérieur, sur le toit de la coque et les façades courbes, avec un béton projeté par voie humide et une finition manuelle à la taloche. Pour les façades, la méthode employée était relativement similaire, mais la projection de béton par voie sèche sur 12 cm d'épaisseur s'est faite par l'ex-

térieur, suivie d'une projection depuis l'intérieur sur 3 cm ; troisième phase, la projection d'un béton par voie humide depuis l'extérieur, de 4 cm, finie à la taloche.

C'est donc un process très complexe, technique et exigeant une très grande patience de la part des deux équipes de trois personnes (projeteur, aide-projeteur, centraliste et 3 ouvriers qualifiés pour le talochage) déployées tout au long de cette opération extrêmement délicate, « une première », comme le souligne Dany El Sibai.

Dix semaines ont été nécessaires pour réaliser le béton projeté de la coque, sans compter les 35 jours pour le talochage des deux faces. La partie en sous-coque, accueillant des locaux électriques ou techniques, devait aussi répondre à des règles d'isolation. Ainsi, une sorte de flochage permettant une isolation thermique/acoustique et coupe-feu a été projetée côté intérieur, avant une couche de finition d'enduit, elle aussi projetée et talochée à la main !

Le béton de la coque n'étant pas suffisamment imperméable, il a été recouvert en début d'été, lorsque les températures étaient plus douces, et la météo plus stable, d'une résine d'une épaisseur de 2 mm, projetée au pistolet, avec une peinture de finition blanche.

Le béton se niche dans les détails

Pour ceindre l'espace extérieur qui sera planté d'arbres de hautes tiges et d'arbustes, Monique Labbé a imaginé une fine clôture constituée d'un muret de béton de forme trapézoïdale, très intégré, servant d'assise à un barriérage constitué d'une multitude de barreaux verticaux non symétriques et laissant passer le regard ; cela donnera un peu de verticalité à cet espace si curviligne. ■

Béton projeté par voie sèche :
GUNISEC 40

Béton projeté par voie humide :
GUNIDROFIN 30₁

Fournisseur des bétons : Socli



C ___
Prémurs arrondis en béton, d'une hauteur de 8 m épousant la coque en béton.

D ___
Vue aérienne : la forme totalement asymétrique et complexe de la coque est clairement visible.



E ___
Le grain de la structure : une résine imperméabilisante de 2 mm, projetée au pistolet.

F ___
Ferraillage de la coque en béton armé. Après la projection par l'intérieur, la projection par voie humide par l'extérieur peut débuter.



G ___
L'ensemble de la coque, en béton armé de 20 cm d'épaisseur, est finie manuellement à la taloche.

SEINE-ET-MARNE

PASSE À POISSONS ET CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

Imposées par la loi Grenelle 1, les passes à poissons rétablissent la continuité écologique permettant « la libre circulation des organismes vivants ».

TEXTE : DELPHINE DÉSVEAUX – REPORTAGE PHOTOS : VOIES NAVIGABLES DE FRANCE (VNF)

L'ancien barrage de Vives-Eaux (1928) en Seine-et-Marne ne répondant plus aux exigences de sécurité, Voies navigables de France (VNF) a commandité un nouveau barrage automatisé qui garantit la sécurité et la navigation fluviale toute l'année. Comme l'impose la loi Grenelle 1* sur le rétablissement des continuités écologiques, le programme prévoit une passe à poissons qui permet aux adultes de remonter le courant, notamment pour pondre dans des frayères, et aux jeunes de descendre en aval.

Le principe consiste à attirer les migrateurs par un débit d'attrait qui oxygène l'eau, puis à les inciter à passer en amont en ouvrant une voie d'eau artificielle. « Les équipements sont adaptés aux caractéristiques de chaque espèce, l'idée globale étant qu'un poisson migrateur puisse aller de la source jusqu'à l'embouchure », explique Christine Rivoal,

* L'article R. 214-109 du code de l'environnement stipule qu'il faut permettre « la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques ».

Maître d'ouvrage et exploitant : Voies navigables de France (VNF) – **Maître d'œuvre :** Artelia Eau et Environnement ; Luc Weizmann Architecte – **Réalisation :** EMCC (travaux fluviaux) ; GTM TP IdF (Génie Civil) ; Demathieu et Bard (Génie Civil) ; Rouby (passe à poissons) – **Bureau d'études :** Ingénierie des structures et des chantiers (Vinci Construction France) – **Coût :** 40 M€ HT.

Chiffres clés

Longueur : 65 m

Largeur : 3 m

Dénivelé : 2,2 m

12 bassins : 4 m de long, 3 m de large

Volume de béton C35/45 : 1 200 m³

chef d'unité Études et Grands Travaux n° 1 chez VNF. « Sur la Seine, tous les barrages entre Suresnes et la Manche – Poses, Notre-Dame-de-la-Garenne, Méricourt, Andrézy, Chatou, Suresnes – sont désormais équipés de passes à poissons. »

La passe à poissons du barrage de Vives-Eaux

L'ouvrage s'insère le long de la rive droite et permet de franchir un dénivelé de 2,2 m, grâce à 12 bassins (4 m x 3 m), selon le principe des passes à poissons à chambres successives : la hauteur du franchissement est divisée en plusieurs paliers formant une série de bassins en béton tapissés de rochers. Deux dalots

gérés par des vannes automatisées à l'amont et à l'aval permettent de réguler le flux afin de maintenir constamment le débit d'attrait de 5 m³/s. Pour conserver une unité esthétique, le béton utilisé est le même que celui du barrage. Le courant et la hauteur de l'ouvrage ainsi fracturés, les poissons peuvent remonter par un passage longitudinal (pente d'environ 5 %) entre les parois des bassins. « La morphologie du parcours a été étudiée pour s'adapter aux capacités de nage des espèces, en l'occurrence des anguilles et des aloses, mais également pour les lamproies et les truites saumonées que l'on souhaiterait voir revenir. » ■

Le mot de Luc Weizmann, architecte des barrages de Chatou et de Vives-Eaux

« En tant qu'ouvrages rétablissant la continuité écologique des fleuves et des rivières, les passes à poissons jouent un rôle essentiel sur le plan environnemental. Bien que très discrètes quant à leur insertion paysagère, elles sont particulièrement contraignantes et complexes, leur conception étant en interface étroite avec le dessin des berges et des culées des barrages. Leur mise en œuvre en infrastructure, très morcelée, est d'une grande difficulté du fait de l'exiguïté des espaces disponibles et de la précision demandée par leur fonction. »



A __
 Vue du nouveau barrage de Vives-Eaux et de la passerelle accessible au public.



B, C __
 Passes à poissons à chambres successives dans les barrages de Vives-Eaux (B) et Chatou (C).

ISSY-LES-MOULINEAUX

MAÎTRISER LES RISQUES D'INONDATION

Enterré sous un stade, le bassin de stockage d'Issy-les-Moulineaux recueille temporairement les eaux pluviales pour maîtriser les débordements sur la chaussée et limiter les rejets en Seine.

TEXTE : DELPHINE DÉSVEAUX – REPORTAGE PHOTOS : DELPHINE DÉSVEAUX ; DIDIER LAPLANCHE ; QUATREVIINGTDOUZE

Le caractère exceptionnel de certains événements pluvieux entraîne des risques d'inondation par débordement des réseaux d'assainissement qui sont dimensionnés pour un débit courant, ainsi que le déversement non contrôlé de ces volumes d'eaux polluées dans les fleuves. Des solutions tampons sont aménagées pour écrêter les excès, afin de prévenir les risques d'inondation et éviter l'engorgement des canalisations ainsi que celui des équipements de traitement.

Protection de l'environnement

À Issy-les-Moulineaux (92), les habitants des rues Charlot et Gouverneur Éboué se souviennent encore des inondations de 2001. À la suite d'importantes précipitations, les réseaux d'assainissement, saturés, avaient laissé s'échapper des flots d'eau. À cela deux causes : Issy-les-Moulineaux est située au point bas d'un bassin versant et les réseaux d'assainissement sont unitaires, c'est-à-dire qu'ils recueillent à la fois les eaux usées et les eaux pluviales. Pour éviter que ne se

reproduise ce genre de désagréments, le conseil départemental des Hauts-de-Seine a décidé de construire un bassin de stockage-restitution qui collecte temporairement le trop-plein d'eau pendant la durée d'épisodes pluvieux intenses avant de le restituer par débit contrôlé dans le réseau. La construction de l'équipement répond au triple cadre réglementaire de la Directive européenne (1991) relative au traitement des eaux résiduaires urbaines, de la loi française sur l'eau (1992) garantissant la gestion équilibrée des ressources en eau « patrimoine commun de la nation », et de la Directive Cadre sur l'Eau (2000) pour un « bon état écologique » des eaux. « *C'est en principe aux communes de maîtriser les ruissellements et le traitement des eaux pluviales* », rappelle Sylvie Driollet, adjointe à la directrice de l'Eau des Hauts-de-Seine. « *Mais dans la région parisienne et les départements de la Petite Couronne, la collecte des eaux usées et pluviales est une compétence communale, le transport relève du conseil départemental et le traitement est assuré par le SIAAP.* »

Chiffres clés

Bassin de stockage : 25 m de profondeur, 40 m de diamètre

Parois moulées : jusqu'à 38 m de profondeur

Capacité de stockage : 23 400 m³

Volume total des déblais : 45 000 m³

Volume de béton : 11 000 m³

Discretion absolue

Le réservoir-tampon prend logiquement place dans un endroit stratégique, au point bas du bassin versant compris entre Issy-les-Moulineaux et Vanves. Mais son emplacement n'est pas commun : en raison du tissu urbain très dense, il vient se loger sous le stade Gabriel Voisin, « vide » urbain propice à l'intégration souterraine d'un tel volume. Complètement enterré sous l'équipement sportif, qui sera refait à neuf à l'issue des travaux, l'ouvrage a une profondeur utile de 25 m et un diamètre intérieur de 40 m. Sa capacité de 23 400 m³ – l'un des plus grands d'Île-de-France – est dimensionnée pour un pic de pluie décennal qui s'élève à 15 m³/s. Ainsi, malgré son gigantisme, le réservoir-tampon sera invisible.

« *Il s'agit d'un vaste conteneur en béton, vide, construit dans la profondeur du sous-sol et destiné à recevoir les excédents*

Maître d'ouvrage : conseil départemental des Hauts-de-Seine – **Maître d'œuvre** : Safège, Artélia, Ligne Dau – **Groupeur d'entreprises (bassin)** : Razel-Bec (Génie Civil) ; Sefi-Intrafor (fondations et parois moulées) ; Coteg (terrassements et dépollution des sols) – **Fournisseurs béton** : Unibéton (parois moulées) ; Lafarge (Génie Civil, structure) ; Cemex (radier) ; bétons de classe d'exposition XA2 et XA3 – **Coût** : 31 M€ HT.



A
Les parois
moulées ont
permis de
stabiliser
le terrain.



B
Avec 25 m
de profondeur
et 40 m de
diamètre,
la capacité du
bassin est de
23 400 m³.

C
900 m³ de
béton coulé
en un seul jour
pour réaliser
le radier.

D
12 barrettes
portent
les poutres,
supports de
la couverture
en béton.



E
Deux vortex
amortissent
la chute de
l'eau au fond
du bassin
pour ne pas
endommager
le radier.

•••

d'eau qui, s'ils n'étaient pas pris en compte, déborderaient sur la voirie », explique Didier Laplanche, chargé d'opérations à la direction de l'Eau du conseil départemental 92. Pour les « petites pluies » qui ne présentent pas de risque d'inondation, l'utilisation partielle et contrôlée du bassin permettra de réduire d'environ 40 % les volumes annuels rejetés dans la Seine par les déversoirs du secteur d'Issy-les-Moulineaux.

Fonctionnement autonome

Le bassin est relié à deux collecteurs existants. Le premier, tout proche, *via* une canalisation. Le raccordement au second, plus éloigné (160 m), se fait au moyen d'une conduite creusée par un microtunnelier. Les eaux recueillies se déversent progressivement dans le bassin en passant par un vortex, sorte de coquille d'escargot en béton dont la forme circulaire amortit la chute de l'eau au fond du bassin pour ne pas endommager le radier. Les pompes qui récoltent les trop-pleins d'eau se déclenchent et s'arrêtent automatiquement grâce à des capteurs. Dix augets basculants déversent en fin de vidange des « vagues » de 8 à 10 m³ qui nettoient le radier. Une fois l'épisode pluvieux terminé, lorsque les flux ont retrouvé un cours normal, les eaux sont progressivement restituées – à

débit maîtrisé – dans le réseau d'assainissement départemental puis traitées dans les stations d'épuration du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP). À terme, l'activité du bassin sera mesurée et transmise au centre de pilotage technique GAIA (gestion assistée par informatique de l'assainissement) qui gère l'ensemble du réseau d'assainissement départemental. Ces données, une fois traitées, servent à suivre le fonctionnement du réseau en continu.

Omniprésence du béton

Les travaux se sont déroulés en quatre phases. Après les fouilles archéologiques, a commencé le creusement des parois moulées (38 m de profondeur) afin de stabiliser le terrain. En parallèle, sont réalisées les deux canalisations de raccordement entre les collecteurs et le réservoir. La plus courte (12 m) est creusée en tranchée ouverte (tuyaux à collettes, 2 m de diamètre) tandis que la seconde (160 m), en raison de la densité du bâti, est réalisée au moyen d'un microtunnelier selon la technique du fonçage : piloté à distance depuis la surface, le microtunnelier excave le terrain au fur et à mesure de sa progression en suivant un rayon de courbure de 300 m. Les 54 éléments en béton armé (3 m de long,

2 m de diamètre) sont introduits les uns après les autres dans un puits avant d'être poussés par des vérins hydrauliques. Pour assurer la maintenance, deux regards d'accès, des modules rectangulaires préfabriqués en béton, sont implantés le long de cette canalisation.

Le terrassement du bassin s'est déroulé en deux temps : d'abord une première excavation jusqu'à 15 m de profondeur, puis une seconde phase de terrassement pour creuser le bassin jusqu'à sa profondeur maximale (25 m), représentant 45 000 m³ de déblais. La présence de la nappe à 5 m de profondeur dans le terrain naturel a imposé des fondations à l'aide de 170 micropieux (20 à 30 m de longueur, 20 ou 25 cm de diamètre) qui s'ancrent directement dans le radier : 900 m³ de béton coulé en une fois, un samedi, seul jour compatible pour mobiliser une trentaine de compagnons, plusieurs toupies et deux centrales à béton. 12 barrettes ont ensuite été coulées. Elles correspondent aux poteaux de la structure en béton qui porteront les poutres longitudinales et transversales, supports de la couverture en béton constituée d'une dalle coulée en place sur des prédalles.

La direction de l'Eau des Hauts-de-Seine étant certifiée ISO 14001 et compte tenu de la proximité des habitations, les entreprises se sont vu imposer des mesures environnementales drastiques afin de réduire les nuisances du chantier : horaires de travail modulés, adaptation du matériel, contrôle du niveau sonore, arrosage pour limiter la poussière, stationnement des camions dans le stade, laveur de roues à la sortie, système de surveillance topographique en temps réel pour veiller aux éventuels mouvements des bâtiments environnants, délimitation du chantier...

À l'orée de 2018, le stade Gabriel Voisin, après avoir été entièrement reconstruit sur le bassin, retrouvera sa vocation initiale. Sur le sol du stade seront tour à tour posés une couche (50 cm) d'agrégats de différentes granulométries, un revêtement fibré, du sable et des fragments de pneus recyclés et concassés pour assouplir le sol. ■

Synergie locale

La réalisation de ce chantier est le fruit d'un partenariat entre plusieurs collectivités : l'établissement public territorial Grand Paris Seine Ouest (GPSO) est gestionnaire de l'équipement sportif ; la ville d'Issy-les-Moulineaux est propriétaire du terrain ; l'Agence de l'eau Seine-Normandie co-finance le projet ; la maîtrise d'ouvrage est assurée par le conseil départemental, dont le patrimoine comprend 625 km de réseau, 38 stations de pompage, 4 collecteurs de stockage de grand diamètre et 6 bassins de rétention enterrés.

À la fois vice-président du conseil départemental et premier adjoint à la ville d'Issy-les-Moulineaux, Paul Sublini a souhaité accompagner les riverains pour valoriser l'intérêt général de ce chantier : organisation de visites, réalisation et visionnage d'un film pédagogique, réunion publique d'information en 2015 pour présenter aux riverains les travaux entrepris et leurs modalités d'exécution, information continue sur le site internet du département, de la ville et dans le journal municipal...

LA LANGUE DES SIGNES FRANÇAISE AU SERVICE DU GÉNIE CIVIL

En 2013, un étudiant s'exprimant en Langue des Signes Française (LSF) intègre l'INSA de Toulouse, département Génie Civil. Pour faciliter l'acquisition des compétences de ce futur ingénieur, un nouveau lexique technique de Génie Civil en LSF est créé.

TEXTE : SYLVIE ROMAN – PHOTO : PATRICK GUIRAUD

Cyril Claudet, étudiant sourd signant (communiquant à l'aide de la langue des signes), intègre en 2013 la première année de l'INSA (Institut National des Sciences Appliquées) de Toulouse, école d'ingénieurs en 5 ans post-bac. « Pour mes études, l'aide d'interprètes en langue des signes est primordiale, explique-t-il, d'autant que les matières sont très techniques. Aussi, sans cette aide, je n'aurais pas pu suivre les cours, ni me faire comprendre de mes professeurs dans mes demandes. »

Cependant, au fur et à mesure de l'avancée dans son cursus d'étudiant, les notions abordées devenant de plus en plus techniques, souvent les équivalences et traductions en langue des signes n'existaient pas, ou étaient intraduisibles. D'où, en troisième année, quelques difficultés pour continuer à suivre pleinement son cursus d'ingénieur. « J'avais des questions qui restaient sans réponse, car nous avions du mal à nous comprendre, les termes étant trop techniques », se souvient l'étudiant.

À l'époque, en effet, aucune traduction pour de nombreuses terminologies scientifiques et caractéristiques, par exemple, de la résistance des matériaux : comme action-réaction, ou contrainte, ou même module d'Young, ni pour des termes plus spécifiques au béton armé, comme adhérence ou bielles de compression et même ferrailage... « Pendant mes deux premières années, j'ai essayé de travailler avec les interprètes qui m'accompagnaient afin d'inventer des signes, mais sans succès, car c'était très complexe », poursuit-il.



Aussi, un projet de recherche pour la constitution d'un lexique en Langue des Signes Française dédié au Génie Civil prend-il forme à la rentrée 2015, afin de répondre aux interrogations et attentes de l'étudiant, avec l'idée de le diffuser au plus grand nombre pour amener davantage d'étudiants à des cursus universitaires.

Ouvrir la voie à d'autres étudiants

Ce projet* fédère l'INSA, Nathalie Domède, enseignante-chercheuse référente du projet, des interprètes de la société Interpretis, Cyril Claudet, avec le soutien appuyé de deux groupes, CGI et SII, mécènes de la Fondation INSA de Toulouse, dans le cadre de la chaire « Handicap et Diversité ». Cette chaire a en effet pour missions de favoriser l'accès à l'enseignement supérieur des élèves en situation de handicap et d'accompagner les étudiants de l'INSA pendant leur cursus, mais aussi de favoriser la diversité au sein des entreprises.

« Aujourd'hui, une cinquantaine d'occurrences sont traduites en LSF, avec la réalisation de vidéos explicatives, mises en ligne sur un site linguistique et sur le site de l'INSA de Toulouse », explique Nathalie Domède. Le nouveau lexique de signes se décline dans quatre domaines, qui reflètent les études suivies par Cyril Claudet : résistance des matériaux, béton armé et précontraint, chauffage et conditionnement de l'air. Chacun des domaines étant lui-même subdivisé, afin d'embrasser le champ le plus étendu possible, et rendre compréhensibles ces termes scientifiques. « Ce travail sur la formalisation de nouveaux signes m'a permis de mieux comprendre les cours, d'interroger et me faire comprendre de mes professeurs, et surtout, d'avoir les réponses à mes interrogations. Ça a été un soulagement ! », souligne encore Cyril Claudet. La nouvelle bibliothèque de signes reflète le cheminement universitaire de Cyril Claudet, qui entame à présent une spécialisation dans le génie climatique, ce qui va se traduire par un enrichissement du vocabulaire signant. « Ce travail est illimité ou presque, car je continuerai ce projet avec l'INSA, tout au long de mes études, puis lorsque je serai dans la vie professionnelle, je pense continuer à traduire des termes scientifiques. J'espère surtout que ce projet aura ouvert la voie à d'autres étudiants pour qu'ils se lancent dans des études scientifiques. » ■

* <http://www.insa-toulouse.fr/fr/formation/glossaire-gc-en-lsf.html>

40th IABSE Symposium – Nantes 2018

**Du 19 au 21 septembre 2018
à la Cité des congrès de Nantes**

L'IABSE (*International Association for Bridge and Structural Engineering*) est une association scientifique qui regroupe 4 000 adhérents dans une centaine de pays et 50 groupes nationaux dans le monde. La mission de l'association est de promouvoir, dans le monde entier, l'échange des connaissances et le développement des techniques du génie des structures, au service de la profession et de la société. Elle tiendra son 40^e Symposium sur le thème « *Tomorrow's Megastructures* » du 19 au 21 septembre 2018 à la Cité des congrès de Nantes. Au cours de ce symposium, consultants, chercheurs, ingénieurs de structures, praticiens du monde entier sont invités à échanger leurs expériences sur les mégastructures contemporaines et à présenter leurs visions des mégastructures de demain, ainsi que leurs visions des structures exceptionnelles du futur. Ces journées seront également pour les participants l'occasion d'échanger idées et expériences sur le design structurel, la construction et la maintenance de ce type d'ouvrages.

Pour plus d'informations, visitez le site : www.iabse.org/Nantes2018
Ou contactez : info@iabse-nantes2018.org

UHPFRC 2017

**3^e symposium international
sur les applications des Bétons Fibrés
à Ultra hautes Performances**

**Du 2 au 4 octobre 2017
au centre de congrès « Le Corum »
de Montpellier**

Le symposium international UHPFRC 2017 est le troisième événement scientifique majeur organisé en France sur les applications des Bétons Fibrés à Ultra hautes Performances (BFUP, en anglais *UHPFRC*). Le symposium s'intitule « Concevoir et construire en BFUP : nouvelles applications à grande échelle, avancées techniques, expérience acquise et normalisation ». Il permettra notamment de relier l'expérience des réalisations récentes, des dernières recherches et les normes parues en France en 2016 (premières normes complètes au niveau mondial sur cette gamme de matériaux). Le programme comprend, en parallèle d'une exposition technique, deux sessions totalisant 110 présentations sélectionnées et validées par un comité scientifique international. Ces présentations témoigneront de l'essor des BFUP en France et à l'international. UHPFRC 2017 est organisé par l'Association Française de Génie Civil (AFGC) avec le soutien de la fédération internationale du béton (fib), de la Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux de construction, systèmes et des structures (RILEM) et de l'Institut américain du béton (ACI).

Contact organisation : afgc@enpc.fr – Contact programme scientifique : francois.toutlemonde@ifsttar.fr

Appel aux dons

**POUR LA RESTAURATION
DU VIADUC DE CAROUL À ERQUY**



Le viaduc de Caroual est un ouvrage d'art de la ligne départementale de chemin de fer reliant Saint-Brieuc à Saint-Briac, réalisé entre 1913 et 1916 par l'ingénieur briochin

des Ponts et Chaussées, Harel de la Noë. D'une longueur totale de 109,25 m, hauteur maximale 17,50 m, largeur utile 4,22 m, il comprend un arc central de 45 m de portée et est constitué de maçonnerie en grès rose local et de béton armé. Il a été inscrit au titre des Monuments Historiques par arrêté préfectoral du 3 mars 2014. Un siècle après son édification, cet ouvrage a subi l'usure du temps et il convient d'entreprendre rapidement des réparations. La ville d'Erquy et l'association des Amis du viaduc de Caroual, avec le soutien de la Fondation du patrimoine, ont lancé une campagne d'appel aux dons.
www.fondation-patrimoine.org/43986.

PUBLICATIONS CIMBÉTON

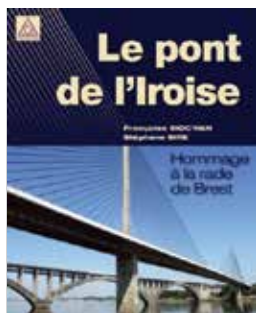


LES FONDATIONS SPÉCIALES

Les travaux de fondations spéciales regroupent de nombreux procédés et techniques destinés à la réalisation de fondations d'ouvrages de Génie Civil, de bâtiments et d'infrastructures routières, autoroutières et ferroviaires, d'excavation, de soutènement et de consolidation de sol. Les techniques de fondations spéciales nécessitent l'utilisation de matériaux à base de ciment, en particulier sous forme de coulis ou de bétons. Elles peuvent être regroupées en cinq principales familles :

- Fondations profondes
- Injection des sols
- Parois moulées
- Écrans étanches
- Jet grouting.

Réf. SB-OA 2016-1

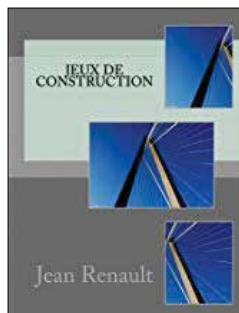


LE PONT DE L'IROISE Hommage à la rade de Brest

FRANÇOISE SIOC'HAN ET STÉPHANE SIRE

Le pont de l'Iroise s'inscrit dans l'histoire mondiale des ponts à haubans. Son architecture, son élégance et son insertion dans un site classé lui ont valu l'attribution du prix national des Rubans d'or en 1995. Il a été édifié par des équipes de bâtisseurs passionnées, la direction départementale de l'Équipement du Finistère et le groupement d'entreprises Razel, Demathieu et Bard, Pico. Le livre décrit les technologies innovantes mises en œuvre, de la conception du pont à sa mise en service.

Presses des Ponts



JEUX DE CONSTRUCTION

JEAN RENAULT

« Après avoir baigné plus de trente ans dans le monde de la construction, je souhaite faire découvrir l'aventure humaine et les ressorts intimes et largement méconnus qui se cachent derrière des réalisations souvent spectaculaires. La forme théâtrale, plus concise, plus vive, surprendra peut-être, mais elle m'a paru mieux adaptée au sujet », précise Jean Renault.

Les textes de ce livre relatent la construction de grands ouvrages par les entreprises françaises, au cours des années 70 et 80, à travers le monde.

Disponible sur Amazon.fr



INTERACTIONS MATÉRIAUX- MICROORGANISMES

Bétons et métaux plus résistants à la biodétérioration

CHRISTINE LORS, FRANÇOISE FEUGEAS,
BERNARD TRIBOLLET

Cet ouvrage pluridisciplinaire est le fruit d'un travail collectif synthétisant les présentations effectuées lors de l'école CNRS « BIODEMAT », qui a eu lieu en octobre 2014 à La Rochelle sous l'égide du CEFRACOR. Il se décompose en cinq thèmes relatifs à la biocolonisation puis à la biodétérioration des matériaux et enfin à leurs améliorations possibles pour obtenir une meilleure performance vis-à-vis de la biodétérioration.

EDP Sciences – Collection : Science des matériaux



LES OUVRAGES EN BÉTON EN SITE MARITIME

Les bétons sont utilisés pour la réalisation de très nombreux ouvrages ou structures situés en site

maritime qui participent à l'aménagement des infrastructures et installations portuaires de pêche ou de commerce, des bassins, des terminaux à conteneurs, des terminaux céréaliers, des bases nautiques, des ouvrages de protection et de défense des côtes (épis, brise-lames), de protection des ports (digues, jetées), des ouvrages de mise à l'eau de navires ou de construction navale, des quais et appontements pour le chargement et le déchargement...

Réf. SB-OA 2016-2



LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SURFACES URBAINES

Les revêtements drainants en béton

Pour lutter efficacement contre l'imperméabilisa-

tion des sols, ce guide se propose de répondre à quatre questions : comment lutter contre l'imperméabilisation des sols, concevoir et dimensionner des ouvrages adaptés, réaliser et contrôler et enfin entretenir les structures ? Il fournit la riche palette de solutions disponibles, et en particulier celles basées sur l'infiltration et le stockage, et donne un inventaire détaillé de l'offre béton (bétons coulés en place et produits préfabriqués).



GÉNIE CIVIL GUIDE DES SOLUTIONS EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ

L'industrie des produits préfabriqués en béton occupe depuis plusieurs décennies une position grandissante

dans le monde du Génie Civil bâtie sur sa notoriété et son savoir-faire ainsi que sur la pertinence des solutions constructives proposées.

Ce guide édité par la Fédération de l'Industrie du Béton en partenariat avec CIMbéton et le CERIB est à destination de tous les acteurs du monde du Génie Civil. Il dresse un état de l'art des solutions en béton préfabriqué et de leurs multiples atouts. La diversité des exemples traités laisse entrevoir tout leur potentiel d'évolution et d'adaptabilité.



Viaduc du Littoral : La Réunion
Photographe : Sébastien Marchal