

CONSTRUCTION

MODERNE

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2014



ÉDITO

Nous ignorons ce que sera demain, mais il est certain qu'il sera très différent d'aujourd'hui. Nous sommes dans une période de mutation et de transition, et ce qui apparaît comme des « crises » est en fait l'expression du changement. Mais l'avenir nous appartient ! Plus que jamais, l'innovation construira le monde qui est en train de naître.

Le béton a accompagné le xx^e siècle et a grandement participé à l'amélioration du bien-être d'une partie de l'humanité. Il appartient maintenant aux professionnels du béton de faire un choix audacieux et décisif : soit continuer à raisonner comme au siècle dernier en espérant le retour des Trente Glorieuses, soit participer à la création d'un autre modèle de croissance du bien-être, compatible avec le fonctionnement des écosystèmes, sur de nouvelles voies de création de valeur. Les éléments qui peuvent apparaître comme des contraintes, en particulier les aspects sociaux et écologiques, sont avant tout des leviers d'innovation incitant à réfléchir différemment. La décroissance n'est ni une fatalité, ni un choix : ce sera simplement la conséquence de notre incapacité à évoluer et à nous adapter, ce qui pourrait remettre en cause les acquis du siècle dernier. Au contraire, pour ne pas subir de décroissance, nous sommes appelés à coopérer avec le monde vivant pour une alliance bénéfique entre l'humanité et la biosphère. Science et technologie ont pour vocation à retrouver une compatibilité avec les écosystèmes. C'est le défi exaltant qui est posé aujourd'hui aux professionnels du béton pour bâtir l'avenir.

Patrice Valantin

Président de l'Union Professionnelle du Génie Écologique



← **Couverture • Pont de la République** – Architecte, Rudy Ricciotti.
Photo : Lisa Ricciotti



7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10

• E-mail : centrinfo@cimbeton.net •
• internet : www.infociments.fr •

Directeur de la publication : François Redron • **Directeur de la rédaction** : Patrick Guiraud •
Rédacteur en chef : Norbert Laurent • **Rédacteur en chef adjoint** : Clothilde Laute •
Conception, rédaction et réalisation : Two & Two Paris • **Directrice artistique** : Sylvie Conchon • Pour tout renseignement concernant la rédaction, tél. : 01.55.23.01.00 • La revue *Construction Moderne* est consultable sur www.infociments.fr • Pour les abonnements, envoyer un fax au 01.55.23.01.10 ou un e-mail à centrinfo@cimbeton.net

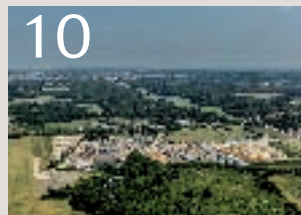
SOMMAIRE – **Annuel Ouvrages d'art** – Édition 2014



01
LGV Bretagne – Pays de la Loire – Le Mans (72) et Rennes (35)



06
Pont de la République – Montpellier (34)



10
STEP « Carré de Réunion » – Saint-Cyr-l'École et Bailly (78)



23
Estacade de la Folie LGV SEA – Poitiers (86)



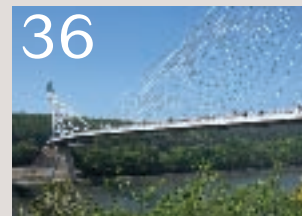
26
Regards croisés : Dominique Bidou et Patrice Valantin



29
Axe autoroutier A 150 – Barentin – Villiers-Écalles (76)



32
Dialogue : Jacques Godfrain et Christian Tridon



36
La recherche et l'innovation récompensées



15 Les adjuvants : pour des bétons à l'épreuve des chantiers et du temps



L'Ouest gagné par la grande vitesse

Acte majeur d'aménagement durable du territoire, la Ligne à Grande Vitesse Bretagne – Pays de la Loire entre Le Mans et Rennes entrera en service mi-2017. Si son linéaire ne touche pas d'importants sites sensibles, ses concepteurs ont néanmoins pris le maximum de précautions pour la rendre « transparente » vis-à-vis de l'eau, des risques de crues, de la libre circulation de la petite et de la grande faune. Renards, blaireaux, grenouilles et autres petits animaux trouveront une échappatoire grâce à la multitude de dalots, ouvrages hydrauliques et crapauducs en béton répartis tout au long du tracé.

Texte : Michel Barberon



→ 1 • Double vocation pour cet ouvrage : voirie agricole et passage grande faune. 2 • Fossé en cours de bétonnage le long de la plate-forme ferroviaire.

C'est le prolongement naturel de la branche ouest de la Ligne à Grande Vitesse Atlantique en service depuis 1989. Grâce aux 182 km en construction entre Connerré, près du Mans, et Rennes qui seront parcourus à 320 km/h, dès mi-2017, cette dernière sera à un peu moins d'une heure et demie de Paris, soit un gain de 37 minutes. Le trajet jusque Laval sera réduit quant à lui d'une vingtaine de minutes. Avec les lourds investissements engagés sur les axes ferroviaires classiques bretons et ligériens, Brest et Quimper seront à 3 h 08 de la capitale. Angers et Nantes y gagneront 8 minutes... Dénommée Bretagne – Pays de la Loire, ou BPL, cette ligne nouvelle fait l'objet d'un Partenariat Public-Privé (PPP) confié par Réseau Ferré de France (RFF) à

Eiffage Rail Express (ERE). À charge pour cette filiale d'Eiffage de concevoir, construire, financer 3 milliards d'euros correspondant au montant du contrat (les 400 millions restants étant investis par RFF pour la réalisation des jonctions avec le réseau classique), et enfin, d'assurer la maintenance de la ligne jusqu'en 2036.

ACCORD VOLONTAIRE ENVIRONNEMENTAL

RFF et ERE, sociétés pour qui le Développement Durable constitue un axe stratégique, ont signé en mars 2013 un accord volontaire environnemental avec des objectifs dépassant largement les obligations réglementaires imposées ou les dispositions contractuelles. Ils impliquent la promotion d'actions de restauration des services écosystémiques des territoires proches de la ligne, la mise en place d'une politique d'achats responsables, la proposition d'un référentiel de Développement Durable avec création de l'observatoire socio-économique et environnemental qui favorise les retours d'expérience. Enfin, une réduction de l'empreinte carbone du projet avec la création du « fonds d'arbitrage carbone », doté

d'un budget de 6 millions d'euros, qui permet de promouvoir, en phase conception et réalisation, des solutions techniques moins émissives de gaz à effet de serre, en finançant les surcoûts induits par ces solutions dès lors qu'elles sont plus chères. L'accord volontaire prévoit aussi la mise en œuvre d'un programme opérationnel destiné à l'entretien, la restauration et la gestion des écosystèmes impliquant les gestionnaires, les propriétaires et les acteurs locaux. Créer une infrastructure linéaire d'une telle ampleur, qui représente une emprise totale de 2 200 ha, n'est pas neutre vis-à-vis de l'environnement. Le maximum de précautions doit donc être déployé pour en minimiser les incidences et mettre en application la logique du Grenelle de l'environnement consistant à éviter, réduire, compenser.

Pour les constructeurs, l'objectif premier consiste à inventorier les territoires à traverser et les impacts du projet. Une chance sur BPL, surtout initiée par les concertations menées très en amont par RFF, la future ligne ne touche aucun site Natura 2000 et aucune zone naturelle d'intérêt floristique et faunistique (ZNIEFF). Ce qui

explique en partie son tracé plutôt... galbé. « *Lorsqu'un espace et une situation sont bien connus, que l'on travaille avec les services de l'État suffisamment tôt, il est possible de faire des adaptations à moindre coût et qui vont dans le sens des différentes dimensions recherchées, qu'elles soient économiques, environnementales ou humaines. Il s'agit d'essayer de trouver un juste milieu et le fait d'anticiper simplifie beaucoup la réalisation* », explique Bruno Becker, directeur des Conformités et du Développement Durable au sein de l'entité CLERE (Construction de la ligne Eiffage Rail Express).

Pour le groupe de BTP, le retour d'expérience de la récente autoroute Pau – Langon (A 65) a constitué une

Calendrier

Fin 2012-été 2015 : terrassements et Génie Civil

Automne 2014-été 2016 : équipements ferroviaires (voies, signalisation...)

Automne 2016 : fin des travaux

Été 2017 : mise en service de la ligne

Chiffres clés

Longueur de la LGV : **182 km**

Longueur des raccordements : **32 km**

Déblais : **26 millions de m³**

Remblais : **19 millions de m³**

Dépôts : **10 millions de m³**

Volume global béton ouvrages d'art (hors voûtes et opti-cadres) : **145 000 m³**



→ 3 • À l'approche de Rennes, le saut-de-mouton va raccorder la LGV à la ligne classique. 4 • Non loin de Laval, l'estacade du Vicoïn, longue de 258 m.

bonne école. Notamment avec les dispositions européennes sur la faune et la biodiversité que la France a traduites dans sa législation en 2006, auxquelles se sont ajoutées en 2007 celles du Grenelle de l'environnement. Et pour corser un peu plus le tout, ce projet autoroutier rencontrait de farouches oppositions. Alors qu'ici la ligne nouvelle, qui traverse les départements d'Ille-et-Vilaine, de la Mayenne, de la Sarthe et concerne 57 communes, fait plutôt l'unanimité et est même attendue avec une certaine impatience.

PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ

Outre la création des classiques ponts-routes et ponts-rails nécessaires aux rétablissements des routes et des lignes ferroviaires croisées, deux grands thèmes sont à prendre en considération. D'une part, la biodiversité avec les impacts d'un tel projet sur la faune et la flore suivis par la commission du Conseil National de la Protection de la Nature (CNP), d'autre part, celui de l'eau. « Nous avons obtenu un avis favorable dès le premier passage des dossiers faune et flore devant le jury du CNPN et les

services de l'État ont salué l'excellence du dossier loi sur l'eau qui comptait pas moins de 8 000 pages », précise Frédérique Alary, responsable Communication sur le projet.

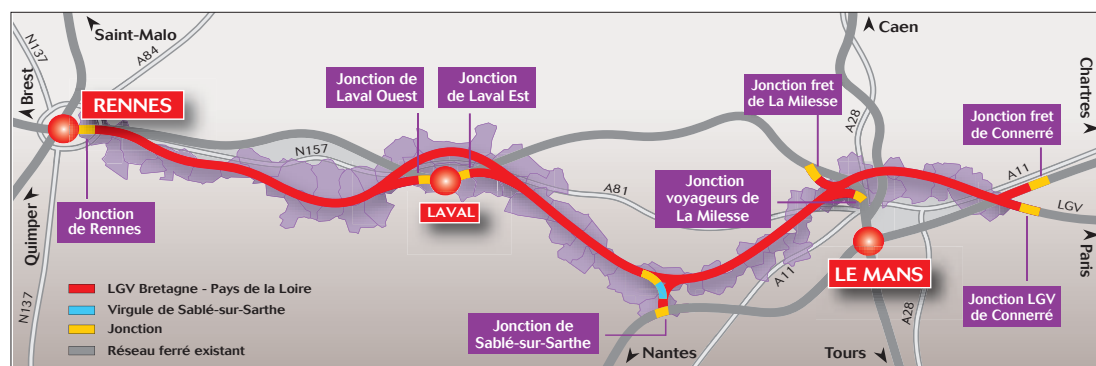
Deux mesures concrètes illustrent la démarche. Le transfert en octobre 2012, depuis un arbre voué à l'abattage vers deux autres, de larves de pique-prunes (*Osmoderna eremita*), scarabée protégé qui avait en son temps bloqué les travaux de l'autoroute A 28 Le Mans – Tours pendant plusieurs mois ! Et le déplacement, suivi par l'Office National des Forêts (ONF) et le Conservatoire botanique du Bassin parisien, de la seule plante protégée impactée par le projet : le cératophylle inerme.

TRANSPARENCE HYDRAULIQUE

Concernant l'eau, la plate-forme ferroviaire ne doit en aucun cas constituer une barrière artificielle s'opposant à sa circulation naturelle ou pire, aggraver les phénomènes d'inondations. C'est la notion de transparence hydraulique. Elle se traduit par la création de grands viaducs parfois complétés d'ouvrages dits de décharge (servant uniquement d'échappatoire à l'eau en cas de crues), d'ouvrages plus classiques, ainsi que de buses et de dalots traversant la plate-forme ferroviaire. Au nombre de 200, ces derniers cumulent 6 000 ml pour un volume total de béton de 12 500 m³. Hormis la Mayenne et la Sarthe, BPL

ne rencontre pas de grandes rivières mais croise une multitude de petits cours d'eau. Selon la législation, chacun a d'abord dû être identifié et ses enjeux cernés. Est-il piscicole ? Est-ce un passage subaquatique ? Quelle est sa qualité ? Dans certains cas, le lit constitué d'un substrat riche ne devra pas être touché par une pile, ce qui parfois modifie la géométrie d'un ouvrage d'art pour réduire son impact sur le milieu naturel.

C'est le cas du franchissement de la Vègre, où la découverte d'un terrier de castors à proximité de l'implantation d'une pile a justifié l'allongement d'un ouvrage, passé de deux à trois travées. L'identification par un expert muni d'un endoscope a permis de



→ Tracé de la LGV Bretagne – Pays de la Loire.



5



6

→ 5 • Près d'une zone revégétalisée, l'ouvrage laisse le passage à un ruisseau. 6 • Sur l'Oudon, l'ouvrage voûte Matière® a été réalisé sans toucher le cours d'eau.

constater que les ramifications du terrier échappaient aux fondations et à la semelle de la nouvelle pile.

UN PASSAGE PETITE FAUNE TOUS LES 300 M

Les concepteurs ont dû aussi tenir compte d'une espèce animale supposée en voie de disparition : la loutre. Or, cet animal semble peu à peu recoloniser la Bretagne par l'ouest. Une étude a indiqué les vallées où sa présence était potentiellement révélée et où, à terme, il pourrait y avoir effectivement recolonisation. « Sur la base d'une étude trame verte pour le terrestre et trame bleue hydraulique pour la faune piscicole et les mammifères subaquatiques, nous avons analysé tous les points de conflit avec notre projet, puis déterminé la typolo-

gie de chaque ouvrage à adapter en fonction de ces analyses », poursuit Bruno Becker qui fait un rapide calcul. « Pour la seule petite faune, les préconisations imposent un passage de type dalot, buse sèche ou crapauduc tous les 300 m environ. Sur un projet de presque 200 km, il en existe donc environ 600 ! »

LE CIRCUIT INDUSTRIEL DE LA PRÉFABRICATION

Le principe est identique pour les corridors de la grande faune, chevreuils, cerfs, sangliers pour lesquels il y a obligation d'offrir des passages spécifiques, parfois mixtes pour la circulation des agriculteurs. Au nombre de 21 sur la ligne, plusieurs font appel à la technique de voûte préfabriquée proposée par la société Matière. Des

voussoirs en béton préfabriqués en usine sont apportés sur site, puis assemblés tel un « kit » pour former une tranchée couverte qui sera ensuite remblayée de façon à redonner au terrain sa forme naturelle d'origine. Principal atout de ce procédé ? La rapidité de mise en œuvre qui réduit d'autant les impacts du chantier. Les ouvrages Matière®, au nombre de 33 de type voûte et 17 de type cadre, représentent un linéaire de 2 300 m et un volume béton de 21 000 m³. « Sur des projets linéaires de cette importance, nous cherchons à entrer dans les circuits industriels et la préfabrication est justement un bon moyen. En général, une mise en œuvre d'ouvrages simples, classiques, répétitifs est recherchée, même si chacun d'eux doit s'adapter à la topographie du terrain », admet Bruno Becker.

Sur les 118 ouvrages courants routiers, 86 de type multitravée sont réalisés avec un tablier constitué de poutres préfabriquées en béton armé. Sur les quatre lots ouest (TOARC A-B-C-D), 1 270 poutres de section rectangulaire sont fournies par le groupement Froc/Matière pour un linéaire de 13 500 m. Le hourdis

supérieur est alors bétonné sur des prédalles en béton non collaborantes. Sur les trois lots est (TOARC E-F-G), 600 poutres en T avec ailettes viennent de l'entreprise Capremib (linéaire : 6 500 m). La forme en T des poutres permet de bétonner le hourdis directement sur les poutres sans avoir recours à des prédalles. Cinq ouvrages courants ferroviaires de type multitravée sont également réalisés avec un tablier à poutres à sec-

Double action mixte

« La technique de la double action mixte est intéressante car, pour des quantités de béton proches, elle offre un gain significatif sur la charpente et, si besoin, la diminution de la hauteur des ouvrages, ce qui permet d'abaisser le profil de la LGV dans certaines zones contraintes. De plus, elle présente un bilan carbone favorable par rapport à un ouvrage mixte classique », résume Gilles Delplace, responsable maîtrise d'œuvre pour les ouvrages d'art au sein de CLERE.

Ouvrages d'art

241 ouvrages pour une longueur totale de 10 500 m

9 viaducs à tablier mixte, dont 3 à double action

2 ponts-rails à poutres latérales

7 tranchées couvertes

7 sauts-de-mouton

2 murs de soutènement

96 ouvrages courants ferroviaires

118 ouvrages courants routiers

21 passages à grande faune

93 bassins

650 ha de compensation environnementale



7



8

→ 7 • La banquette intégrée au dalot en béton offre un passage « au sec » pour les petits animaux. 8 • Les éléments préfabriqués en béton permettent de réduire la durée de réalisation.

tion rectangulaire préfabriquées en béton armé (190 poutres, 2 700 m). Sur les 9 viaducs ferroviaires à tablier mixte, 3 (Vicoin 337 m, la Courbe 374 m, Quartier 263 m) ont été réalisés avec la technique innovante de la double action mixte qui mobilise le hourdis inférieur en béton du tablier dans les zones d'appuis.

À signaler aussi : un pont-route et un saut-de-mouton (ouvrage ferroviaire permettant le croisement dénivelé de deux voies) de type portique avec piédroits nervurés préfabriqués de grande hauteur (h > 10 m, fourniture

entreprise Bonna Sabla) et traverses sur poutres préfabriquées, murs de soutènement préfabriqués sous la plate-forme LGV (h > 9 m, fourniture entreprise Bonna Sabla). Enfin, deux ouvrages en Terre Armée® d'une surface totale de parement de 800 m², dont un sous la LGV qui a été soumis à une procédure d'agrément de RFF. Les approvisionnements en béton pour réaliser l'ensemble des ouvrages de la ligne ont été effectués à partir de centrales existantes des groupes SBL, Lafarge, Point P, Minier Béton. « Un gros effort a été mené pour

réduire au maximum les volumes des structures. Nous avons essayé de travailler dans la finesse : ainsi les ponts-routes font appel à des piles amincies, les piles des grands viaducs sont aussi très légères. Quel autre matériau pourrait se substituer au béton ? Il se plie vraiment aux besoins de la structure et lui apporte une belle plus-value », conclut Gilles Delplace. Quels sont les avantages du béton selon Bruno Becker ? « L'important est de construire durablement. En étant attentif aux agrégats, au choix des ciments, à la maîtrise des pro-

blèmes techniques, un ouvrage en béton brut peut être très beau architecturalement. Et bétonner est un vrai savoir-faire. » ■

Photos : Michel Barberon



→ La tranchée couverte de Cesson sera remblayée pour reconstituer le parc du Bois de la Justice.



→ L'ouvrage permet le passage d'un modeste filet d'eau. Mais il est dimensionné pour assurer la transparence hydraulique.



Partenariat Public-Privé (PPP) signé entre Réseau Ferré de France et Eiffage Rail Express (ERE), filiale à 100 % du groupe Eiffage

Maître d'ouvrage, titulaire du contrat de partenariat (25 ans) : ERE

Conception et construction : CLERE (Construction de la ligne ERE), groupement d'intérêt économique associant Eiffage Travaux Publics (80 %) et Eiffage Énergie.

Sociétés d'ingénierie : Setec, Ingérop

Maintenance de la LGV : OPERE

Coût : 3,4 Md € HT



Drôle d'oiseau !

C'est pour finaliser les connexions entre Port Marianne, le nouveau centre de Montpellier, et les quartiers anciens que le pont de la République franchit le Lez à l'aval du nouvel hôtel de ville de Jean Nouvel et François Fontès. Lame de béton posée sur des talons aiguilles ; geste gracile d'une danseuse étoile effleurant le sol sur ses pointes ; mille-pattes monté sur des échasses... les images ne manquent pas pour décrire ce nouvel ouvrage en BFUP dont les ingénieurs Romain Ricciotti et Guillaume Lamoureux ainsi que l'architecte Rudy Ricciotti sont devenus les chantres. Un ouvrage dont l'extrême finesse est rendue possible grâce à une répartition démultipliée des charges, un profilage savant des béquilles et un BFUP dernier cri, formulé avec des fibres d'acier inoxydable. Texte : Delphine Désveaux



1

→ 1 • La finesse de la structure s'explique par la division des descentes de charges réparties sur les 17 béquilles.

Parce qu'il se jette dans la Méditerranée à Palavas, le Lez est un fleuve. Un bien grand mot pour un modeste cours d'eau bucolique qui traverse Montpellier... mais qui, malgré les apparences, peut s'avérer très capricieux en période de crues : il n'est pas rare de voir monter ses eaux de 10 m. C'est pourquoi, sans l'interdire, le programme incitait les équipes de maîtrise d'œuvre à ne rien implanter dans le lit du fleuve. Le projet lauréat conçu par le bureau d'études structure Ricciotti et Lamoureux Ingénierie,

associé à l'architecte Rudy Ricciotti, a cependant choisi de passer outre cette recommandation. Bien conscients des enjeux, ils compensent leur choix par une optimisation drastique de la taille des structures afin de ne pas perturber l'écoulement du fleuve.

STRUCTURE ULTRA MINCE

« Le message qu'envoie le Lez est celui d'un plan d'eau calme, explique Rudy Ricciotti. Il se transforme parfois en miroir où se reflètent le ciel, les arbres. C'est pourquoi nous avons choisi de le traverser sur la pointe des pieds, sans le coloniser. Très peu de matière. Juste ce qu'il faut. Là où il faut. Quand il faut. » De fait, une nouvelle comparaison vient à l'esprit, pour peu que l'on sache que l'architecte méditerranéen est un amoureux de la Camargue : l'ouvrage a la silhouette et la couleur d'une aigrette, cet oiseau blanc doté de longues pattes pour marcher dans l'eau.

La plastique du pont, épurée de tout effort apparent, semble affranchie des contraintes techniques. D'ailleurs, le jury du concours ne s'y était pas trompé, séduit par « l'élégance et la finesse du traitement architectural ».

Entretien

ROMAIN RICCIOTTI et GUILLAUME LAMOUREUX, ingénieurs

Associer le strict nécessaire à une grande liberté de forme

Qu'appelleriez-vous la « poésie du métier d'ingénieur » ?

La poésie est induite par le site – le vent, la géologie, le débit du fleuve. Si l'ingénieur y prête attention, il peut transformer ces données naturelles en opportunités d'écriture, par exemple le profilage hydrodynamique des sections. Il y a aussi une poésie de la matière.

En raison de son coût, le BFUP impose un travail d'équarrissage très technique (précontrainte additionnelle, lois des matériaux non linéaires...) par lequel on ne garde que le strict nécessaire. Et comme il est constitué de granulats très fins, il laisse une grande liberté de forme et de coffrage.

Le programme prévoyait de ne pas implanter de pile dans le fleuve.

Pourquoi être passé outre ?

C'est une problématique assez paradoxale des ponts : ils franchissent des cours d'eau, certes, mais la difficulté vient de la situation « inversée », lorsque l'ouvrage est lui-même totalement traversé par le fleuve lors des crues. Nous avons pris un risque conceptuel, il est vrai, mais nous l'avons compensé par le choix des matériaux et par l'optimisation de la transparence hydraulique.

Au final, l'écoulement naturel du fleuve n'est pas perturbé et l'ouvrage est tout de même plus élégant qu'un bow-string, non ?

Qu'advientra-t-il le jour où le Lez sera navigable ?

L'ouvrage a été calculé pour des charges normales – chocs d'embâcles, fortes crues, trafic routier – et nous avons porté toute notre attention sur la finesse des béquilles. Les fondations des palées provisoires ont été mises en attente pour implanter des ducs-d'Albe qui le protégeront, le jour où la navigation sera autorisée. ■

Chiffres clés

Tablier

Longueur : 75 m

Largeur : 17 m

Poutres

Longueur : 23 m

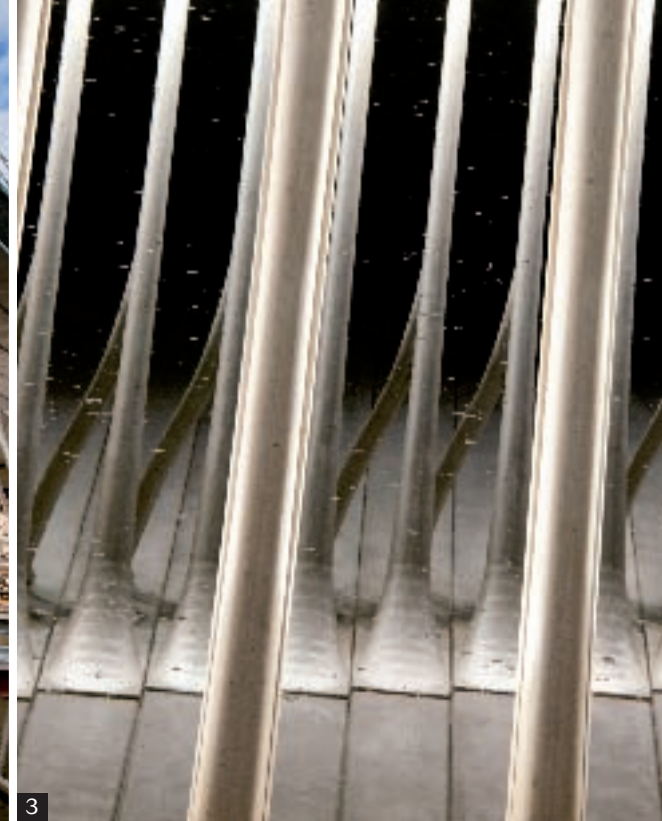
Hauteur : 80 cm

Poids : 14 t

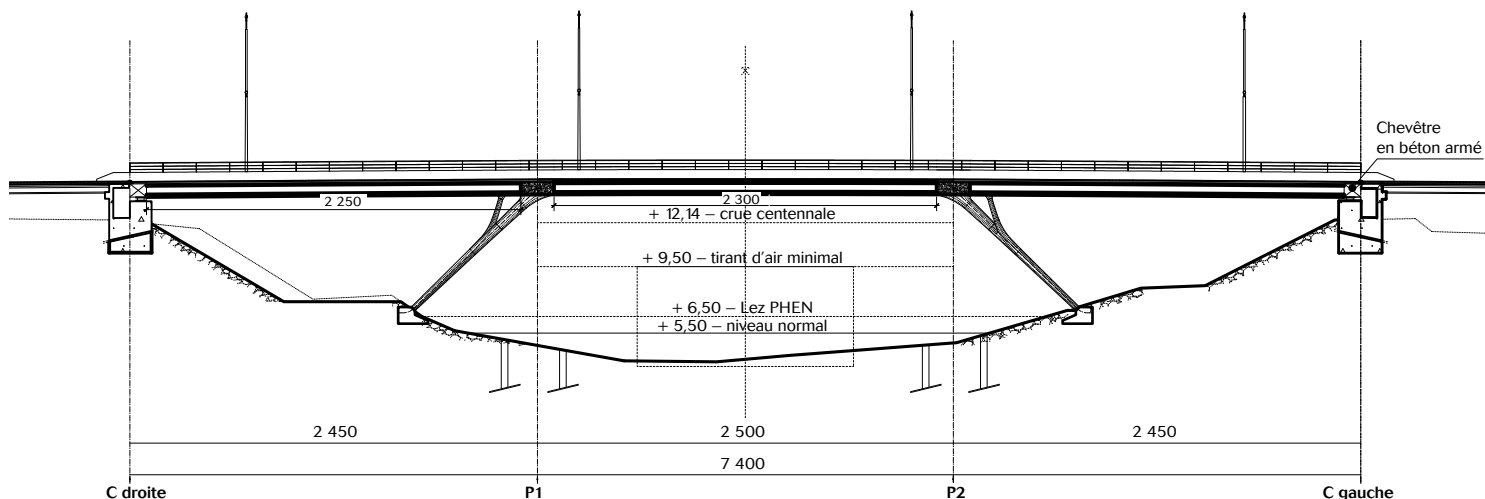
Béquilles

Longueur : 10 m

Section à inertie variable :
25 x 32 cm en pied,
80 x 200 cm en tête



→ 2 • Poutres et béquilles sont précontraintes en usine par prétension. 3 • L'extrême finesse des béquilles en Ductal®.



→ Coupe longitudinale de l'ouvrage.

Caractéristiques

Ductal® blanc à fibre inox (1,25 %), formulation B150

Caractéristiques mécaniques :

Avec traitement thermique :
48 h, 90 °C et 90 % HR ;
 – Résistance en compression :
170 – 200 MPa ;
 – Résistance en flexion :
10 – 20 MPa ;
 – Module d'Young : **50 – 60 GPa**

Sans traitement thermique :
 – Résistance en compression :
150 – 180 MPa ;
 – Résistance en flexion :
10 – 20 MPa ;
 – Module d'Young : **50 – 60 GPa**

Densité : 2,4 à 2,5

Trois paramètres rendent cette épreuve possible : la répartition multipliée des charges ; un profilage savant ; et un béton fibré à ultra hautes performances dont on se souvient qu'il est le matériau de prédilection des trois concepteurs depuis la passerelle des Anges en 2009, le Mucem et le stade Jean Bouin en 2013.

Le schéma structurel est celui d'un pont à béquilles. Le tablier, ultra mince (80 cm d'épaisseur), se divise en trois travées d'égale longueur, chacune comptant 17 poutres connectées à 17 béquilles. Inclinaison à 45°, les béquilles à inertie variable sont ancrées à 14 m de profondeur par 142 micropieux verticaux de 25 cm de diamètre en bordure du lit mineur

pour ne pas entraver la transparence hydraulique. Contrairement à la pratique courante, les béquilles sont encastrées dans le tablier et connectées par des rotules aux massifs d'ancrage. Elles sont associées à des contre-béquilles qui ont le double intérêt de participer à l'exigence de robustesse des Eurocodes et de parfaire l'élégance du dessin.

« FRAGILE DEHORS, PUISSANT EN DEDANS »

« Cet ouvrage est un paradoxe : son esthétique est nourrie par la dictature du matériau et de la modélisation mathématique, ajoute Rudy Ricciotti. Dans ce domaine, le pouvoir est moins dans les mains de l'architecte

que dans celles de deux acteurs : l'entreprise Fondeville qui a pris des risques incroyables pour innover sur un produit expérimental ; et les deux ingénieurs, très engagés dans ce processus de Recherche et Développement. »

Plusieurs bonnes raisons justifiaient le recours au BFUP : les attentes plastiques de l'architecte, les contraintes structurelles et les impératifs très contraignants du chantier qui imposaient un matériau d'une très grande résistance mécanique. « Le BFUP est par ailleurs totalement étanche dans la masse, poursuit Romain Ricciotti. L'intérêt de son utilisation en contact avec l'eau est évident : entretien limité, grande durabilité et, a contrario



→ 4 et 5 • Les ergots que forment les jambes de force présentent un double intérêt : participer à l'exigence de robustesse des Eurocodes et parfaire l'élégance du dessin.

des ouvrages métalliques, pas de peintures écaillées dans le fleuve. » Deux entreprises ont fourni le BFUP : Eiffage TP (Béton Spécial Industriel, BS) pour les poutres et les corniches du tablier, Lafarge (Ductal®) pour les béquilles. « Un Ductal® blanc, tout nouveau, composé de fibres en acier inoxydable et spécialement formulé », précise Sébastien Bernardi, directeur technique BFUP/Ductal®

chez Lafarge. Les études et le chantier se sont déroulés en un temps record, le planning étant totalement lié au régime hydraulique du Lez. « La police de l'eau avait imposé que le chantier soit réalisé pendant la période d'étiage, avec une fenêtre de travaux de quatre mois comprise entre début mai et fin août, précise Romain Ricciotti. Pour respecter ce calendrier, nous avons mis les bou-

chées doubles pendant les deux années d'études. » En raison du planning tendu, la préfabrication en usine a permis de simplifier la logique constructive en concentrant la complexité en amont et en réduisant les interventions sur site. Le chantier y a gagné en temps et en sécurité.

Préfabriquées et précontraintes, les poutres (IPE à talon élargi), les béquilles et les jambes de force ont été transportées par bateau et camion. Au moyen de palées provisoires, les trois travées ont été assemblées sur place, d'abord en aval puis en amont. Grâce à leur profil en T inversé, les 51 poutres (3 x 17) sont jointives et liaisonnées entre elles par un hourdis en béton armé coulé en place. Les chevêtres ont également été coulés en place grâce aux abouts de poutre formant coffrage.

« Refus de vulgarité, croyance dans l'intelligence et la morale d'une technologie du XXI^e siècle ont écrit ce pont très délicat, fragile dehors et puissant en dedans, conclut Rudy Ricciotti. Il a posé une foule de questions pour ne pas être consumériste de technologies importées. Sa réalisation peut être entièrement territorialisée et participe d'une mémoire

du travail. En tant qu'architecte, c'est la seule chose qui me passionne aujourd'hui du point de vue politique et économique. » ■

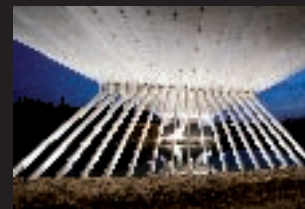
Photos : Lisa Ricciotti ;

4 – Lamoureux & Ricciotti

Un BFUP inédit

Outre la capacité des concepteurs à travailler ce matériau, le choix s'explique par la nature du sol alluvionnaire qui imposait de minimiser le poids de l'ouvrage et donc de recourir à un matériau d'une très grande résistance mécanique afin de réduire les masses et les sections. Grâce à sa matrice cimentaire à pores fermés, le BFUP présente un empilement optimal des granulats qui permet d'atteindre des performances mécaniques en compression (150 MPa) et en traction 3 à 8 fois supérieures à celles d'un béton classique, autorisant des applications architectoniques et des opérations complexes tout en éliminant de nombreuses contraintes. En outre, sa porosité connectée nulle garantit une inertie aux agressions chimiques, à l'air et à l'eau qui lui assure une grande durabilité sans entretien. D'autant que sur cet ouvrage, la formulation inédite du Ductal® à base de fibres d'acier inoxydable règle les problématiques de corrosion sur le long terme. Enfin, les éléments en BFUP sont livrés préfabriqués sur le chantier, générant un gain de temps et de sécurité.

Le tout favorise bien sûr l'économie du projet.



Maître d'ouvrage :
ville de Montpellier

Maîtrise d'œuvre :
BET Lamoureux Ricciotti
ingénierie, mandataire ;
architecte : Rudy Ricciotti

Client : Société d'équipement
de la région montpelliéraine

Programme : 2 voies routières,
2 pistes cyclables, 2 trottoirs

Entreprise : Fondeville

Fournisseurs BFUP : poutres,
corniches : BSI d'Eiffage TP
(fibres métalliques/organiques) ;
béquilles : Ductal® en fibres inox
(formulation B150) de Lafarge

Coût : 5 M € HT



Une usine **jardin**

Une station de traitement des eaux usées est un véritable ouvrage de Génie Civil qui, grâce à son architecture, peut affirmer pleinement sa vocation d'équipement environnemental. Implantée sur les communes de Saint-Cyr-l'École et de Bailly, la station d'épuration de Carré de Réunion se distingue par son intégration dans un paysage naturel protégé situé dans le périmètre classé du château de Versailles. Construite quelques années après la prestigieuse demeure de Louis XIV pour servir d'exutoire au Grand Canal et le préserver des égouts, restructurée à plusieurs reprises, elle fait l'objet, dans le cadre des réglementations européennes, d'une modernisation et d'un agrandissement qui augmenteront sa capacité de traitement et amélioreront ses performances.

Texte : Delphine Désveaux



1



2

→ 1 • Dans le prolongement du Grand Canal de Versailles, les travaux de la STEP représentent dix chantiers en un. 2 • Ce bassin de stockage récupère les eaux en période d'orage.

La station d'épuration Carré de Réunion (78) gère les eaux usées de neuf communes – Bailly, Rocquencourt, Le Chesnay, Versailles, Saint-Cyr-l'École, Fontenay-le-Fleury, Bois-d'Arcy et une partie de Montigny-le-Bretonneux et Trappes. Les rejets des eaux résiduaires épurées s'effectuent quelques centaines de mètres en aval du ru de Gally. Pour répondre à la Directive Européenne sur les Eaux Résiduaires Urbaines (DERU) et à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), le Syndicat Mixte d'Assainissement de la Région Ouest de Versailles (SMAROV) a lancé un concours d'architecture pour moderniser et agrandir la station d'épuration, ceci en adéquation avec les objectifs du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Mauldre. La réalisation de cette usine a été confiée à l'agence Luc Weizmann Architecte, dont l'intégration dans le talweg a été particulièrement bien étudiée pour préserver le paysage historique. Les entreprises du groupe Vinci Construction France ont réalisé le Génie Civil et le gros œuvre, OTV (filiale de Veolia) le process d'épuration, Artelia la maîtrise d'œuvre technique et Qualibéton a fourni le béton.

L'agence Luc Weizmann Architecte est rompue à ce type de programme : avec une dizaine d'usines de traitement des eaux réalisées depuis 25 ans, Luc Weizmann a su développer une vision créative de ce qu'il appelle les « architectures de l'environnement ». Bien que ces dernières soient souvent dévalorisées dans l'opinion publique, bien qu'elles soient « rejetées à l'écart de la cité comme les maladreries du Moyen Âge », Luc Weizmann les considère comme des équipements au service de l'intérêt général : il en a compris les enjeux, qu'ils soient techniques, environnementaux ou symboliques, et les érige en « signes singuliers qui trouvent leur justification dans l'ordre du paysage ». « Les stations d'épuration traitent le passif d'une société surconsommatrice qui les ignore. Elles sont néanmoins chargées d'une valeur profonde puisque leur fonction est de rendre au milieu naturel une eau purifiée. À l'aval de la ville, dans une complexité croissante, elles assurent la remise en ordre des quatre éléments naturels – les eaux, dans tous leurs états, polluées, usées, industrielles, pluviales, potables... ; la terre, avec le traitement des boues ;

Entretien

LUC WEIZMANN, *architecte*

Vous avez construit de nombreux programmes liés au traitement de l'eau. Quelle est la particularité de ce projet ?

Ici, à proximité du parc du château de Versailles, le contraste est saisissant entre l'usine qui porte ce nom ingrat d'« épuration » et le Grand Canal dont le ru de Gally constitue l'exutoire. La fosse septique, cet arrière du décor qu'on ne veut pas voir, mais qui recueille et traite les eaux usées que notre société produit à profusion, est bien là, historiquement, géographiquement, symboliquement, en contrepoint de la magnificence des Grandes Eaux.

Quel rôle joue l'architecte dans ces projets particulièrement techniques ?

L'architecture peut qualifier cette apparente contradiction. Il me paraît important d'investir du sens dans ces ouvrages dont les fonctions citoyennes relèvent de la gestion du bien commun, dans la noblesse de ce processus qui transforme le déchet en ressource, le sale en propre. Nous devons les valoriser comme des équipements publics à part entière, au même titre que les stades ou les centres culturels. C'est là le rôle sociétal essentiel de l'architecture.

Pourquoi recourir au béton ?

Dans ces projets à la charnière entre Génie Civil et bâtiment, le béton est utilisé dans tous ses états. Il répond, par ses qualités propres, aux problématiques techniques de fondation, de structure, de résistance aux agressions chimiques, d'étanchéité des canaux et des bassins. En superstructure, ses finitions sont anoblies. Je trouve très intéressant ce rapport entre la mise en œuvre de volumes considérables et la subtilité quasi sculpturale des rendus qui permet de valoriser son expressivité : au-delà de son utilisation pour ses propriétés intrinsèques, j'aime que le béton soit mis en relation avec la nature, le paysage et les éléments de second œuvre. ■



3



4

→ 3 • Dans le bâtiment de digestion des boues se traite également la désodorisation. 4 • Support d'un grand nombre de réseaux, l'ouvrage d'art sur le rû de Gally a été réalisé en *top and down*.



→ Coupe transversale de l'ensemble du projet.

les airs, saturés de gaz multiples, qu'il convient de traiter et de désodoriser ; et puis le feu, avec des consommations et des productions d'énergie considérables¹. Nous avons d'ailleurs prévu un parcours pédagogique qui entend valoriser la noblesse de cette activité d'assainissement et sensibiliser le grand public aux enjeux considérables liés à l'eau... »

UN PEU D'HISTOIRE

« Ce projet est particulièrement complexe car il comprend la conservation de certains ouvrages existants, la réalisation d'une dizaine de bâtiments nouveaux regroupant les équipements de traitement des eaux, des boues, de l'air, mais aussi, bien sûr, la création d'un ensemble de réseaux particulièrement dense », explique Xavier Constant, directeur du projet et architecte associé de l'agence Luc Weizmann Architecte. On le voit, le projet est ambitieux. Mais ce n'est pas

1 – Cf. livre Luc Weizmann Architecte - Espaces inattendus, Créaphis éditions, 2014.

tout : les choses se corsent lorsque l'on apprend que le site jouxte le périmètre classé de la plaine de Versailles et de la perspective infinie imaginée au XVII^e siècle par Le Nôtre. En effet, le réseau d'assainissement a été construit peu après l'édification du château de Versailles. Il repose donc sur des infrastructures très anciennes : les deux collecteurs principaux, Versailles nord et sud, également appelés égout Saint-Louis et égout Notre-Dame, remontent respectivement aux XVII^e et XVIII^e siècles et convergent tous deux vers un bassin de décantation baptisé le Carré de Réunion conçu en 1740. « Au départ, c'était un cloaque épouvantable dont les miasmes décimaient ceux qui construisaient le château, rappelle Daniel Higoïn, président du SMAROV. Mais c'est naturellement vers cet entonnoir que 200 ans plus tard, entre 1947 et 1951, a été installée la première station d'épuration de la plaine de Versailles. Le site a ensuite connu une première extension entre 1964 et 1965, puis une restructura-

tion entre 1988 et 1995 qui répondait aux normes de rejet imposées par la loi sur l'eau de 1992. Nous avons profité de l'évolution des réglementations sur l'eau pour réaliser les actuels travaux de modernisation et d'extension qui permettront d'augmenter la capacité de l'usine en recueillant les eaux pluviales excédentaires tout en améliorant les performances du traitement par des solutions membranaires. »

Ainsi, dès 2015, l'usine assurera un traitement complet des eaux usées et pluviales avec un débit de pointe de 6 000 m³/h. La capacité de traitement devrait atteindre 215 000 équivalents

habitants/jour par temps sec et 340 000 équivalents habitants/jour par temps de pluie afin de répondre aux enjeux démographiques et environnementaux ainsi qu'aux exigences européennes.

INSERTION DANS LE GRAND PAYSAGE

« Ces projets environnementaux émergent depuis deux décennies à peine, reprend Luc Weizmann. Auparavant, ils appartenaient à des univers exclusivement industriels. Il s'agissait donc d'inventer des typologies nouvelles adaptées à la topographie, contraintes par l'écoulement gravi-

Le pont en « top and down »

Coupée par le ru de Gally, l'emprise de la station d'épuration est reliée par un pont, support d'un grand nombre de réseaux. Pour éviter les travaux en hauteur, l'ouvrage a été construit de façon inédite : culées, chevêtres, piles, poutres longitudinales... ont été coulés en place sur le sol avant que les pelleteuses ne viennent gratter le terrain sous-jacent. L'intérieur du tablier comprend des entretoises en béton armé pour supporter les canalisations.



→ 5 et 6 • Un même ciment clair a été utilisé sur le chantier : (5) le bassin de pollution et de relèvement des effluents ; (6) les façades plissées du bâtiment de traitement membranaire.

taire des effluents ou les particularités de sites géographiques souvent très beaux, comme c'est le cas ici, dans la plaine de Versailles. » En inscrivant en creux une usine-jardin dans le relief sensible du val de Gally et du contexte arboré qui l'entoure, l'architecte adopte une attitude discrète au service d'une revalorisation environnementale et paysagère du territoire : pour ne pas être perçus de loin, les bâtiments se glissent dans l'épaisseur du talweg avec des toitures végétalisées. Affirmant une relation pacifiée avec le contexte naturel, le traitement fractionné et différencié de l'ensemble entend participer pleinement à

la requalification progressive de la plaine de Versailles portée par les différentes collectivités. « Par la relation intime que la station entretient avec le paysage, elle s'affirme comme un équipement public citoyen, au service de la préservation de l'eau et de l'environnement. »

DIX CHANTIERS EN UN

De fait, le réaménagement de la station intègre un modèle d'écoconception visant « zéro nuisance » et une maîtrise énergétique rigoureuse respectant certains critères du label HQE®. Dans ce sens, l'ensemble des bâtiments susceptibles de générer

de mauvaises odeurs sont couverts et enterrés. Pour Olivier Jonchères, architecte chef de projet chez LWA, « l'enjeu majeur a été de concilier des données multiples : une technologie de pointe, des infrastructures de Génie Civil savantes, une insertion architecturale dans un paysage classé, une usine en activité, des contraintes administratives, techniques, environnementales, un planning de réalisation très serré ». Car cette liste ne s'arrête pas là : non contente de détourner le ru de Gally, d'aménager un canal de sécurité, de construire un ouvrage d'art, de décaisser 180 000 m³ de terre, de

maintenir l'activité pendant les travaux, d'être soumise à un planning drastique pour que la mise en service soit effective en 2016, soit quelques mois après l'échéance de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, cette extension intègre la réhabilitation de bâtiments existants et la construction de nouvelles entités (160 000 m²) : un bassin de rétention des eaux excédentaires (16 000 m³) enterré, permettant de maîtriser la gestion et la dépollution des eaux brutes (eaux usées et eaux pluviales) sur la station, et les aménagements nécessaires à la mise hors crue de la station en cas de pluies exceptionnelles ; un bâti-

Caractéristiques des bétons mis en œuvre

Zone concernée	Domaine d'emploi	Classe de résistance (MPa)	Classe d'exposition	Quantité m ³
Toutes zones	Béton de propreté	-	-	2 000
Voiles périphériques	Ouvrages en contact avec les effluents (sauf parois moulées) ainsi que les canaux de transfert de l'air vicié, air process, air membranes, pléniums d'air vicié et aires de dépotage	C40/50	XA3	8 200
Voiles intérieurs	Ouvrages en contact avec le sol mais non avec l'eau	C35/45	XA2	16 600
Z9	Ouvrages extérieurs du bâtiment d'exploitation qui ne sont pas en contact avec le sol et murettes-guides	C25/30	XF1	2 100
Z1 et Z3	Canal (radier + voiles) et bassin de pollution (puits de chute)	C40/50	XA3	4 800
Toutes zones	Parois moulées	C35/45	XA2	12 710
Toutes zones	Pieux (tarières creuses)	C35/45	XA2	910
Toutes zones	Parois projetées	C35/45	XA2	360
Pont définitif	Culées, piles, hourdis, superstructure	C35/45	XF2	50



7

→ 7 • Dans le bâtiment d'exploitation, le béton est volontairement mis en relation avec la nature et les éléments de second œuvre, verre et gabions.

ment de traitement biologique couplé à une ultrafiltration membranaire (135 000 m² de membranes) ; deux bâtiments de traitement des boues, l'un par digestion, l'autre par séchage thermique qui traitera également les sables et les graisses produits par l'épuration et le curage des réseaux d'assainissement ; un équipement de cogénération alimenté par le biogaz généré par le traitement des boues qui produira de l'énergie et de l'électricité revendue sur le réseau ; un bâtiment d'exploitation... Au total, ce sont donc dix nouveaux bâtiments sur les 25 hectares que compte la parcelle, dix typologies adaptées aux fonctions, dix chantiers... dont la réalisation, dictée par le process, devait permettre de maintenir l'activité de la station pendant les travaux. « La particularité de ce chantier a été de faire cohabiter tous les corps de métier en même temps : atelier de fondation (pieux, micropieux, parois moulées, parois au coulis...), terrassement, pose des canalisations, équipements à intégrer... », explique Franck Cahay, directeur du projet pour Vinci Construction France. Cela a demandé un gros travail de phasage pour valider chaque semaine les zones de tra-

vail, de stockage et les circulations dans une emprise foncière qui, malgré ses dimensions, était réduite compte tenu de l'intensité et de l'évolution des travaux. »

LE BÉTON DANS TOUS SES ÉTATS

Parce qu'il offre une excellente résistance mécanique assortie d'une parfaite durabilité en milieu aqueux, notamment lorsque l'eau est chargée en alcalins, le béton est utilisé en quantité impressionnante. « Cette présence massive du béton, loin d'être cachée, doit être valorisée en superstructure dans la diversité de ses finitions : brut, matricé, poli, sablé, désactivé... », rappelle Luc Weizmann. L'expression du béton peut alors être anoblie, devenir sculpturale. Le rapport entre la mise en œuvre de volumes considérables et la subtilité du traitement de certains parements peut notamment s'exprimer dans une relation puissante au paysage et aux autres matériaux, chacun pris pour ses qualités intrinsèques. »

Pour les bassins de décantation et les process de traitement des eaux usées, le ciment doit impérativement être de type prise mer/eau sulfatée

(PM-ES). Afin d'éviter les ruptures de charges, un même ciment clair, CEM III/A 52,5 L LH CE PM-ES-CP1 NF, a été utilisé sur tout le chantier, soit 15 000 t : en provenance de l'usine de Gargenville (Calcia), voisine de 35 km, cette solution est un atout incontestable en termes d'approvisionnement. Destiné tout particulièrement aux travaux en milieux humides ou dans des environnements agressifs, ce ciment offre une classe de résistance qui autorise une mise en œuvre en superstructure. Six formulations ont été élaborées pour les 48 000 m³ de béton, entièrement coulé en place, afin de garantir l'unité de couleur. La nappe phréatique affleurant à quelques mètres sous la surface, Vinci a pris le parti de couler des enceintes étanches pour certains bâtiments enterrés afin de terrasser à sec : ces parois moulées, qui servent ensuite de voiles périphériques structurels, ont demandé une cadence de production élevée assurée par deux centrales mobiles Elcon d'une capacité de 100 m³/heure installées sur le site par l'entreprise Qualibéton. Quant aux voiles apparents, ils font l'objet d'une grande attention, avec des finitions plissées, des sous-faces

lasurées en bleu « Klein » pour les auvents et des découpes savantes dans les lieux de travail. ■

Photos : Govin Sorel ;
6 – Delphine Désveaux ;
1, 5, 7 – Luc Weizmann Architecte



Maître d'ouvrage : Syndicat Mixte d'Assainissement de la Région Ouest de Versailles

Maître d'œuvre : Luc Weizmann Architecte

Ingénierie : Artelia Eau et Environnement

Génie Civil, bâtiment et second œuvre : Groupe Vinci

Fourniture du béton : Qualibéton

Process, équipements et électricité : OTV filiale de Veolia

Calendrier : 2002-2016

Coût : 182 M € TTC



Estacade de la Folie, un ouvrage **raisonnable**

Quatre estacades jalonnent le tracé de la ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique entre Tours et Bordeaux. Leurs tabliers se composent de poutres précontraintes par prétension (PRAD). Un choix de préfabrication dicté par les délais et les cadences imposés. L'estacade de la Folie, au nord de Poitiers, qui permettra aux TGV de rejoindre le réseau ferré existant, est la plus longue : 940 m et quelque 45 000 m³ de béton coulé en place. Complexe à réaliser, son édification a dû se faire dans un milieu périurbain dense, sillonné par des infrastructures routières et ferroviaires très fréquentées.

Texte : Michel Barberon



1



2

→ 1 • L'estacade de la Folie a dû s'intégrer dans un environnement complexe et dense. 2 • Trois mois environ étaient nécessaires pour construire une pile.

Parmi ses quelque 440 ouvrages d'art, la ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique, ou LGV SEA (voir CM OA 2013) comporte à La Falaise (Gironde) une estacade de 337 m, non prévue à l'origine, lui permettant de franchir une zone inondable aux contraintes géotechniques complexes. Trois autres estacades (ouvrage ferroviaire de franchissement), devant s'insérer dans une emprise au sol réduite, sont destinées à raccorder la LGV au réseau classique. En remontant du sud vers le nord, celle d'Ambarès-et-Lagrave (Bordeaux nord), de la Couronne (Angoulême sud) et de la Folie à Migné-Auxances, au nord de Poitiers. Plus importante des trois par sa taille –

940 m de long dont 260 m en double voie, 74 piles –, cette dernière doit s'intégrer dans un site périurbain dense où cohabitent plusieurs grandes infrastructures : deux axes de circulation à deux fois deux voies, la RN 147 et la RD 910 qui cumulent un trafic d'environ 30 000 véhicules/jour chacune, une ligne à très haute tension, l'artère ferroviaire historique Paris – Bordeaux très fréquentée. Enfin, une multitude de réseaux de gaz, fibre optique... « L'estacade enjambant l'ensemble, tous ces axes et réseaux ont dû être fermés ou déviés pendant les phases de réalisation des piles et des tabliers. C'était la principale difficulté du chantier. Et pour tenir les délais, nous avons mené trois zones de front alors que deux étaient envisagées au départ », explique Sébastien Lacaille, conducteur travaux chez COSEA, le groupement d'entreprises constructeur de la ligne. Ces contraintes ont exigé en amont de longues concertations et de complexes phasages des travaux pour tenir compte des exigences des divers exploitants routier et ferroviaire. Exemple pour ce dernier, la mise en place par une énorme grue des poutres de 115 t au-dessus des

voies ferrées le week-end des 20 et 21 juillet 2013 a nécessité une interruption totale de la circulation sur celles-ci. Une opération spectaculaire programmée... deux ans à l'avance !

DES POUTRES PRÉCONTRAINTES

Le planning général imposé de 22 mois a orienté le choix vers une solution de tablier constitué de poutres précontraintes par prétension (PRAD), la précontrainte étant transmise au béton par adhérence de câbles ou torons noyés dans le béton. L'usine Bonna Sabla de La Crèche (Deux-Sèvres), proche de la future ligne, a été chargée de la fabrication des 366 poutres pour le tablier simple

voie. Dans ce cadre, Bonna Sabla est mandataire du groupement momentanément d'entreprises solidaires « SEA Préfabrication » sous l'entité Bonna Sabla SNC. « Un choix stratégique et innovant pour se positionner sur le marché des ouvrages d'art en complément de l'offre Génie Civil spécifique », estime Bruno Lemiène, directeur de division Grands Projets chez Bonna Sabla. Principal avantage de cette technique ? Un sérieux gain de temps. Conçues en usine, les poutres ignorent les aléas climatiques, ne dépendent pas des cycles de chantier, optimisent les temps d'intervention sur celui-ci et réduisent l'encombrement sur le site. Mais le principe a exigé le respect de contraintes logis-

Chiffres clés

Longueur de l'estacade : **940 m**

Nombre de piles : **74**

Béton coulé en place : **45 000 m³**

Nombre de poutres PRAD : **476**
(6 000 m³ de béton)

Armatures : **6 500 t**

Surface du tablier : **13 500 m²**

Corniches : **1 366 ml**



→ Vue perspective du projet.



3



4

→ 3 • Le tablier est constitué de 476 poutres précontraintes par prétension (PRAD). 4 • La continuité des corniches-écrans en béton matérialise une vague.

tiques fortes pour assurer la livraison en flux tendus par convois routiers exceptionnels des poutres avec une certaine flexibilité, de façon à gérer les délais et la capacité de réception selon les besoins.

UNE POUTRE PAR JOUR

Le cycle de fabrication atteignait 24 h, soit une poutre produite par jour et par moule, selon un processus rodé et parfaitement maîtrisé. Après mise en place des armatures et des inserts, fermeture du moule, ancrage des torons (T 15,7) qui sont tendus (23 t par toron) avant le bétonnage. Étape technique clé conditionnant la qualité du produit fini, la rapidité de coulage du Béton à Hautes Performances (classe de résistance C60/75) auto-plaçant, avec une résistance de

40 MPa au jeune âge, obtenue en environ une heure pour 11 m³. Des performances pour assurer la durabilité des ouvrages qui devaient être atteintes sans dépasser la température de 70 °C au cœur de la poutre. Dès que la résistance du béton était suffisante, au bout d'une quinzaine d'heures, les torons étaient alors détendus, la poutre était démoulée puis transférée sur le parc à l'issue d'une étape de finition.

Deux types de tabliers sont mis en œuvre. Une voie unique est constituée de travées de 6 poutres, une double voie de 11 poutres, toutes quasiment jointives. Les poutres latérales ou « de rive » sont conçues pour évacuer l'eau du tablier et pour cofrer le hourdis supérieur (dalle de compression coulée sur les poutres) en phase chantier.

Le dimensionnement et la géométrie des poutres sont conditionnés par diverses contraintes. Celle liée à la prise en compte du risque sisme dans le secteur de la Folie s'est traduite par un ferrailage très dense (jusqu'à 300 kg/m³), notamment au niveau des abouts. Certains de ces derniers sont spéciaux et les travées nécessaires aux franchissements des

voies ferrées et d'un échangeur routier, créé entre les deux voiries principales du secteur, ont imposé des fabrications de poutres de différentes longueurs. Un tablier type qui mesure de 67,5 m à 90 m repose sur une pile fixe à chaque extrémité et sur des piles intermédiaires. La confection des appuis s'effectuait en trois étapes. Les fondations tout d'abord constituées de 203 pieux de 1,5 à 2 m de diamètre, d'une hauteur de 10 à 20 m. Les semelles sous forme de massifs intermédiaires en béton armé d'un volume de 80 à 900 m³. Enfin, l'élévation des fûts de piles par tronçons de 4 m, trois mois en moyenne étant nécessaires pour construire une pile.

DES INVESTISSEMENTS IMPORTANTS

Produire en un temps limité exactement 984 poutres préfabriquées pour les quatre estacades, avec une précision de l'ordre du millimètre, a nécessité de lourds investissements. Sur le site de La Crèche (79), deux millions d'euros ont été investis dans des équipements. Aménagement de l'atelier et d'un parc de stockage de 1,5 ha ; quatre moules autorésistants et matériel de précontrainte ; sys-

tème d'approvisionnement du béton ; portiques autonomes de manutention des produits, ponts-roulants et palonniers pour les armatures. Le plan qualité du constructeur COSEA imposant une traçabilité exhaustive, chaque poutre possède sa propre fiche qualité qui est intégrée au dossier de suivi d'exécution des ouvrages. ■

Photos : Michel Barberon ;
Ouverture et 1 – Alain Montaufer

Chiffres clés

Longueur d'une poutre : **2,150 m**

Hauteur : **1,35 m**

Largeur : **1,04 m**

Poids : **30 t**

Béton C60/75 : **11 m³**

Armatures : **2 à 3 t**



Mandataire : Bonna Sabla SNC

Vinci Construction
Terrassement, Vinci
Construction Grands Projets,
Vinci Construction France

Dodin Campenon Bernard

Eurovia Grands Projets
et Industries

Eurovia Poitou-Charentes-
Limousin

Razel BEC NGE



DOMINIQUE BIDOU,
Président du CIDB
(Centre d'Information et
de Documentation sur le Bruit)
et président d'honneur
de l'association HQE®



PATRICE VALANTIN,
Président de l'Union Professionnelle
du Génie Écologique

Béton et biodiversité : une complicité à découvrir

Propos recueillis par Clothilde Laute

Rédacteur en chef adjoint

Nous arrivons à un point de développement qui, pour la première fois peut-être dans l'histoire de l'humanité, semble se heurter à la finitude de notre planète. Aux XIX^e et XX^e siècles, la construction a connu de nouveaux développements... Faut-il aujourd'hui abandonner toute ambition ?

Patrice Valantin : Les fières constructions modernes en acier et en béton sont le symbole des Trente Glorieuses, période où l'intelligence de l'homme a permis à une partie de l'humanité de se libérer de nombreuses contraintes naturelles. Malgré ses indéniables bienfaits, cette époque est toutefois révolue. Ce n'est qu'un simple constat. La population mondiale et la disponibilité des espaces et des ressources mettent fin à ce rêve de croissance perpétuelle. Cette évidence ne pose pas de jugement de valeur sur le passé, car la période qui s'achève a apporté des progrès extraordinaires. Nous ne pouvons cependant plus piloter l'avenir en nous inspirant du passé, car les

paramètres ont changé. Cette mutation inéluctable engendre crainte et angoisse et incite certains à se raccrocher aux dernières parcelles de la splendeur d'antan. Il est vrai que le monde du béton et de l'acier est tellement lié à cette période qu'il se demande s'il pourra lui survivre.

Est-ce à dire qu'on ne peut qu'imaginer un avenir « à l'arrêt » ? Ce serait un peu désespérant...

P. V. : Bien au contraire, l'audace devrait pourtant inciter à innover pour bâtir encore et construire les « Cent Glorieuses » en nous tournant résolument vers l'avenir ! Il existe en effet un remède pour lutter contre l'inquiétude, la morosité et se projeter dans l'avenir : c'est la vie.

Que voulez-vous dire par là ?

P. V. : La vie existe depuis 3,8 milliards d'années et elle a réussi à répondre à tous les enjeux. Ce n'est pas une question éthique de protection des espèces vivantes ou de limitation des impacts, mais plutôt de réalisme et d'imitation d'un modèle

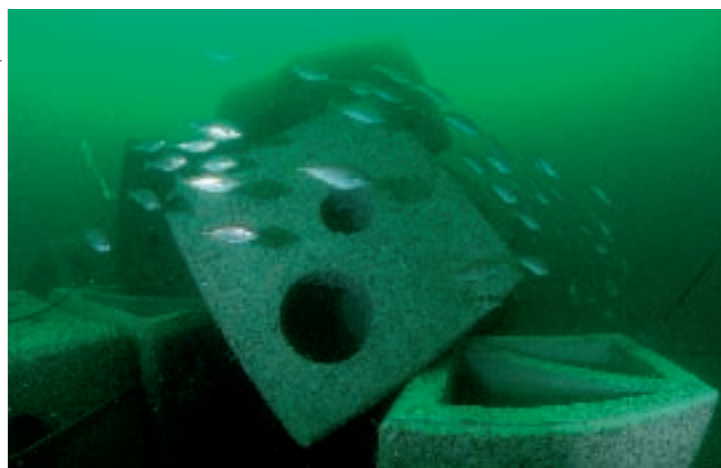
qui fonctionne, pour créer les voies de la prospérité de demain. Une société ne se construit pas sous la contrainte, mais avec des valeurs et de l'espérance. La vie est le modèle par excellence de la durabilité, de l'innovation, de la création, de l'adaptation. Elle est par ailleurs indispensable à notre société puisque 40 % de l'économie mondiale est basée sur les services qu'elle produit. Elle est ainsi à la base de notre bien-être, de notre santé, de notre prospérité, etc.

Bien sûr, mais cela peut paraître contradictoire car, justement, l'emploi de matériaux comme le béton et l'acier n'est-il pas impactant pour les écosystèmes ?

P. V. : Le béton et l'acier sont souvent opposés aux écosystèmes, alors qu'ils peuvent s'inspirer des systèmes vivants pour créer le modèle de demain. Einstein disait : « Nous ne pouvons pas résoudre les problèmes d'aujourd'hui avec le mode de pensée d'aujourd'hui parce que c'est le mode de pensée d'aujourd'hui qui a engendré les pro-

blèmes d'aujourd'hui. » C'est davantage une question de manière de penser, or la vie nous donne cette opportunité de voir le monde différemment. L'écologie et l'économie doivent être repensées dans un nouveau contexte pour assurer la pérennité de nos modèles de société. Il ne s'agit pas de créer une société sans impact, mais une société compatible avec les écosystèmes, simplement parce qu'ils sont à la base de notre bien-être et de notre économie.

Dominique Bidou : Oui. Ainsi, les ouvrages réalisés dans un objectif de biodiversité sont des compensations ou des corrections apportées à des situations dégradées. Ils sont nécessaires bien sûr, mais il vaut toujours mieux intégrer cette préoccupation dans les aménagements et les ouvrages eux-mêmes, dans leur conception, dans leur réalisation et leur exploitation. Le rapprochement des constructeurs d'ouvrages et des biologistes est à ce titre une exigence forte qu'il faut rappeler, et qui sera bénéfique à toutes les professions comme à la biodiversité.



→ Sur la LGV Rhin-Rhône, la continuité des territoires des animaux est assurée par de larges passages à faune.

→ Suivi des récifs artificiels au large d'Étretat par IN VIVO.

N'est-il pas utopique d'imaginer une harmonie parfaite entre les activités humaines et la nature ?

D. B. : Pas du tout. Certes, le développement des villes et la création de grands équipements ont profondément transformé la nature. La biodiversité en a été affectée, avec un risque d'appauvrissement de notre patrimoine. Les études d'impact sur l'environnement ont mis en évidence ce besoin, dans une attitude défensive. Il convient d'aller au-delà, et d'adopter aujourd'hui une attitude plus offensive, de création de richesse biologique.

Et comment créer de la richesse biologique ? Quels nouveaux modes de pensée et quelles solutions concrètes ?

P. V. : Ces nouveaux modèles inspirés du fonctionnement de la vie sont systémiques, et non hiérarchiques. Depuis le commencement de la vie, il n'y a pas de hiérarchie et de planification dans l'organisation des territoires, car ce sont des ensembles de réseaux qui interagissent entre eux. Ainsi, nos entreprises doivent fonctionner en se basant sur la subsidiarité (l'initiative, la décision et l'innovation restent aux plus petits niveaux d'exécution) et non sur un modèle cartésien. L'entreprise « écosystémique », modèle d'avenir, aura cinq caractéristiques inspirées directement des écosystèmes. Elle doit être

systémique (liée aux systèmes, c'est-à-dire aussi aux territoires), coopérative (sans coopération, il ne peut y avoir d'écosystème), évolutive (ceux qui n'évoluent pas régressent par rapport au mouvement de l'ensemble), adaptative (toujours en phase avec le système) et efficace (les circuits ne sont pas forcément courts, mais efficaces. Ce n'est pas la distance qui compte, mais la trajectoire).

Concrètement, ces caractéristiques s'adaptent parfaitement aux constructions modernes qui doivent rivaliser

D. B. : Oui, d'ores et déjà, le béton occupe une place de choix dans la plupart des ouvrages de Génie Civil et des extensions urbaines. Il apporte sa contribution au mouvement qui s'amorce de constitution de trames verte et bleue. Il le fait par la nature des ouvrages auxquels il apporte ses qualités de plasticité, de solidité et de résistance, mais aussi du fait de son origine minérale et de sa composition.

P. V. : Cette alliance entre le Génie Civil et le génie écologique est un exemple du fonctionnement décrit plus haut, qui permet de générer de

béton, au titre du « tiers paysage ». C'est à Lille, avec l'île Derborence dans le parc Matisse, ou à Saint-Nazaire sur les toits de la base sous-marine. Ce n'est pas par hasard. Le béton est un milieu sur lequel la vie peut prendre forme. C'est un matériau minéral à 99 %, dont les composants sont tirés du sol. Il fournit un socle sur lequel la vie peut s'accrocher. Comme sur des parois rocheuses, dans la nature, cela commence par des mousses et des lichens. Puis de l'eau est retenue, des micro-organismes s'installent. Se constitue ainsi la base d'une chaîne du vivant. Bien sûr, on est loin d'un écosystème riche comme ceux que l'on trouve en pleine terre ou dans un marais, mais nous sommes néanmoins en présence d'une nature adaptée à des conditions de vie très particulières, adaptée notamment aux rigueurs de la ville, tout comme la biodiversité inféodée aux falaises sèches.

C'est aussi un matériau « souple » dans son utilisation. Cela a-t-il de l'importance ?

D. B. : Oui, bien entendu. Outre la qualité des surfaces en béton, sa plasticité permet de créer les formes adaptées à ces objectifs. Une vertu qui rend de grands services, en mer et sur terre. Cette facilité à donner aux ouvrages, ou à des parties d'ouvrages, des formes particulières est

« Il ne s'agit pas de créer une société sans impact, mais une société compatible avec les écosystèmes... Ces nouveaux modèles inspirés du fonctionnement de la vie sont systémiques, et non hiérarchiques. »

de technologie et d'innovation pour se développer en restant compatibles avec les écosystèmes. Le béton, par exemple, est un matériau extraordinaire par sa neutralité physico-chimique et sa capacité d'adaptation. Son utilisation peut être repensée en lien avec les professionnels des écosystèmes pour une nouvelle forme d'aménagement du territoire, alliant l'accueil de la vie humaine et de la vie non humaine.

« l'intelligence collective », autre forme de bio-inspiration issue de l'observation des écosystèmes (par exemple les ruches d'abeilles).

Alors le béton est bel et bien LE matériau de la biodiversité ?

D. B. : À de nombreux égards, en effet. Avant tout, c'est un support de vie. Regardez ce qu'a fait le paysagiste Gilles Clément ! Il a réalisé des jardins sauvages sur des socles en

un atout essentiel. Pour y parvenir, l'ingénieur et le biologiste doivent se rapprocher le plus en amont possible. Les ouvrages dédiés à la biodiversité permettent d'acquérir une expérience et des connaissances sur la relation des espèces animales ou végétales avec le béton. Ils donnent des indications sur la manière de favoriser la biodiversité dans les ouvrages « ordinaires », qui ont d'autres finalités. En fait, on peut faire tout ce que l'on veut.

Mais est-ce un vrai changement des mentalités ou s'agit-il simplement de « réparer » des erreurs antérieures ? On parle aujourd'hui beaucoup de « continuités écologiques ».

Le béton y joue-t-il un rôle particulier ?

D. B. : En effet, les ouvrages en béton pour la biodiversité sont le plus souvent créés pour remédier à des atteintes apportées au milieu. Il s'agit de rétablir des continuités qui auraient été compromises par des aménagements antérieurs, ou d'éviter que de nouvelles discontinuités ne soient créées à l'occasion de travaux. Sans être exhaustif, on peut citer quelques cas de figure. Les passes à poissons, qui accompagnent des barrages et permettent aux poissons de remonter ou de descendre les rivières, selon leur mode de reproduction. Elles sont réalisées en béton dans la quasi-totalité des cas, du fait de la stabilité qu'il apporte, de sa neutralité chimique, des facilités de mise en œuvre et de ses capacités d'adaptation. Elles contribuent à la « trame bleue ». Les passages à gibier, et à faune en général (du cerf au crapaud et au petit mammifère) sont aménagés dans des remblais d'autoroute ou de voies ferrées, associés à des ouvrages hydrauliques dont la fonc-

tion est élargie. Il s'agit de lutter contre la fragmentation de grands territoires ou de supprimer des coupures entre des zones de vie de certaines espèces. Quant aux dalles végétalisées, voire même terrasses ou toitures, elles sont utiles pour reconstituer des continuités dans des secteurs fortement urbanisés. Le peu de nature qui subsiste est très fragmenté, alors que la position géo-

« Les ouvrages dédiés à la biodiversité permettent d'acquérir une expérience et des connaissances sur la relation des espèces animales ou végétales avec le béton. »

graphique des villes correspond souvent à des lieux d'échanges et de richesse biologique. Il convient de rétablir des liens pour désenclaver tel ou tel site, réserve potentielle de biodiversité. Si la continuité physique ne peut être rétablie à 100 %, la trame verte peut prendre la forme de « pas japonais », de taches vertes suffisamment proches pour permettre des échanges, même si elles ne sont pas contiguës.

Vous avez évoqué la terre, mais aussi la mer. Quelles sont les utilisations particulières du béton en milieu marin ?

D. B. : Eh bien, par exemple, les qualités de surface du béton sont bien connues en milieu marin. Les recherches sont en cours pour qu'elle offre le maximum de chances à la colonisation. On parle alors d'« écobétons », destinés à favoriser le développement de la faune et de la flore marines.

Plusieurs paramètres y jouent un rôle important : texture/rugosité, couleur, granulats bioactifs et composés chimiques non toxiques. Ce n'est bien sûr qu'un aspect des choses, il faut

aussi étudier les formes et la disposition de ces récifs, en fonction du milieu précis où ils sont implantés, et du type de biodiversité que l'on veut favoriser. Ces habitats artificiels demandent une réponse sur mesure, adaptée aux conditions locales et aux objectifs poursuivis. Une grande diversité de modules existent – plus de cent, rien qu'en France – qui utilisent le béton. Il s'agit en géné-

ral de modules élémentaires, de tailles et de formes variées, déposés en « amas » selon un plan précis, établi en fonction des caractéristiques du milieu et des espèces à favoriser. Les qualités du béton permettent d'en réaliser de très légers, qui peuvent être immergés « à la main » quand il n'est pas possible d'utiliser des barges.

Peut-on dire que, dans ce cas, le béton vient au secours de la biodiversité marine ?

D. B. : Les récifs artificiels ne peuvent résoudre à eux seuls la question de l'appauvrissement de la biodiversité marine, et de la chute des prises de pêche. C'est à l'occasion de travaux d'équipement ou d'aménagement des ports et du littoral qu'il faut favoriser la biodiversité. Le concept « gagnant-gagnant », constitutif du Développement Durable, trouve ici une excellente illustration. Les aménagements intégrés permettent de viser plusieurs objectifs à la fois, fonction nautique et biodiversité notamment. La lutte contre l'érosion du trait de côte et l'implantation d'éoliennes off-shore entrent dans la même

logique. Les ouvrages immergés seront conçus pour offrir le gîte et le couvert à la vie sauvage : des abris pour que les alevins et les jeunes poissons puissent se protéger des prédateurs, des surfaces où s'implantera une vie élémentaire, base d'une pyramide alimentaire. L'éco-conception des ouvrages en mer n'en est qu'à ses débuts, mais elle représente une voie prometteuse, et le béton a les qualités pour y tenir une bonne place.

Terre, mer, aménagement des territoires... ce qui semblait irrécyclable pourrait donc aboutir à relever de beaux défis pour l'avenir ?

P. V. : C'est au niveau des territoires que se développeront les rapprochements entre des cultures et traditions en apparence opposées, et il convient de faciliter toutes les occasions de constructions communes sur le terrain.

Ainsi, le potentiel de coopération entre Génie Civil et Génie Écologique est réel et prometteur, et il dépasse la simple question de la connaissance et de la protection des espèces. Les écologues apportent un autre regard et une réflexion systémique et transversale sur le territoire, avec des pas de temps beaucoup plus longs et une compréhension globale du bien commun.

Nous nous dirigeons vers des zones d'inconnu et il faudra en accepter l'inconfort, car cette réflexion systémique impose de raisonner sans certitudes, ce qui est le plus difficile. Penser différemment impose de prendre des risques.

Les entrepreneurs savent qu'il n'y a pas d'entreprise et de création de valeurs sans prise de risques. Il faut donc « prendre le risque » de travailler ensemble pour enrichir les champs des possibles. ■



Des solutions « béton » pour la protection de la faune

Le bouclage de la liaison autoroutière Rouen – Le Havre par le nord de la Seine comportait une liaison restée inachevée sur un tronçon de 18 km entre Écalles et Barentin : l'autoroute A 150 dont la réalisation est actuellement en cours pour une mise en service prévue le 28 février 2015. Un bouclage très attendu par les habitants et les entreprises des agglomérations rouennaise et havraise. Il s'agit d'une autoroute traversant des réseaux de circulation et de transport denses dans un environnement naturel dont la richesse biologique doit être préservée.

Texte : Marc Montagnon



1



2

→ 1 • Les abords des passages « grande faune » sont aménagés sur des emprises de 1 hectare. 2 • Le passage inférieur de Mesnil-Panneville a été coulé en place.

Cette nouvelle infrastructure est située pour l'essentiel en zone rurale à vocation principalement agricole, abritant une flore et une faune particulièrement riches. Pour leur préservation et pour limiter au minimum l'obstacle que constitue l'autoroute, des mesures d'envergure sont prises, notamment en ce qui concerne les passages de protection pour la faune ainsi que les ouvrages spécifiques pour batraciens.

Ainsi, pour la faune, la transparence de l'autoroute A 150 est totale. Elle est obtenue par la réalisation de plusieurs types d'ouvrages destinés à dif-

férentes espèces. La grande faune (sangliers, chevreuils) pourra traverser l'autoroute en empruntant deux passages spécifiques (un PS et un PI). Le premier, situé à proximité de Flamanville, au nord du tronçon, est un pont d'une largeur de 10 m dont l'implantation est complétée par des écrans en bois situés de part et d'autre des culées d'accès de l'ouvrage afin de masquer aux animaux la circulation routière. Le second, situé à Mesnil-Panneville, est un franchissement sous l'autoroute d'une largeur de 12 m.

GRANDE FAUNE ET BATRACIENS

Au débouché de chacun de ces ouvrages, d'importantes plantations seront effectuées pour constituer de nouveaux boisements destinés à recréer l'aspect et l'état d'origine des lieux.

La grande faune pourra également franchir l'autoroute en passant sous le viaduc de l'Austreberthe, à Barentin, par un corridor naturel identifié empruntant le coteau sud de l'Austreberthe. De leur côté, les batraciens pourront traverser l'autoroute A 150 par deux « batrachoducs », c'est-à-dire

des ouvrages cadres en béton disposés dans les sites de La Charrie, à Bouville, et du Saussay, à Villers-Écalles, deux sites où des migrations d'amphibiens ont été mises en évidence par les enquêteurs spécialistes de la faune.

Enfin, le dispositif est complété par 12 passages de type cadres en béton équipés de banquettes hors d'eau pour permettre le franchissement de l'autoroute par la petite faune : renards, lapins, hérissons...

Viaduc de l'Austreberthe : un survol contemporain

Le tracé de l'autoroute A 150 traverse la vallée de l'Austreberthe au sud de Barentin. La différence d'altitude entre le plateau et le fond de vallée est d'environ 60 m. Le viaduc qui franchit la brèche s'élève à 40 m au-dessus du sol. Sa conception architecturale a été réalisée par le cabinet d'architecture STRATES.

Il constitue un ouvrage de 480 m de longueur dont les 5 piles sont construites dans la vallée. Chaque pile est fondée sur 6 pieux de 1,50 m de diamètre ancrés à 20 m de profondeur. L'ouvrage est conçu pour franchir une vallée sensible et la structure des piles et du tablier réalise un survol franc et contemporain de la brèche. Un coffrage spécialement conçu a permis d'ériger chaque pile au rythme d'environ deux levées par semaine. La partie supérieure de chacune d'elles, sur laquelle repose le chevêtre, est d'un seul tenant : 200 m³ de béton, mis en place en une seule fois au sommet de chacun des appuis.



Photo : Jacques Refuvelle

Chiffres clés	
Longueur :	18 km, 2 x 2 voies
Terrassements :	2 000 000 m ³
Ouvrages d'art :	14
– Viaduc de l'Austreberthe :	480 m de longueur
– Passages routiers (PS et PI) :	13
Bassins d'assainissement :	9
Ouvrages hydrauliques :	19
Ouvrages dédiés au passage de la petite faune :	14
Ouvrages dédiés au passage de la grande faune :	2



3



4

→ 3 • Les PI et PS « grande faune » sont de conception identique aux ouvrages routiers. 4 • Un « batrachoduc » équipé d'une banquette pour la petite faune.

La préservation de la faune constitue désormais une démarche incontournable lors de la réalisation d'une infrastructure autoroutière. Elle résulte d'études et d'inventaires sur le recensement et le déplacement des espèces sur l'emprise des travaux. Ceci aboutit à des mesures importantes, décidées en fonction de la configuration du terrain et de l'observation des espèces, de rétablissement des couloirs de circulation des espèces ainsi que d'aménagements de certains secteurs pour les rendre favorables à l'habitat.

PETITE FAUNE ET AMPHIBIENS

Les passages pour la petite faune sont le plus souvent associés à des ouvrages hydrauliques constitués de cadres en béton, de 1 x 1,50 m et 2,50 x 3 m de section, équipés d'une ou deux banquettes recouvertes de terre permettant la circulation des petits mammifères. Les banquettes sont placées à une hauteur les situant hors d'eau en cas de crue décennale tandis que les ouvrages cadres sont dimensionnés pour une pluie centennale. Lorsqu'il n'est pas possible de jumeler ouvrages hydrauliques et

passages pour petite faune en raison de l'altimétrie du projet, des cadres complémentaires spécifiques en béton préfabriqué ont été posés en parallèle des ouvrages hydrauliques, positionnés de telle sorte qu'ils restent au sec lors de pluies décennales. Les deux « batrachoducs » pour les amphibiens sont de deux types :

- le premier est constitué d'un cadre en béton de 0,80 x 1 m de section ;
- le second est jumelé avec un ouvrage hydraulique, également en béton, de 2,50 x 3 m de section dans lequel sont intégrées des banquettes pour la faune selon le même principe que pour les passages petite faune. Des aménagements sont par ailleurs réalisés, tant pour les passages petite faune que pour les batrachoducs, pour guider les animaux et permettre la création d'habitats à proximité des ouvrages.

PRÉFABRIQUÉ OU COULÉ EN PLACE

Après identification des axes de déplacements privilégiés de la grande faune, constituée essentiellement des sangliers et des chevreuils, il a été décidé d'implanter et de réaliser deux ouvrages dont la structure et les

dimensions sont analogues à celles d'un passage supérieur ou d'un passage inférieur routier classique. Il s'agit d'ouvrages en béton armé de 40 m de portée.

Le premier, situé à Flamanville, est un passage supérieur de 10 m de largeur de type PRAD, dont les appuis ont été coulés en place et le tablier, en poutres précontraintes par adhérence préfabriquées en usine, a été clavé sur site par un hourdis en béton armé.

Le second, à Mesnil-Panneville, est un passage inférieur de 12 m de largeur qui a été coulé en place.

Les abords de ces ouvrages sont aménagés sur des emprises d'une superficie de l'ordre de 1 hectare de façon à rétablir une continuité boisée de nature à favoriser le passage des sangliers et des chevreuils.

Pour la préfabrication, le groupe Razel/Bec – NGE a fait appel à Capremib et Matière pour les ouvrages grande faune ainsi que pour les ouvrages d'art courants et à Bemaco pour les ouvrages petite faune.

L'ensemble des ouvrages contribuant à la protection de l'environnement, à la transparence hydraulique de

l'autoroute et à la préservation de la faune sont réalisés avec une gamme de solutions constructives coulées en place ou préfabriquées en béton. ■

Photos : 1, 2 et 3 Jacques Refuveille ; ouverture et 4 – Marc Montagnon

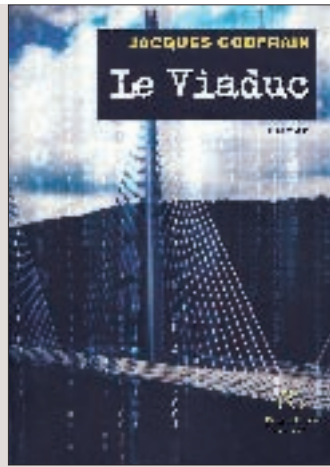
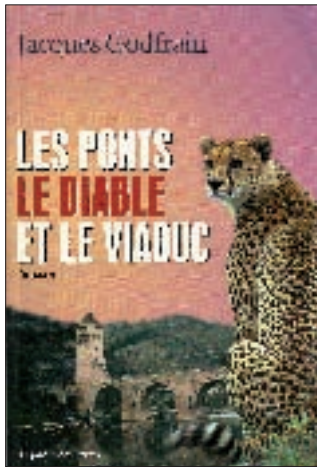


Maître d'ouvrage et société concessionnaire pour la conception, la construction et l'exploitation :
ALBEA
– deux groupes financiers : Infravia et Société financière A 150 ;
– deux groupes de construction : Fayat et NGE

Conception et construction :
GIE A 150 constitué de Ingerop, NGE et Razel/Bec (groupe Fayat).

Fabrication des bétons :
Cemex et Unibéton

Coût : 240 M € HT



JACQUES GODFRAIN



CHRISTIAN TRIDON

Le viaduc, le diable et l'espion

Propos recueillis par : Christian Tridon

Très impliqué dans le projet du viaduc de Millau, Jacques Godfrain, éminent homme politique, en a fait le héros de deux romans. Croyances et ésotérisme pour l'un, espionnage et savoir-faire pour l'autre, il adopte tour à tour les points de vue de l'architecte et de l'ingénieur. Dialogue avec Christian Tridon.

Christian Tridon : *Jacques Godfrain, vous avez été maire, député, ministre. Maire de Millau, vous avez été étroitement mêlé à l'aventure extraordinaire de la construction du viaduc le plus haut du monde. Cela vous a-t-il rappelé la difficulté du parcours politique ?*

Jacques Godfrain : L'art de la politique est de convaincre que la cause que l'on défend est une cause juste pour laquelle il faut un regard qui dépasse l'horizon, une vision. Il en est de même pour justifier un grand chantier dont le citoyen pense qu'il va bouleverser sa vie, et pas obligatoirement l'améliorer.

Il fallait un tout autre état d'esprit et une autre motivation pour se lancer dans la construction des cathédrales, puisque les premiers ouvriers et archi-

tectes savaient qu'ils ne la verraient jamais achevée.

En ce qui concerne les ponts, qui peut imaginer qu'au-delà du rapprochement des hommes, il existe des effets secondaires inimaginables comme la création d'une ville, de commerces, d'échanges, d'activités nouvelles ?

Bref, comme en politique, c'est l'inattendu qui se produit. Qui aurait pensé que dire « *La France a perdu une bataille mais n'a pas perdu la guerre* » le 18 juin 1940 ferait que, 4 ans plus tard, elle serait au Conseil de sécurité des Nations Unies ? Et la tour Eiffel était un édifice qui devait rester éphémère. Il est aujourd'hui l'un des monuments les plus visités au monde...

On pourrait multiplier ainsi les exemples de constructeurs et d'hommes politiques visionnaires. Les grands politiques et les grands bâtisseurs ont ceci en commun qu'ils savent maîtriser les ruptures historiques ou les grandes inventions pour imaginer et inventer un nouveau monde. Récemment encore, le président de la République de Chine, pays communiste, a demandé à venir passer une soirée au château de Versailles, berceau d'une monarchie d'essence chrétienne... Cela prouve une nouvelle

fois que l'inattendu est commun à la décision politique et à la décision de construire.

C. T. : *Le pont est, par essence, un trait d'union entre les hommes. C'est aussi un moyen physique de franchir le vide et d'aller vers l'inconnu. Le diable y fait paraître sa moisson d'âmes. Dans Les Ponts, le diable et le viaduc, vous racontez que trois émeraudes seraient noyées dans le coulage de la pile la plus haute comme contrepartie que le concepteur doit payer au diable pour protéger son ouvrage des maléfices. Vous décrivez la scène de cette curieuse négociation dans le seul endroit vraisemblable où elle pouvait avoir lieu : l'enfer de Las Vegas. Les Américains ne s'en sont-ils pas trop émus ? Et ces émeraudes y sont-elles réellement ?*

J. G. : Il arrive un moment où le pouvoir rend fou. L'invincibilité dont se croyaient dotés certains chevaliers du Moyen Âge ou certains dictateurs plus contemporains relève de ce syndrome. Orgueil, démesure, perte des repères... Ainsi, comment un peuple d'un milliard trois cent mille habitants,

qui a su résoudre le problème de la faim, peut-il s'imaginer incapable de faire moins bien qu'un petit pays de soixante millions ? Or, c'est la preuve que la taille ne fait pas tout. C'est ce que j'ai essayé de montrer dans ces pages.

L'Amérique est le lieu où se côtoient le pire et le meilleur. Les Américains sont de grands enfants qui ont su nous faire rêver en marchant sur la lune. Mais si le diable existe, Vegas pourrait effectivement en être son lieu de prédilection.

Bien sûr, j'oppose le rôle de l'imagination et du virtuel à celui du marché et du concret. Si je vous affirme que les émeraudes existent bien, il y aura des marteaux piqueurs qui frapperont le béton pour les retrouver. Si je vous dis que ce n'est que de la pure imagination, le résultat sera le même car on voudra vérifier. Il faut laisser le doute et surtout que chaque lecteur ait sa liberté de pensée.

C. T. : *Vous avez recensé près de 500 « ponts du diable » sur le territoire français. Ésotérisme et croyances les entourent : on dit que l'âme du premier à franchir l'ouvrage sera récupérée par le*

diabla. Autrefois, les constructeurs passaient un pacte avec lui. Aujourd'hui, on laisse souvent aux hommes politiques le soin d'inaugurer les ponts. Quand on connaît ces légendes, serait-ce un moyen d'en éliminer certains ? Et comment avez-vous pu, vous, « homo politicus » d'expérience, laisser un célèbre président de la République s'y risquer à son tour ?

J. G. : Ce qui élimine les hommes politiques, ce n'est pas l'inauguration des ponts. C'est le fait qu'en regardant que ce qui est sous leurs pas, et pas suffisamment ce qui est au loin, ils finissent par ignorer le but du parcours. Or, tout mouvement a sa raison d'être. Inaugurer en se contentant de ne voir que le pas d'après ne suscite aucune envie d'aller plus loin et c'est la fin. Qu'est-il plus grand que les continents ? Les mers. Qu'est-il plus grand que les mers ? LE CIEL. Qu'est-il plus grand que le ciel ? Ce qui est dans le cœur des Hommes.

C'est ce que j'ai voulu faire comprendre dans ces quelques pages.

En venant franchir le premier le viaduc, le président Chirac savait parfaitement ce qu'il faisait. Outre le risque qu'il prenait, il venait aussi transformer une ville, un paysage, une économie.

C. T. : *Votre autre roman, Le Viaduc, est un mélange d'Indiana Jones et d'OSS 117. Nous sommes transportés du Périgord à Kuala Lumpur, de Pékin à Hong Kong, de Millau à Macao... Un petit génie en informatique va se brancher illégalement sur le logiciel de calcul*

du concepteur du viaduc de Millau afin d'en extraire les données nécessaires pour pouvoir construire un pont entre Hong Kong et Macao. Avez-vous eu le sentiment d'être un peu à l'origine de la construction du pont qui s'y construit actuellement ? Ou avez-vous pris ce projet comme point de départ de votre histoire ?

J. G. : C'est bien le viaduc de Millau qui est à l'origine de beaucoup de nouveaux grands projets à travers le monde. Le rapprochement Foster-Virlogeux pour ce viaduc a produit une alchimie technologique exceptionnelle, dont beaucoup de nouveaux ponts, comme celui de Hong Kong, ont sans doute bénéficié.

Millau marquera l'histoire de la construction des franchissements comme a pu le faire en son temps l'utilisation du fer ou de la machine à vapeur.

C. T. : *Souhaitant construire ce pont, les Chinois, nouvellement réinstallés à Hong Kong, voulaient aller vite. L'espionnage qu'ils vont mettre en place est diabolique. Et vous imaginez en retour une machination non moins diabolique, puisque de savantes erreurs seront glissées dans les logiciels afin que les copieurs soient leurrés.*

Les Chinois n'ont-ils pas été vexés que vous ayez pu tromper leurs ingénieurs aussi facilement, au point de se lancer dans la construction d'un ouvrage inconcevable ? Ou peut-être ont-ils été aveuglément séduits par l'audace des ingénieurs français dans la conception

du viaduc de Millau et la confiance qu'ils leur portaient, au point de tout copier sans rien vérifier ?

J. G. : L'âme de la Chine est, d'expérience, plutôt modeste. « Nous avons tout à apprendre des autres », disent-ils. Mais au fond, ils ressentent une immense fierté d'avoir construit la Grande Muraille et la Cité Interdite. Aujourd'hui, ils sont nos concurrents sur de nombreux sites mondiaux et particulièrement en Afrique.

Le temps dira si leur savoir-faire d'aujourd'hui dans le domaine de la construction sera suffisant pour que ces édifices franchissent eux aussi les siècles !

Beaucoup de Chinois me disent qu'ils auraient pu construire le viaduc de Millau en un délai encore plus court ! Pourtant la performance du constructeur est d'avoir réalisé, en 3 ans, un ouvrage exceptionnel qui doit, en principe, offrir ses services pour les 120 prochaines années. Qui peut promettre mieux ?

C. T. : *Cette histoire met en évidence l'espionnage industriel, les contrefaçons et la sécurité numérique⁽¹⁾. Peut-on tout copier ? Les sacs à main, les montres, les voitures, les avions, les viaducs ?*

J. G. : Le droit à l'image et l'importance de l'origine contrôlée font partie des grands problèmes actuels du monde économique. Cela vaut pour le saint-estèphe, le roquefort, tout comme pour la technologie des ouvrages d'art. L'intelligence et la matière grise doivent être autant protégées que le pétrole ou le charbon.

Les produits identifiés ne valent que si les imitations sont dénoncées. C'était ici le cas.

C. T. : *Le clonage nous ouvre-t-il à présent l'ère de la copie conforme de l'être humain ?*

J. G. : Bien que certaines applications puissent avoir sans doute un réel intérêt, l'avenir dira si l'Homme souhaite continuer à vivre parmi des congénères naturellement diversifiés, ou si malheureusement il préfère agir sur la qualité de l'espèce humaine. Certains en ont beaucoup rêvé.

C. T. : *Grand humaniste, vous aimez ce qui fait la vie et ceux qui vous entourent. Vous nous avez fait vibrer de plaisir avec ces deux romans. Sans plagier les Vingt Ans après d'Alexandre Dumas, pensez-vous à une suite comme Le Viaduc 15 ans après ?*

J. G. : Les ponts sont un lien symbolique entre les Hommes, ils ont toujours eu pour rôle de créer des rencontres, du lien. Dans quinze ans de plus, gageons que d'autres rencontres simplifieront la convivialité et la richesse des échanges. ■

Interview mise en forme par
Clothilde Laute

Les Ponts, le diable et le viaduc – Le Jardin des livres, 2003.

Le Viaduc – Pascal Galodé éditeurs, 2012.

¹ – Jacques Godfrain a été l'auteur, en 1988, de la première loi sur la sécurité informatique, texte clé pour la confiance dans l'économie numérique.

Jacques Godfrain est président de la Fondation Charles de Gaulle, président de l'association « France Volontaire » (promotion du volontariat international contre la faim) et président de « La Méridienne » pour la promotion touristique et économique de l'autoroute A 75.

Christian Tridon est président du STRES (Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement des structures). Passionné de ponts et disciple de Claude Nougaro, il organise chaque année depuis 19 ans le colloque *Le Pont* à Toulouse.



COMPOSÉS VOLATILS

Dominique Bidou,
co-auteur Gilles Sacksick

Pour le plaisir des mots, promenenons-nous en compagnie de Dominique Bidou qui décorative avec poésie quelques jolis mots composés de la langue française. L'assemblage de ces « composés » colorés, expressifs, compose une gamme étonnante, allant de l'esprit rabelaisien aux harmonies les plus subtiles. Un jeu en somme, jeu de mots, de sonorités, d'esprit pour créer des ambiances, raconter des histoires ou même s'inventer et former un généreux et jouissif paysage.

Élégamment illustré par Gilles Sacksick, cet album magnifiquement réalisé est un joli clin d'œil pour nous rappeler que les « composés volatils » ne sont pas que des particules fines, mais aussi des envolées lyriques. ■

Éditions Litho-Lissac



LUC WEIZMANN ARCHITECTE Espaces inattendus

Luc Weizmann et Delphine Désveaux

L'agence d'architecture Luc Weizmann s'est spécialisée depuis une vingtaine d'années dans la conception de projets atypiques au service de l'environnement, singuliers tant par leurs natures et leurs fonctionnalités, tels que stations d'épuration, unités biochimiques ou barrages. Organisation fonctionnelle, dessin rigoureux, subtilité des finitions sont la marque de fabrique de cette architecture qui affirme tout à la fois une vérité fonctionnelle et une dimension plastique inattendue. À travers huit de ces projets hors normes, l'ouvrage propose un tour d'horizon de ce que peut être une architecture audacieuse pour des équipements au service de l'intérêt général. ■

Créaphis Éditions



INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE APPLIQUÉE AUX MILIEUX AQUATIQUES – Pourquoi ? Comment ?

Collectif, coordination Bernard Chocat

Cet ouvrage collectif rassemble des informations détaillées sur les concepts et les pratiques liés à l'ingénierie écologique appliquée plus spécifiquement à la préservation et la restauration des milieux aquatiques. Elle est établie sur la compréhension et l'observation sur le terrain des écosystèmes, de leur dynamique, de leur résilience et de leurs fonctionnalités. Cette ingénierie du XXI^e siècle permet ainsi de constituer les conditions de leurs dynamiques évolutives en interaction avec les activités humaines. Une série d'exemples de projets locaux ayant recours à l'ingénierie écologique complète cette étude. ■

ASTEÉ avec le soutien de l'Onema
Téléchargeable sur www.aste.org

Publications

La collection « Solutions béton » de CIMbéton



Béton et biodiversité : **une complicité à découvrir**

Pour rétablir les continuités écologiques perturbées par l'activité humaine, il est essentiel de redonner de l'unité au territoire (trames verte et bleue). Présent dans tous les aménagements pour ses qualités de solidité et de résistance, le béton peut de plus, en raison de son origine minérale et de sa malléabilité, se mettre au service du génie écologique. ■

Réf. SB-OA 2013-3.



Le cycle des déchets : **vers un écosystème urbain circulaire**

La transformation des déchets en ressources engage la ville dans une économie circulaire. Cette organisation fait appel à des process en usine dont la conception et la réalisation sont complexes. Atouts économiques, propriétés, performances mécaniques et durabilité font du béton un constituant incontournable de l'aménagement durable des territoires. ■

Réf. SB-OA 2013-4.



Le béton, comme un poisson dans l'eau

Matériau clé des aménagements fluviaux et maritimes, le béton peut de plus contribuer à améliorer la qualité de l'environnement. Ses atouts de solidité, résistance, neutralité chimique permettent d'intégrer dans les aménagements apportés par l'homme, dès leur conception, des solutions « positives » pour la biodiversité. ■

Réf. SB-OA 2013-5.

Agenda

CACHAN – ESTP

GC 2015

18 et 19 mars 2015

L'AFGC en partenariat avec l'École Française du Béton, organise le 18 et le 19 mars 2015 les journées techniques GC 2015 sur le thème : « Génie Civil en transition »... ■
www.afgc.asso.fr

CACHAN – ESTP

L'ESTP ET LA FILIÈRE CIMENT ET BÉTON CRÉENT UNE CHAIRE INGÉNIERIE DES BÉTONS

Le 17 juin 2014, l'ESTP Paris a inauguré un nouveau Laboratoire 100 % dédié aux matériaux cimentaires et a présenté sa nouvelle Chaire Ingénierie des Bétons. Soutenue par CIMbéton, la Fondation École Française du Béton et l'Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques, cette Chaire va devenir un lieu privilégié de recherche sur les bétons. ■

JOURNÉES TECHNIQUES

APPROCHE PERFORMANTIÈLE DES BÉTONS

ENPC à Mame-la-Vallée

le 23 octobre 2014

INSA à Toulouse le 9 décembre 2014

L'AFGC, CIMbéton et le SNBPE, en partenariat avec les COTITA et le CEREMA, proposent des journées d'information pour mieux comprendre les enjeux de l'approche performantielle,

afin de concevoir, construire et gérer des structures durables en béton, en cohérence avec le cadre normatif européen. ■

Contact : p.guiraud@cimbeton.net

CRÉATION DE L'UNION DES ASSOCIATIONS FRANÇAISES DE GÉNIE CIVIL

L'UAFGC a été constituée entre les associations suivantes : l'AFGC, l'AUGC, Asco TP, l'association Eugène Freyssinet, l'APMBTP, l'AFPS et l'IMGC. Cette union a pour objectif de promouvoir et coordonner les actions dans les secteurs de l'enseignement, de l'innovation et de la valorisation du patrimoine. Ainsi, elle va s'attacher à soutenir les initiatives au profit de l'enseignement, de la formation et de la recherche en matière de Génie Civil et de construction, notamment par la promotion de programmes de recherche et d'innovation et en développant l'attractivité des métiers du Génie Civil auprès des jeunes.

L'UAFGC assurera la promotion des progrès dans les domaines des matériaux, structures, techniques et méthodes de construction. Elle mettra en valeur l'innovation et l'excellence dans les domaines du Génie Civil et de la construction et s'assurera de la diffusion et du rayonnement international du savoir-faire français dans ces secteurs. Elle a également pour but la mise en valeur et la préservation du patrimoine des ouvrages de Génie Civil et l'hommage aux grands noms qui y sont associés. ■

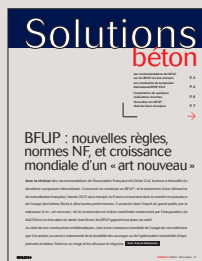
Hommage



Photo : DR

LAURENT BARBIER

L'architecte Laurent Barbier est décédé en février dernier à l'âge de 55 ans. Architecte et Urbaniste de formation, il s'est spécialisé dans la conception des ouvrages d'art, des espaces urbains et routiers. Au cours de plus de 25 années d'activité, il a participé à la conception et à la réalisation de nombreux ponts, parmi lesquels on peut citer le nouveau pont à haubans de Puget-Théniers (cf. *CM OA 2004*). La qualité et la pertinence du travail de Laurent Barbier ont été reconnues par différents prix qui lui ont été décernés pour ses réalisations en France, le « Ruban de Bronze » en 1993 et le « Ruban d'Argent » en 1999, entre autres. *Construction Moderne ouvrages d'art* s'associe au souvenir de Laurent Barbier et exprime toute sa sympathie à ses proches. ■



BFUP : nouvelles règles, normes NF, et croissance mondiale d'un « art nouveau »

Outre de grandes réalisations emblématiques, l'utilisation des BFUP s'accroît, notamment au service de la durabilité et de l'esthétique des ouvrages. Cette évolution s'accompagne d'une révision des recommandations de l'AFGC et d'une démarche de normalisation française afin de consolider les acquis techniques et les conditions de qualité et de sécurité associés à ces réalisations. ■

Réf. SB-OA 2013-6.



Les stations d'épuration des eaux usées

Pour ces ouvrages complexes, le béton offre des solutions techniques adaptées et pérennes qui répondent à des exigences fonctionnelles, environnementales et structurelles liées aux spécificités des processus de traitement et aux évolutions réglementaires de plus en plus contraignantes, dans une logique d'intégration paysagère et architecturale. ■

Réf. SB-OA 2014-1.



Collection technique de CIMbéton

Recueil des publications Bétons et Génie Civil – Édition 2014

Ce recueil regroupe l'ensemble des docu-

mentations techniques de CIMbéton consacrées aux ouvrages d'art et au Génie Civil. Elles précisent les spécificités de conception des structures, de formulation, de mise en œuvre des bétons et d'optimisation de la durée d'utilisation des ouvrages. Elles présentent des solutions constructives et innovantes, économiquement viables, pérennes et qui répondent aux exigences du Développement Durable et aux défis des concepteurs et des architectes. ■

LA RECHERCHE ET L'INNOVATION RÉCOMPENSÉES

Trophée Eugène Freyssinet

Le Trophée Eugène Freyssinet a été remis le **5 mars 2014** par l'Association Eugène Freyssinet à huit ingénieurs, jeunes ou confirmés, « *instigateurs d'innovations porteuses de progrès dans le domaine des matériaux nouveaux, ou encore d'une utilisation novatrice des techniques et matériaux existants* ».

Parmi eux, le duo **Romain Ricciotti** (ENPC) et **Guillaume Lamoureux** (ESTP) a reçu le **2^e prix ex-aequo** pour son travail sur les BFUP (bétons fibrés à ultra hautes performances) au travers de nombreuses et remarquables réalisations, notamment les passerelles du fort Saint-Jean à Marseille, le Mucem, ou encore le stade Jean Bouin (cf. *CM OA 2013* pp. 23-27) à Paris et le pont de la République à Montpellier (cf. pp. 6-9 de ce numéro). ■



→ Le stade Jean Bouin, à Paris. Photo : Olivier Amsellem.

Médaille internationale RILEM Robert L'Hermite 2014



La RILEM décerne chaque année la médaille internationale Robert L'Hermite à un chercheur de moins de 40 ans menant une recherche scientifique de haut niveau dans le domaine des matériaux de construction et des structures. **Alexandra Bertron** a été distinguée cette année par le jury pour « *ses apports significatifs en recherche, sa participation active et son leadership dans les activités de la RILEM, les échanges internationaux qu'elle a mis en œuvre et la grande qualité de son travail* ».

Alexandra Bertron est maître de conférences en Génie Civil à l'université Paul Sabatier depuis 2006 et habilitée à diriger des recherches depuis 2013. Elle est diplômée de l'École normale supérieure de Cachan où elle a obtenu l'agrégation de Génie Civil en 2000. Elle est également docteur de l'INSA de Toulouse. Ses activités de recherche, développées

au Laboratoire matériaux et durabilité des constructions (Toulouse), concernent principalement les interactions entre les matériaux cimentaires et les micro-organismes dans un objectif d'amélioration de la qualité des ouvrages en béton. Ses travaux portent sur la durabilité des bétons en environnements agro-industriels, les réseaux d'assainissement et le stockage des déchets radioactifs. ■

Le Prix Aga Khan pour le pont Hassan II entre Rabat et Salé

Décerné tous les trois ans à des projets qui ont su établir de nouveaux standards d'excellence en architecture, aménagement urbain ou paysager, le **Prix Aga Khan** a récompensé le **6 septembre 2013** l'architecte **Marc Mimram** pour le pont Hassan II entre Rabat et Salé. Véritable projet d'infrastructure urbaine, porté par un geste architectural parfaitement intégré à son environnement, c'est la première fois que le prix distingue une réalisation de ce type. Cette dentelle de béton de ciment blanc renforce les axes de circulation, comme nous confiait **Marc Mimram** en 2011 : « *La condition essentielle du projet, c'est l'adoption d'un transport collectif (...). C'est un symbole du lien entre la ville administrative et la ville populaire. Créer du lien, c'est mon travail. L'infrastructure devient un bien partagé, et non un mal nécessaire.* » (cf. *CM OA 2011*, pp. 27-31) ■



→ Le pont Hassan II, au Maroc. Photo : Jacques Durst.

Grand prix national de l'ingénierie 2013

Le prix Aménagement-construction a été décerné à **Jean-Marc Tanis**, **Frédéric Menuel**, **Mathieu Cardin** (EGIS), **Michel Virlogeux** (consultant), **Paul M. Skelton** (Hardesty & Hanover), **Thomas Lavigne** et **Christophe Chéron** (Architectes DPLG), **Alain Denat**, **Gilles Vanbremeersch** et **Alain Frbezar** (Vinci Construction) pour la conception et la construction du pont **Jacques Chaban-Delmas** à Bordeaux (cf. *CM OA 2012*, pp. 10-14). Cette reconnaissance, au plan national et international, d'un travail collectif de 10 ans distingue un ouvrage d'art exceptionnel. Il compte aujourd'hui parmi les plus grands ponts

levants au monde : sa travée centrale de 117 m de longueur et 45 m de largeur dégage une passe navigable de 53 m, pour laisser passer les hauts voiliers et les paquebots en provenance de la Gironde. Esthétiquement, la forme elliptique des voiles en béton qui s'élancent vers le ciel évoque des flèches de cathédrale, tandis qu'un bandeau vitré toute hauteur affine leur silhouette. Le pont concilie la finesse du trait architectural et les contraintes liées aux équipements fonctionnels grâce, entre autres, à la mise au point d'un système de levage à la fois léger et résistant. ■



→ Le pont Chaban-Delmas, à Bordeaux (photomontage), Lavigne et Chéron Architectes – Fondation BELEM.

Deux prix internationaux pour le pont de Térénez

Le pont haubané courbe de Térénez (cf. *CM OA 2009*, pp. 1-4), qui donne accès à la presqu'île de Crozon dans le Finistère, a reçu en **février 2014** à Bombay le **prix de la fédération internationale du béton (fib) 2014** du plus bel ouvrage d'art. Ce prix succède à la récompense *World Infrastructure Award* décernée en 2013 par la revue éponyme. Conçu par l'architecte **Charles Lavigne** et l'ingénieur **Michel Virlogeux**, cet ouvrage, qui allie audace et créativité, est exceptionnel dans ses formes et pour ses techniques de réalisation. D'une portée courbe de 285 m lancée entre les deux pylônes en lambda de 100 m de hauteur, le fin tablier en forme d'assiette renversée dessine une ligne aérienne et élégante qui s'inscrit naturellement dans le paysage breton. ■



→ Le pont de Térénez, en Bretagne. Photo : Lavigne et Chéron Architectes.

POUVOIR TESTER POUR **COMPRENDRE ET APPRENDRE**

Directement issus du savoir-faire de l'industrie, et développé en partenariat avec des professeurs de mécanique et sciences de l'ingénieur, de nouveaux matériels didactiques orientés « **Génie Civil** » font leur apparition au sein des établissements d'enseignement technologique. Ils **devraient aussi intégrer les formations des ingénieurs et architectes**. Il s'agit du banc de RDM (résistance des matériaux) baptisé BED 100, et du simulateur de séisme SYSMO, fabriqués par la société 3R (Recherches et Réalisations Rémy).

TESTER ET COMPRENDRE, EFFORTS ET DÉFORMATIONS

Le banc d'essais de structure BED 100 permet de tester en grandeur réelle la résistance d'une poutre de section carrée, rectangulaire ou en « I ». Il permet de tester également la déformation d'une potence, d'un portique, encastré ou non, d'un treillis articulé, instrumenté ou non, d'une charge répartie, d'une flexion 3 ou 4 points, ou d'un couple...

Ce banc d'essais se caractérise par une grande modularité. En effet, l'espace de travail peut être modifié à volonté, les appuis, les actionneurs, les capteurs de déplacement sont interchangeables et amovibles, offrant la possibilité de créer des configurations d'études personnalisées. Équipé d'un vérin électromécanique de 100 daN (ou 2 en option), avec capteur de force et capteur de déplacement intégrés, il possède son propre PC, qui permet à la fois de piloter le ou les vérins d'essais, mais également de tracer la courbe d'essai, enregistrer les résultats, éditer un compte rendu.

Chaque actionneur et capteur est « *plug and play* », relié *via* USB à l'unité de pilotage qui les gère comme des périphériques de sortie et/ou d'acquisition. Quelques exemples de configuration permettent de mettre en évidence les caractéristiques mécaniques des structures étudiées. Les actionneurs sont pilotés en force ou déplacement, il est donc possible d'appliquer une contrainte prédéterminée ou d'imposer un déplacement à la structure. L'utilisateur peut décider de mesurer en plusieurs points de la structure un effort, un moment, une déformation relative à la sollicitation. L'analyse des résultats sous Excel® permet de traiter les valeurs brutes obtenues durant la manipulation et d'exploiter les courbes d'évolution des contraintes et déplacements.

Les Travaux Pratiques peuvent être orientés pour :

- La détermination de moments quadratiques de structures simples et complexes ;
- La caractérisation de matériaux et d'assemblages ;
- La vérification des déformations de structures complexes...

L'exploitation des résultats est réalisée sous Excel, après enregistrement des paramètres d'essais et des données issues de tous les capteurs. L'utilisateur peut enregistrer des modèles de calculs et les appliquer à toutes les futures manipulations.

Déjà installé dans plus de 150 lycées en France (filière STI2D – option Architecture et Construction), le BED 100 participe à la formation de nombreux d'étudiants pour qui « effort, déplacement » ou « encastrement » deviennent des notions concrètes.

SIMULER LES SÉISMES

Le simulateur de séisme SYSMO est conçu pour faire comprendre aux élèves le lien entre la fréquence propre des séismes et leur dangerosité. L'étude des structures complexes de Génie Civil est primordiale pour assurer la sécurité et la pérennité des ouvrages.

Ce banc d'essai permet d'étudier plusieurs solutions techniques à adopter sur des structures face à des secousses sismiques : le système de masse accordée, le renforcement de la structure, la hauteur et les appuis néoprène. Le plateau tournant permet de visualiser l'effet de la sollicitation sous différents angles d'incidences de l'excitation. Les éléments de structure amovibles permettent de valider leur efficacité pour lutter contre les effets des séismes.

Le dispositif de visualisation des effets des sollicitations sismiques sur une structure comprend un bâti lourd monté sur plots antivibratoires, surmonté d'un plateau oscillant sur supports élastiques, avec plateau tournant indexable. Équipé d'un excitateur à fréquence réglable de 0 à 20 Hz et d'une amplitude de 5 mm, le banc d'essai SYSMO est livré avec un jeu de différentes structures en tôle représentant un bâtiment, avec planchers, contreventements, suspension, masse pendulaire et tirants amovibles. Il peut être équipé d'un dispositif de mesure et de visualisation des accélérations sur une structure soumise à un séisme, comprenant deux accéléromètres triaxiaux +/- 60 m/s² (6g).

Également installé au sein de plusieurs dizaines d'établissements : **le SYSMO permet aux élèves des filières « Génie Civil » d'appréhender efficacement leurs premières notions de sismique.** ■



→ 1 • BED 100 avec ses accessoires et exemple de configuration (potence). 2 • Simulateur de séisme SYSMO.

En 4^e de couverture : Estacade de la Folie, Poitiers. • Photo : Michel Barberon →

