

# CONSTRUCTION

ANNUEL OUVRAGES D'ART 2009

# MODERNE



# éditorial

À l'aune du Grenelle de l'environnement et des projets de Relance, préparer les jeunes générations aux nouveaux enjeux et métiers des travaux publics et du bâtiment est très mobilisant.

Ces défis ouvrent un champ d'innovation passionnant qui stimule la pédagogie et la recherche à l'ESTP, dans le domaine de la construction et de l'aménagement durable en général, dans celui des matériaux en particulier. L'essor de nos projets industriels et le développement de nos laboratoires témoignent de la nouvelle dynamique de recherche de l'école. Ainsi, le partenariat développé avec Cimbéton, qui se concrétise en particulier par le soutien à la Journée Innovation, illustre le renforcement des liens entre l'école et les acteurs de la profession.

Fort de tels partenariats, l'ESTP s'affirme aujourd'hui comme un pôle de formation et d'innovation en génie civil, aménagement et bâtiment pour bâtir et réinventer avec les acteurs de la construction les métiers et compétences de demain.

FLORENCE DARMON

Directeur général de l'ESTP

(École Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment de l'Industrie)



>> Couverture  
Pont de Térénez, Finistère (29).  
Photo: Michel Barberon.

**CIMbéton**  
CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

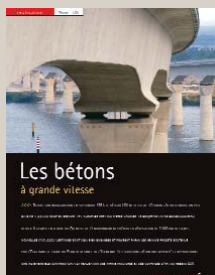
7, place de La Défense • 92974 Paris-La-Défense Cedex  
Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10  
• E-mail : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) •  
• internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) •

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION: Anne Bernard-Gély • DIRECTEUR DE LA RÉDACTION: François L'Huilier • RÉDACTEUR EN CHEF: Norbert Laurent • CONSEILLER TECHNIQUE: Patrick Guiraud •  
SECRÉTAIRE DE RÉDACTION: Clothilde Laute • CONCEPTION, RÉDACTION ET RÉALISATION: EDITIONS PC 35, Quai André Citroën – 75015 Paris, Philippe Chauveau, Sophie Chauvin, Guillaume Portmann •  
Pour tout renseignement concernant la rédaction, tél. : 01 55 23 01 00 • La revue *Construction moderne* est consultable sur [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) • Nous vous remercions d'adresser vos demandes d'abonnement par fax au 01 55 23 01 10 ou par courriel à [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) •

## Sommaire • Numéro annuel Ouvrages d'art • édition 2009



>> PAGE 01 > Finistère  
Pont de Térénez



>> PAGE 05 > France – LGV



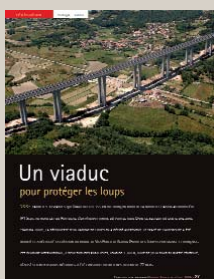
>> PAGE 11 > Corse-du-Sud  
Pont d'Abra



>> PAGE 15 > Prescription  
des ciments pour des ouvrages  
durables



>> PAGE 23 > Loiret – A 19



>> PAGE 27 > Portugal  
Viaduc de Vila Pouca de Aguiar



>> PAGE 31 > Hagondange  
Forum pédagogique



>> PAGE 32 > Réalisations  
Chantiers autour du monde



>> PAGE 34 > Passerelles  
et bétons



>> PAGE 36 > Bloc-notes  
et bétons





# Extrême courbure pour un franchissement aérien

>>> POUR SÉCURISER UNE ROUTE ENTRE LE FINISTÈRE NORD ET LA PRESQU'ÎLE DE CROZON, UN NOUVEL OUVRAGE DE L'ARCHITECTE CHARLES LAVIGNE EST EN CONSTRUCTION SUR LA RIVIÈRE AULNE. ALLIANT AUDACE ET CRÉATIVITÉ ARCHITECTURALE, LE PONT DE TÉRÉNEZ SERA LE PREMIER OUVRAGE COURBE À HAUBANS DE FRANCE ET SES 285 M DE PORTÉE CENTRALE LANÇÉE ENTRE DEUX PYLÔNES EN FORME DE LAMBDA LUI DONNERONT LE RECORD DU MONDE POUR UNE TELLE TRAVÉE COURBE. EN 2010, IL VA SE SUBSTITUER À L'ANCIEN PONT ÉDIFIÉ EN 1925, RESTAURÉ APRÈS LA GUERRE, MAIS QUI PRÉSENTE AUJOURD'HUI D'INQUIÉTANTS SIGNES DE FATIGUE.



**A**udace et gigantisme, “le futur pont de Térénez est un ouvrage exceptionnel dans ses formes et pour ses techniques de réalisation, presque une œuvre de sculpteur. Le résultat offrira une silhouette très aérienne posée sur deux pylônes aux formes épurées, inclinés, comme couchés par les vents, dans ce site magnifique au cœur du Finistère”. L’architecte Charles Lavigne, décédé en 2004, serait sans doute fier aujourd’hui de voir surgir peu à peu l’une de ses ultimes œuvres sur la rivière Aulne. Situé au sud de Brest, sur la route reliant la presqu’île de Crozon et le Finistère Nord, ce pont courbe à haubans sera le premier de ce type en France et sa portée centrale de 285 m lui donnera le record du monde pour une telle travée courbe.

C’est en 1998 que les autorités, le Conseil général du Finistère en tête, qui prend en charge le coût estimé à 35 millions d’euros, et un comité de pilotage associant élus locaux et équipes techniques, optent pour la création de ce nouvel ouvrage, parallèle à l’existant voué à disparaître.

### Un site à forte valeur écologique

Le site vallonné, “à forte valeur écologique et paysagère marquée par les méandres de l’Aulne”, large à cet endroit de presque 300 m et dans lequel il n’y aurait aucune pile, mérite un ouvrage de très grande qualité esthétique. Le pont devait donc être conçu pour embellir ce site. Il trouve à cette époque une alliée de poids en la personne d’Yvette Duval, vice-présidente du Conseil général, alors au service aménagement et environnement, qui insistait sur le fait que l’ouvrage devrait “attirer le regard et être en harmonie avec le paysage”. Le service d’études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Sétra), maître d’œuvre, prend en charge le projet avec Charles Lavigne et Michel Virlogeux, ingénieur-consultant. Au départ, le nouveau pont devait être rectiligne et se raccorder par deux virages

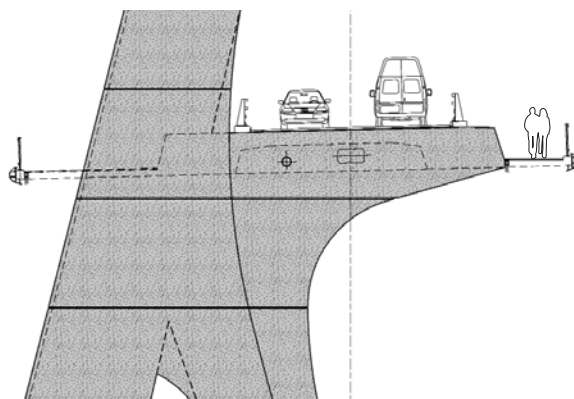
➤➤➤ **1** Début juin, le pylône (au fond) a atteint sa hauteur définitive de 100 m au-dessus de l’eau. **2** La forme en lambda est issue de l’étude préalable d’une dizaine d’hypothèses. **3** La géométrie complexe du pylône nécessite l’utilisation de coffrages auto-grimpants. **4** Longue de 115 m, chaque travée de rive a un rayon de 200 m. Celui de la travée principale atteint 800 m.

presque à 90° à la route. Pour supprimer ces dangereux virages et en même temps fluidifier la circulation, Michel Virlogeux imagine alors de donner à l’ouvrage un harmonieux tracé en courbe. L’idée s’avère très séduisante, mais elle ne va pas forcément simplifier la tâche

des concepteurs qui se lancent dans des études complexes.

Cette courbure nécessitant un tracé particulier et une inclinaison transversale des haubans, il s’agissait en tout premier lieu de tenir compte du gabarit routier pour éviter qu’un véhicule ne vienne heurter

➤➤➤ **Coupe transversale au niveau de la jonction tablier et mât de haubannage. Le tablier comporte deux voies routières. Piétons et cyclistes chemineront à l’extérieur et en contrebas de la chaussée.**



### chiffres clés

- Longueur totale : **515 m**  
(30-85-285-85-30)
- Hauteur des pylônes : **100 m**
- Haubans : **144** pour un poids total de **330 t**
- Béton : **12 500 m³**
- Surface coffrée : **27 500 m²**





l'un d'eux ! Le pont comporte en fait une double nappe de haubans (72 paires soit 144 haubans), et pour résoudre ces problèmes de gabarit, la section transversale du tablier est élargie au niveau des travées de rive afin d'écartier les zones d'ancrage des haubans.

### Une géométrie audacieuse

Des essais en soufflerie ont été menés pour concevoir le tablier et les deux pylônes afin de résister aux violents vents bretons. D'une hauteur totale de 100 m, leur forme a aussi beaucoup évolué par rapport aux toutes premières esquisses. *"Cela a été le travail le plus fascinant et le plus spectaculaire. Une dizaine de solutions ont été étudiées en 8 ans ! La dernière est la plus épurée, la plus élégante"*, reconnaît Thomas Lavigne, le fils de Charles, architecte au sein du cabinet Lavigne-Chéron. Pour "alléger" au maximum l'ouvrage dans tous les sens du terme, le pylône est passé progressivement d'une forme en lyre à un A symétrique dans lequel le tablier devait venir s'encastrer. Un choix approuvé en avril 2001 par la commission départementale des Sites. Mais, du fait de la courbure de l'ouvrage, les

études ont démontré que les efforts étaient repris par la seule "jambe" intérieure de la courbure. Le pylône désormais dissymétrique s'est incliné dans ce sens. Au final, de nouveaux calculs ont révélé que l'autre jambe du A ne se justifiait plus. Le pylône, incliné comme les haubans, a alors adopté une forme de lambda qui viendra surplomber en porte-à-faux le mince tablier posé sur une console. Une géométrie particulière qui nécessite l'utilisation de coffrages auto-grimpants complexes.

Le tablier reprend le principe mis en œuvre pour le Pont de Bourgogne, ouvrage à haubans construit par l'ingénieur Jean Tonello au début des années 90 à Chalon-sur-Saône avec déjà le tandem Charles Lavigne - Michel Virlogeux, *"mais sur une portée pratiquement double"*, précise ce dernier. À Térénez, l'idée a consisté à disposer les trottoirs pour les piétons et les cyclistes à l'extérieur des pylônes et plus bas que la chaussée routière. Ce principe de dénivellation permet notamment de rigidifier en sous-face le tablier en forme "d'assiette renversée" et d'affiner sa perception, son épaisseur totale étant limitée à seulement 1,30 m.

### technique

## 12 500 m<sup>3</sup> de béton

En courbe pour la traversée de l'Aulne, les 515 m du pont de Térénez se décomposent en trois travées respectives de 115 m, 285 m et 115 m, avec deux pilettes intermédiaires à 30 m de la culée. Vu en plan, le tracé définitif est à l'image d'un fer à cheval comprenant trois rayons différents : de l'ordre de 200 m pour les travées de rive et de 800 m pour la travée principale au dessus de l'Aulne. Située une quarantaine de mètres au-dessus d'elle, le tablier mince en béton précontraint est constitué de voussoirs longs chacun de 7,50 m. Il se compose de deux nervures, reliées par des entretoises en acier supportant la dalle en béton sur laquelle se trouveront deux voies routières larges chacune de 3,25 m. Les piétons marcheront sur des dalles positionnées en partie basse en encombrellement à l'extérieur des nervures. La nature géologique très chahutée des sols avec des zones d'argile peu perméable et des blocs de quartzite très durs a compliqué la réalisation des fondations qui sont associées à des tirants pour reprendre les efforts dissymétriques dans les jambes des pylônes. En rive droite, elles sont profondes et les pieux au nombre de 10, d'un diamètre de 1,50 m, pour chaque jambe descendent jusqu'à 39 m. Sur la rive gauche, les deux semelles représentant un volume de 600 m<sup>3</sup> de béton sont superficielles et fondées à même le rocher. Hauts de 100 m, chacun des deux pylônes supporte une "boîte" d'ancrage métallique pesant 105 tonnes destinée à l'ancrage des haubans. Représentant un volume total de 12 500 m<sup>3</sup>, le béton est livré par la centrale BPE de Crozon et, si nécessaire, par une centrale de secours à Châteaulin. Les fondations ont fait appel à un béton de classe de résistance C 30/35, les pylônes et le tablier à un C 60/65.



>>> **5** Ce site superbe du Finistère méritait un ouvrage hors du commun pour franchir l'Aulne, large ici d'environ 300 m.  
**6** On distingue, à gauche au sol, la boîte d'ancrage des haubans, pesant 105 t, qui sera hissée au sommet du pylône.

### Une réalisation complexe

Reste maintenant à concrétiser sur le terrain les images de synthèse, les ma-

quettes et à maîtriser les efforts dans les pylônes qui évoluent au fur et à mesure de la construction de l'ouvrage du fait de ses courbures. L'équilibre lors

des différentes phases de construction est obtenu grâce à une précontrainte dans les pylônes qui recentre les efforts. Engagée en avril 2007, la construction est menée par différentes entités du groupe Vinci. "Cette forme architecturale complexe nécessite la mise au point de méthodes spécifiques pour chaque partie du pont. Sa particularité est vraiment cette non répétitivité, surtout dans les pylônes, qui impose de développer des ouvrages provisoires lors de plusieurs phases de la construction", explique Antoine de Cambourg. La tâche est lourde, mais ce responsable du projet chez Dodin - Campenon Bernard s'avoue rassuré par l'organisation mise en place qui fait appel aux différentes synergies du groupe Vinci, chacune des entreprises apportant ses technicités et des compétences complémentaires. "L'ouvrage est encore loin d'être achevé, mais pour le moment, il est tout à fait conforme à ce que l'on souhaitait au niveau de la qualité et de l'esthétique", conclut Pascal Caroff, ingénieur au Conseil général du Finistère, responsable du service "Pont de Térénez", chargé de la maîtrise d'œuvre travaux. ■



## 3 questions à Michel Virlogeux

INGÉNIEUR-CONSULTANT

### Entretien



#### Quel est l'aspect le plus complexe dans la réalisation du pont de Térénez ?

La très grande difficulté vient de la courbure de l'ouvrage. Mais, en même temps, c'est tout son intérêt technique et architectural. Cette courbe n'est pas gratuite. Elle est imposée par le tracé en plan de la route en U. En outre, il est logique que le flot de trafic s'écoule de façon assez confortable et sécuritaire. Il n'y a pas d'exemple similaire de ce type d'ouvrage dans le monde.

#### Cette forme originale a-t-elle rendu la mise au point difficile ?

Construire un ouvrage de qualité ne se fait pas par une simple addition, mais par une remise en cause permanente à chaque fois que de nouvelles difficultés apparaissent. Un projet compliqué se mûrit. On a eu à résoudre successivement tout un tas de problèmes. Par exemple, comment faire passer les véhicules dans le gabarit des haubans.

#### Pour vous qui avez conçu de très grands ouvrages, que va représenter ce pont ?

Pour moi, il sera un des très grands. J'ai eu la chance de concevoir le pont de Normandie, le viaduc de Millau. Par rapport à ce dernier, Térénez n'a pas la même échelle. Sur le plan financier, le rapport est de 1 à 10, mais sur le plan technique, il va constituer quelque chose de tout à fait remarquable. ■

**Maître d'ouvrage :**  
Conseil général du Finistère

**Maître d'œuvre :**  
Conseil général du Finistère

**Assistant du maître d'œuvre :**  
Sétra

**Ingénieur-consultant :**  
Michel Virlogeux

**Architectes :**  
Cabinet Lavigne-Chéron

**Études d'exécution :**  
Arcadis

**Construction :**  
Dodin - Campenon Bernard,  
Sogea Bretagne, GTM Bretagne

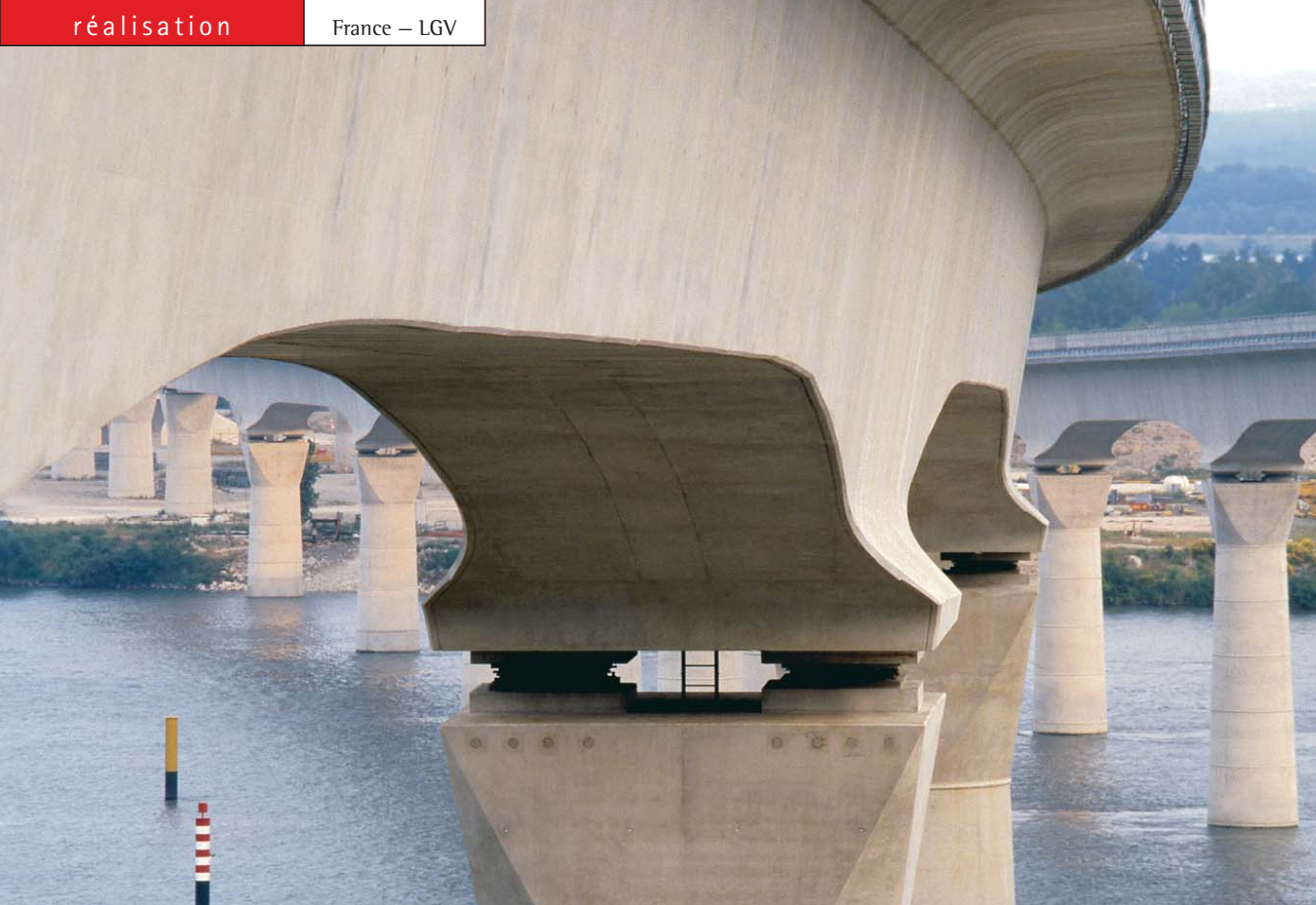
**Fondations :**  
Botte Fondations

**Précontrainte et haubans :**  
Freyssinet

**Coût :**  
35 M€ HT

TEXTE ET PHOTOS : MICHEL BARBERON





# Les bétons à grande vitesse

>>> DEPUIS SON INAUGURATION EN SEPTEMBRE 1981, LE RÉSEAU LGV NE CESSE DE S'ÉTENDRE. ACTUELLEMENT, UN PEU PLUS DE 1 800 KM SONT EN SERVICE. ET L'AVENTURE EST LOIN D'ÊTRE ACHEVÉE. LE PROJET DE LOI DE PROGRAMMATION RELATIF À LA MISE EN ŒUVRE DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT PRÉVOIT LA RÉALISATION DE 2 000 KM DE LIGNES NOUVELLES D'ICI 2020. CERTAINES SONT DÉJÀ BIEN ENGAGÉES ET FIGURENT PARMİ LES GRANDS PROJETS SOUTENUS PAR L'ÉTAT DANS LE CADRE DU PLAN DE RELANCE DE L'ÉCONOMIE. LES SOLUTIONS BÉTON ONT APPORTÉ ET APPORTERONT UNE INDISPENSABLE CONTRIBUTION À LA RÉALISATION DES INFRASTRUCTURES ET DES OUVRAGES D'ART DU RÉSEAU LGV.



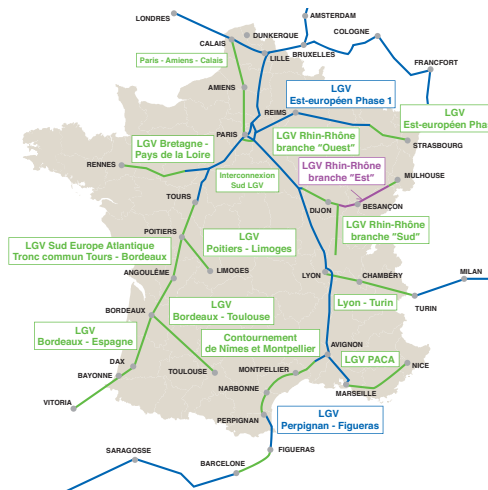
Le béton et ses multiples solutions constructives apportent leur indispensable contribution à la réalisation des infrastructures de transport, le réseau LGV notamment. L'aventure de la grande vitesse ferroviaire en France, qui a marqué un renouveau pour la SNCF, débute au milieu des années 70. À l'issue de gigantesques travaux, le président de la République François Mitterrand inaugure le 22 septembre 1981 un tronçon de la toute première ligne – la LGV Sud-Est – créée entre

Paris et Lyon. Le second tronçon s'ouvrira aux TGV 2 ans plus tard. En 1989 et 1990, cap à l'ouest et au sud-ouest grâce à la ligne nouvelle Atlantique sur laquelle, comme la précédente, le béton est roi pour les viaducs et les tunnels. La construction de la LGV Nord au début des années 90 marque un tournant. La SNCF, qui souhaite ouvrir ses appels d'offres à de nouvelles techniques, met en œuvre quelques tabliers mixtes. Mais les grands viaducs comme celui de Verberie, dans l'Oise, prouvent la

suprémie du béton. Pour relier ces trois lignes nouvelles, jusqu'alors indépendantes les unes des autres et offrir des dessertes directes province - province sans rupture de charge par la capitale, une infrastructure "évite Paris" dite "de jonction" est créée. Dans le même temps, la LGV Rhône-Alpes, significative par plusieurs grands ouvrages en béton, voit le jour. Elle amorce la future ligne Méditerranéenne qui mettra Paris à 3 h de Marseille à partir de juin 2001. Sur cette ligne, de spectaculaires viaducs sont créés avec des bétons qui adoptent même, pour certains, des teintes rappelant les sols des régions traversées... Puis, l'est de la France est à son tour desservi à partir de juin 2007 par une LGV. Le relief est peu marqué dans cette région, mais quelques belles initiatives sont néanmoins prises sur certains viaducs. Par exemple, le principe des poutres préfabriquées en béton de type PRAD adaptées de techniques routières, ou encore un tronçon à l'air libre de "voies noyées dans le béton" en alternative à la solution traditionnelle "voies sur ballast". Une première en France sur une LGV.

L'aventure "grande vitesse" se poursuit. Un groupement d'entreprises vient de réaliser en concession la ligne nouvelle Perpignan - Figueras, caractérisée par un double tunnel transfrontalier de plus de 8 km passant sous les Pyrénées et un saut-de-mouton permettant le changement de sens de circulation des trains. En Bourgogne - Franche-Comté, est construite en ce moment la branche est de la LGV Rhin-Rhône. Les lots de génie civil de ces 140 km ont mis en œuvre quelque 380 000 m<sup>3</sup> de béton, les 12 viaducs de 220 à 816 m de long nécessitant à eux seuls environ 150 000 m<sup>3</sup>...

Actuellement, un peu plus de 1 800 km de LGV sont en service sur le réseau. Et l'aventure est loin d'être achevée. Selon le projet de loi de programmation relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, 2 000 km de lignes nouvelles devraient être réalisés d'ici 2020... Certaines sont déjà bien engagées et figurent parmi les grands projets soutenus par l'État dans le cadre du Plan de relance de l'économie du 4 décembre 2008. C'est le cas de la LGV Bretagne/Pays de Loire, déclarée d'utilité publique le 26 octobre 2007, dont les 180 km nouveaux prolongeant la branche ouest de la LGV Atlantique devraient être mis en service



#### >>> Réseau LGV.

- Lignes en service
- Lignes en construction
- Lignes en projet





3



4

en 2014. Pour sa part, la branche sud-ouest qui sera prolongée par la LGV Sud Europe Atlantique de 300 km permettra, fin 2015, de faire un Paris - Bordeaux en 2 h 05, contre 3 h actuellement. Citons encore les 100 km de la deuxième tranche de la LGV Est jusqu'à Strasbourg, le contournement de Nîmes et Montpellier, prolongement naturel de la LGV Méditerranée en direction de l'Espagne. Énorme défi aussi, la liaison nouvelle Lyon - Turin comportant un tunnel de base de 54 km à creuser sous les Alpes, dont les galeries d'accès sont en cours de creusement. Autre grand projet en préparation, la LGV Provence Alpes Côte d'Azur. Du côté de Nice, ville qui sera ainsi intégrée au réseau à grande vitesse et reliée à Paris en 4h environ, on l'attend avec impatience ! Elle ne devrait cependant se concrétiser qu'à l'horizon 2020. Son investissement sera très élevé compte tenu du relief à traverser et des mesures environnementales à respecter. Avec ces multiples projets de lignes nouvelles, les bétons ont encore de très belles perspectives devant eux...

### LGV Sud-Est (LN1)

Nom de code LN1 ou Ligne Nouvelle n°1 Paris Sud-Est. Destinée à soulager l'artère

classique PLM (Paris-Lyon-Méditerranée) arrivée à saturation, elle a été la toute première ligne à grande vitesse ouverte en France. Mise en service en septembre 1981 pour le tronçon sud entre Saint-Florentin et Sathonay et en automne 1983 pour le tronçon nord entre Combs-la-ville et Saint-Florentin, cette ligne de 409 km visait aussi à réduire de façon significative les temps de voyage entre Paris et Lyon. Et même au-delà puisque, énorme avantage de ce système, les TGV peuvent circuler sur les infrastructures classiques, mais à vitesse normale. Lorsqu'elle a été ouverte en intégralité en septembre 1983, le temps de parcours initialement de 4 h entre ces deux villes a été divisé par deux ! Selon un "trait" tiré presque droit entre les deux villes, sans passer par Dijon, ce qui équivaut à un raccourci de 87 km, la ligne partiable à 270 km/h, voire 300 km/h dans plusieurs secteurs, coupe au plus court à travers le Morvan. Ce qui explique un parcours souvent très vallonné, avec des rampes atteignant les 35 % et une densité élevée d'ouvrages d'art. On comptabilise 780 ouvrages courants et 17 viaducs importants. La majorité de ceux-ci, réalisés en béton, a été coulée en place de façon traditionnelle. Mais pour plusieurs ponts et viaducs dont les portées dépassaient

➤➤➤ **1** Septembre 1997. En à peine deux heures, les 3 760 t du fléau du viaduc de Ventabren (LGV Méditerranée) pivotent de 30° sur la pile. **2** Reposant sur 32 piles, les 1 527 m du tablier du viaduc de Verberie (LGV Nord-Europe) rattrapent un dénivelé de 70 m. **3** Très bel exemple d'utilisation d'un béton clair : l'audacieuse gare TGV Lyon-Saint-Exupéry imaginée par l'architecte catalan Santiago Calatrava. **4** Le viaduc de Ventabren, le plus long viaduc de la LGV Méditerranée, enjambe l'autoroute A 8 par une travée de 100 m.

saient la trentaine de mètres, la technique du béton précontraint s'est avérée plus pertinente. C'est le cas notamment des viaducs du Serein (200 m), de Saulieu (200 m), de la Digoine (420 m), de la Roche (386 m) ou encore de la Saône, près de Mâcon (340 m).

### LGV Atlantique (LN2)

Mise en service en septembre 1989 pour la branche ouest et en septembre 1990 pour la branche sud-ouest, de nombreux ouvrages émaillent cette ligne nouvelle en forme de Y inversé d'une longueur de 280 km. L'infrastructure, qui a repris en région parisienne le site d'une ancienne plateforme ferroviaire dite de Gallardon, démarre à quelques kilomètres de Paris-Montparnasse et rencontre très vite plusieurs tunnels (Fontenay 474 m, Sceaux 872 m) et tranchées couvertes. Des ouvrages indispensables pour un passage discret dans ces zones fortement urbanisées, dont les solutions constructives en

béton répondaient déjà aux exigences environnementales. À Villejust, à une vingtaine de kilomètres de la capitale, un double tunnel de 4 800 m avec un revêtement constitué de voussoirs préfabriqués en béton, réalisé à l'aide de tunneliers traverse les sables de Fontainebleau. Sur les 124 km du tronc commun de la ligne, la longueur cumulée des ouvrages, qui ont nécessité de grandes quantités de béton, dépasse les 14 km. Si les 53 km de la branche ouest, s'arrêtant un peu avant Le Mans, ne se caractérisent pas par d'importants ouvrages, la situation est toute autre sur la branche sud-ouest construite jusqu'à Monts, au sud de Tours. Ses 102 km cumulent 2 848 m de ponts et viaducs en béton, surtout concentrés au niveau du franchissement du Val de Loire. Mais aussi le tunnel de Vouvray, long de 1 500 m, qui passe sous les vignobles de la célèbre appellation sans nuire à la qualité de sa production. Sa réalisation a fait l'objet de multiples études et précautions particulières pour respecter les vignobles et ne



pas perturber le tranquille vieillissement naturel du vin dans les caves proches.

### LGV Nord (LN3)

La LGV Nord, mise en service en mai 1993, a constitué l'amorce d'un réseau international à grande vitesse. À proximité de Lille, l'une de ses branches part en effet vers la Belgique qui a développé elle aussi des lignes nouvelles. L'autre branche file vers Calais puis l'Angleterre via le Tunnel sous la Manche. Aujourd'hui, il existe des liaisons quotidiennes à grande vitesse Eurostar vers Londres, et Thalys vers Bruxelles, Cologne, Amsterdam. Tout confondu, du simple dalot hydraulique, à l'ouvrage courant (80 % du nombre total) et au grand viaduc, les 333 km de la LGV Nord comptent environ 368 ouvrages, cela malgré un relief peu prononcé. Plusieurs raisons expliquent cette densité. Pour limiter au maximum de nouvelles coupures dans les paysages, cette infrastructure ferroviaire a été jumelée sur 130 km au plus près de l'autoroute A 1, d'où le prolongement obligé d'ouvrages routiers existants pour franchir la ligne. Autre raison, le passage dans des sites fortement urbanisés dans les régions parisienne et lilloise. Enfin, il s'agissait de traverser la plaine des

Flandres au contexte hydraulique difficile, avec des zones compressibles s'opposant souvent à l'édification de remblais, tant pour des raisons de stabilité de ces ouvrages en terre que pour respecter les délais de construction. Sur les neuf viaducs importants qui franchissent de grandes brèches, cinq sont constitués de caissons en béton précontraint. Parmi ces derniers, on trouve le viaduc du Crould à Gousainville (545 m), celui de l'Aronde près de Ressons-sur-Matz (450 m), celui de l'Avre près de Roye (209 m) et de la Somme à Feuillères (303 m). Mais le plus spectaculaire est sans conteste celui de l'Oise à Verberie qui fait suite à une tranchée couverte. Son tablier de 1 527 m reposant sur 32 piles rattrape un dénivelé de 70 m...

### LGV Rhône-Alpes (LN4)

Mise en service en décembre 1993 pour le tronçon nord et en juillet 1994 pour la partie sud, c'est la ligne "évitée Lyon". Contournant cette agglomération par l'est, elle constitue le prolongement naturel de la LGV Sud-Est, de laquelle elle se détache à Montanay, et l'amorce de la ligne Méditerranée, un peu au nord de Valence. Cette ligne de 115 km comporte de nombreux et spectaculaires ouvrages en béton

précontraint. Le viaduc de la Côtière (1 725 m de long) composé de trois tabliers en caissons en béton, celui du Rhône (535 m), celui sur l'autoroute A 43 (91 m), de Meyssiez (614 m), l'estacade de la Galaure (255 m)... Et quatre tunnels, les Dombes (500 m), la Côtière (300 m), Meyssiez (1 787 m) et la Galaure (2 686 m). Ces ouvrages souterrains totalisant près de 5 300 m ont nécessité à eux seuls la mise en œuvre de 264 000 m<sup>3</sup> de béton. Sans oublier la magnifique gare TGV Lyon-Saint-Exupéry construite à proximité des pistes de l'aéroport. L'immense bâtiment de 500 m de long sur 50 m de large, laissant le passage à cinq voies, a été imaginé par l'architecte catalan Santiago Calatrava.

### LGV Méditerranée (LN5)

Mise en service en juin 2001 et d'une longueur de 250 km, la ligne nouvelle Méditerranée, qui a nécessité trois ans de travaux colossaux de génie civil, a représenté un beau champ d'expérience pour des ingénieurs et des architectes de renom n'ayant jusqu'alors jamais travaillé pour le rail. Sur ses 500 ouvrages, elle peut s'enorgueillir de posséder certains des plus beaux et plus grands viaducs réalisés depuis de nombreuses décennies. La Grenette avec ses

18 piles bicolores, dont la mise en place du tablier mono-caisson a constitué un record de longueur de travée pour un pont poussé (53 m). Vernègues avec sa partie inférieure du tablier en forme de "coque de bateau" longue de 1 210 m, appuyée sur 27 piles. Une mention particulière aux 1 500 m du double viaduc en béton blanc des Angles (voir photo page 5). Une teinte choisie pour rappeler celle du Palais des Papes en Avignon, aperçu un fugitif instant depuis les 50 m de hauteur de cet ouvrage. Constitué de 838 voussoirs préfabriqués sur le site, posés en encorbellements successifs – une première pour un pont ferroviaire – l'un de ses tabliers sert à la liaison Paris - Marseille, le second à celle Marseille - Montpellier. Autre ouvrage spectaculaire, le viaduc de Ventabren. Ses 1 730 m franchissant le canal de Provence, la D 10 et l'autoroute A 8 lui confèrent le titre de plus long de la ligne. Ses 36 piles ont un fût hexagonal épanoui en tête. Son béton a adopté la couleur de la pierre du pays d'Aix. Mais c'est surtout sa technique de construction qui est à souligner. Le tablier a été mis en place de façon classique par poussage jusqu'à la limite de l'autoroute. Mais comme il fallait perturber le moins possible la circulation, deux fléaux ont été construits parallèlement de part et d'autre





7

8

de l'axe autoroutier. Puis, une nuit de septembre 1997, les 3 760 t du premier fléau ont été pivotés de 30° sur sa pile pour s'aligner dans l'axe de l'ouvrage en deux heures seulement. La même opération a été renouvelée un mois plus tard pour le second fléau, un clavage a été réalisé par la suite pour assurer la continuité du tablier. La LGV Méditerranée, c'est aussi une tranchée couverte de 1 266 m et plusieurs tunnels. Saint-Geniès (256 m), Bonpas (303 m), Lambesc (440 m), Tartaguille (2 430 m). Le plus long se situe juste avant d'atteindre la cité phocéenne où la ligne s'achève par un tunnel de 7 834 m dans lequel les deux voies ont été "noyées" dans une dalle en béton.

### LGV Est (LNE)

Les élus de l'est de la France, délaissés par la grande vitesse ferroviaire, réclamaient cette ligne depuis longtemps. C'est effectif depuis le 10 juin 2007 et il ne faut désormais plus que 2 h 40 pour relier Paris à Strasbourg au lieu de 4 h auparavant. Traversant de longues plaines sans relief marqué, la LGV Est, d'une longueur de 300 km, a surtout été un grand chantier de terrassement. Mais aussi, un champ d'innovations techniques lancées par Réseau Ferré de France

(RFF). Le plus significatif est la voie sur béton. Technique largement répandue sur les lignes nouvelles d'Outre Rhin, mise en œuvre et déjà bien éprouvée dans plusieurs tunnels français dont celui de Marseille ou ceux de la Channel Tunnel Rail Link (CTRL) sous Londres, il s'agit d'une première sur le réseau national en "extérieur". Sur une zone de 1,8 km en Seine-et-Marne incluant un alignement, une courbe et des communications entre la voie paire et celle impaire, les deux voies sont noyées dans une dalle en béton réalisée par une machine à coffrage glissant. Autre innovation concernant les ouvrages d'art celle-là, et issue de techniques routières et autoroutières, la mise en œuvre de poutres PRAD en béton précontraintes par adhérence. Solidarisées par des entretoises et un hourdis en béton coulé en place, elles prennent appui sur les piles et constituent la structure du tablier. Principal avantage ? Un gain de temps pouvant atteindre plusieurs mois sur la construction du pont. En Seine-et-Marne, cinq ponts-rails cumulant presque 1 500 m ont fait appel à cette technique.

### LGV Perpignan – Figueras

Ce tronçon de ligne internationale de 44 km est ouvert officiellement depuis

➤➤➤ **5** et **6** La LGV Est-européenne a innové. Sur un tronçon à l'air libre de 1,8 km, les voies ont été "encastrées" dans une dalle béton mise en œuvre par une machine à technique routière. **7** Les tabliers de plusieurs pont-rails de raccordements entre les LGV Est et Nord sont constitués de poutres en béton précontraint par adhérences (PRAD). **8** 170 m de tranchée couverte encadrent le tunnel de Chavanne (branche Est de la LGV Rhin-Rhône) qui a nécessité 100 000 m<sup>3</sup> de béton.

le 17 février dernier. De ce côté des Pyrénées, l'un de ses ouvrages caractéristiques est un "saut-de-mouton" en béton construit pour le changement de sens de circulation. Les trains français roulent en effet à gauche au contraire de leurs homologues espagnols qui circulent à droite. Mais le gros du génie civil a concerné le creusement par deux tunneliers baptisés "Tromontana" et "Mistral" de deux tubes de 8 300 m sous le col du Perthus, destinés à recevoir chacun une voie unique coulée dans une dalle en béton.

### LGV Rhin – Rhône, branche Est

C'est la toute première ligne nouvelle vraiment "régionale". Une liaison à grande vitesse province - province de 140 km qui représente un symbole fort de l'aménagement du territoire. Une deuxième tranche de 50 km est prévue de part et d'autre pour arriver au plus près de Dijon et de Mulhouse et, à terme, le "Rhin-Rhône" représentera une sorte d'étoile à trois branches avec une Ouest et une

Sud déjà en cours d'étude. Les travaux de la branche Est engagés en juillet 2006 ont largement fait appel au béton. Les 380 m du viaduc sur la Saône sont encadrés de trois estacades en béton armé cumulant 960 m destinées à assurer la transparence hydraulique en cas de crue de la rivière. Leur structure porteuse est constituée de quatre énormes poutres (cf *Construction Moderne Ouvrages d'art 2008*). Le lot sur lequel est implanté cet ouvrage a demandé la mise en œuvre de 26 700 m<sup>3</sup> de béton. Le lot suivant de avec ses 27 ponts-routes, 15 ponts-rails et 10 ouvrages hydrauliques, a nécessité 33 000 m<sup>3</sup>. Les autres lots B1 et B2 totalisent plus de 100 000 m<sup>3</sup>. Mais le record revient au tunnel de Chavanne. Cet ouvrage de 1 970 m, comprenant 170 m de tranchée couverte, a nécessité à lui seul la mise en œuvre de 100 000 m<sup>3</sup> de béton ! La mise en service de la ligne est prévue fin 2011. ■

TEXTE: MICHEL BARBERON

PHOTOS : OUVERTURE, 1, 5, 6, 9, 10 : MICHEL BARBERON / 2 : J.-R. LEGALLAIS / 3 : MICHEL MOCH / 4 : G. MAUCUIT LECOMTE / 7 : ANTOINE VAVEL / 8 : DANIEL MARCONNET



➤➤➤ **9** Sur la LGV Perpignan-Figueras, le saut-de-mouton permet d'inverser le sens de circulation des TGV. À gauche en France, à droite en Espagne. **10** Le viaduc de la Saône (LGV Rhin-Rhône) est encadré de trois estacades en béton armé assurant la transparence hydraulique.

## Ligne à Grande Vitesse : les principaux projets

### Projets prioritaires inscrits dans le plan de relance

LGV	Description et longueur	Coût en milliard d'euros	Mise en service
LGV Est, 2 <sup>e</sup> phase	106 km de Baudrecourt à Vendenheim	2	2015 - 2016
LGV Bretagne Pays de Loire	214 km dont 182 km de section courante entre Connerré et Rennes et 32 km de raccordements	3,2	2016
LGV Sud Europe Atlantique	303 km de ligne entre Tours et Bordeaux, et 39 km de raccordements	7,4	2016
Contournement Nîmes - Montpellier	71 km, dont 10 km de raccordements	1,4	2016

### Projets inscrits dans le projet de loi du Grenelle de l'environnement

LGV	Description et longueur	Coût en milliard d'euros	Mise en service
LGV PACA	150 km à 240 km	7 à 10	Après 2020
LGV Bordeaux - Toulouse	200 km	3	Après 2020
LGV Poitiers - Limoges	115 km	1,3	Après 2020
Liaison ferroviaire transalpine Lyon - Turin	200 km avec un tunnel de base franco-italien de 52 km	12,5	2020

### Autres projets qui devraient être engagés d'ici 2020

- Les branches Ouest (environ 46 km) et Sud de la LGV Rhin - Rhône, 2<sup>e</sup> phase (50 km) de la branche Est dont la phase 1 est actuellement en chantier.
- Le barreau d'interconnexion des LGV au sud de l'Île-de-France, reliant les LGV Sud-Est et Atlantique.
- La ligne nouvelle Montpellier - Perpignan (entre 150 et 200 km).
- La ligne nouvelle Bordeaux - Espagne (environ 250 km, 3,5 à 4 milliards d'euros).
- Le contournement ferroviaire de l'Agglomération Lyonnaise (CFAL). Longueur du tracé nord : 62 km, 1,4 milliard d'euros, mise en service vers 2017. Longueur tracé sud : 21 km, 1,4 milliard d'euros, mise en service vers 2020.





# Transparence et légèreté

>>> DANS LA VALLÉE DU TARAVO, LE TRACÉ SINUEUX DE LA ROUTE COMPORTAIT UNE BOUCLE DANGEREUSE REMPLACÉE DEPUIS JUILLET 2008 PAR LE PONT D'ABRA. SITUÉ À L'AVAL D'UN VIEUX PONT GÉNOIS EN PIERRES, L'OUVRAGE S'INSÈRE HARMONIEUSEMENT DANS UN PAYSAGE SAUVAGE GRÂCE À LA TRANSPARENCE QUE LUI CONFÈRE SA STRUCTURE EN BÉTON PRÉCONTRAIT À ÂMES AJOURÉES ET AMÉLIORE NOTABLEMENT LA CIRCULATION SUR LA RN 196. EN RAISON DE L'ORIGINALITÉ STRUCTURELLE DU TABLIER, SON FONCTIONNEMENT MÉCANIQUE S'ÉLOIGNE DE CELUI DES PONTS À CAISSONS CLASSIQUES POUR SE RAPPROCHER DU FONCTIONNEMENT DES PONTS EN TREILLIS.



1



2

La construction du pont d'Abra est la première opération routière d'envergure financée au titre du Plan Exceptionnel d'Investissements. Elle s'inscrit dans le cadre du programme de modernisation de l'axe routier qui relie Ajaccio à Bonifacio au sein du schéma directeur

du réseau routier de la Collectivité Territoriale de Corse (CTC). À cet endroit, la vallée de Taravo est très encaissée et forme un méandre contournant un petit relief collinaire. Le versant est très abrupt et boisé en rive gauche tandis que la rive droite est plus dénudée avec des terres utilisées pour l'élevage. La route adoptait un tracé très sinueux, avec une grosse boucle que la CTC a décidé de supprimer en créant un ouvrage d'art pour franchir la vallée à l'aval d'un vieux pont du XV<sup>e</sup> siècle classé Monument Historique.

### Études pour deux solutions

À la suite de son étude préliminaire, la CTC a consulté les architectes Charles Lavigne et Berdj Mikaélian pour envisager deux solutions, respectivement un pont haubané à poutres métalliques et un pont en béton précontraint. "Comme pour le pont sur le Vecchio (cf. *Construction Moderne* n°99, 2<sup>e</sup> trimestre 1999), j'ai à nouveau choisi le principe des âmes triangulaires ajourées", explique Berdj Mikaélian. "Cette solution permet de franchir de grandes portées en limitant l'épaisseur du béton dans le tablier. Les vides triangulaires dans les âmes affinent la ligne et allègent le poids struc-

>>> **1** Les fûts des deux piles sont des caissons octogonaux réalisés par levées successives. **2** Les deux équipages mobiles, qui assurent la construction par encorbellements successifs, évoluent à l'avancement au-dessus du vide et en parfaite symétrie. **3** Les deux fléaux sont construits à partir de deux piles et clavés au centre pour assurer la continuité du tablier.

turel, ce qui permet ainsi de gagner une quarantaine de mètres en portée".

N'ayant pu départager l'esthétique des deux solutions architecturales, l'appel d'offres a été lancé sur les deux structures, laissant au critère économique le mot de la fin. L'avantage financier s'est prononcé largement en faveur du pont à âmes ajourées.

L'ouvrage est constitué de trois travées reposant sur deux piles à fût octogonal, de section constante et surmonté d'un chapiteau légèrement évasé. Sur le plan architectural, cette solution allège la silhouette pour s'harmoniser avec le vieux pont de pierre. Ainsi, malgré sa longueur (204 m), le pont d'Abra présente une légèreté et une transparence qui marque son respect vis-à-vis du vieux pont de pierre.

En raison des âmes ajourées, le fonctionnement mécanique de l'ouvrage s'éloigne de celui des ponts à caissons classiques : les âmes n'étant pas continues, l'effort tranchant ne peut pas cheminer par cisaillement tout au long du tablier. "La géométrie des panneaux rend cependant

son fonctionnement comparable à celui d'un pont en treillis, bien que la rigidité des panneaux dans le plan des âmes ne permette pas d'appliquer la théorie classique avec montants et diagonales articulés", ajoute Jean-Pierre Commun, actuel Directeur technique chez Razel. Ce fonctionnement mécanique spécifique a nécessité des études pointues et un cycle de construction approprié.

### Préfabrication sur site des âmes

Les 104 panneaux d'âmes des deux fléaux ont été préfabriqués sur le site. La plateforme spécifiquement aménagée au pied de la pile P1 comportait quatre moules métalliques et modulaires permettant de régler l'outil suivant les 52 types géométriques des âmes. Un demi vousoir d'essai a été réalisé avec une âme préfabriquée pour refléter les conditions réelles d'exécution.

Pour chaque paire de vousoirs, le cycle prévoyait un bétonnage en deux phases

### chiffres clés

#### Ouvrage

- Longueur : 204 m (54-96-54)
- Surface de tablier : 2 160 m<sup>2</sup>

#### Piles

- Hauteur : 18,1 m ; 31,7 m

#### Matériaux

- Bétons : 2 500 m<sup>3</sup>
  - tablier : C 40/50
  - appuis : C 35/45
- Armatures passives : 350 t
- Précontrainte : 80 t
  - câbles de fléau : 2 x 13 câbles 7T15 par demi fléau
  - câbles éclisses : 2 x 4 câbles 12T15 en travée centrale
  - câbles extérieurs : 2 x 2 câbles 27T15
  - barres : Ø 50, Ø 40 ou Ø 36 dans les panneaux d'âmes





3

## 2 questions à Michel Placidi

CONSEILLER SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE DU GROUPE RAZEL

Entretien



### Quelles sont les principales différences entre le pont d'Abra et le pont sur le Vecchio ?

Les deux ouvrages se ressemblent beaucoup sur le plan structurel, mais le pont d'Abra diffère cependant du Vecchio sur quatre points :

- Le schéma statique : le pont du Vecchio comportait une très grande travée centrale et deux travées de rive très courtes avec des culées à réactions inversées. Ici, l'ouverture du site a permis de concevoir un ouvrage à trois travées de portées plus classiquement distribuées, avec des piles fondées dans la vallée.
- La forme du tablier : le principe d'âmes à inclinaison variable du Vecchio n'a pas été repris ici pour des questions de simplicité géométrique.
- La structure en portique : Razel a proposé en variante de remplacer les appareils d'appui initialement prévus sur les piles par un encastrement définitif des fléaux. Cette solution a permis de supprimer en particulier, le clouage provisoire assurant la stabilité des fléaux.
- L'encombrement : les dimensions et épaisseurs plus réduites des différents éléments du tablier ont généré de nombreuses difficultés vis-à-vis des dispositions constructives des armatures passives et de la précontrainte.

### En quoi l'expérience du Vecchio a-t-elle été utile pour le dimensionnement ?

Pour le tablier, nous avons reconduit le principe de calcul du Vecchio mis au point avec Michel Marchetti. L'étude des âmes se base sur la théorie du "coin élastique" tronqué et sur l'équilibre global du panneau dans le fonctionnement à la flexion de la poutre. Elle a conduit à mettre au point une méthode de calcul spécifique. ■

(hourdis inférieurs, puis hourdis supérieurs le lendemain) après avoir mis en place les âmes préfabriquées, ainsi que plusieurs phases d'activation des systèmes de précontrainte des âmes et de suspension des équipages mobiles. Une équipe était affectée à la préfabrication et à l'équipement des âmes, opérations qui constituaient un chantier à part entière compte tenu du niveau de précision nécessaire dans le réglage des coffrages et le positionnement des gaines, attentes, manchons, douilles et inserts.

### Formulations des bétons

Deux formules "appui" (semelles, fûts et chevêtres de piles, culées) et deux formules "tablier" (voussoirs sur pile, voussoirs courants) ont été étudiées au laboratoire de GTM Construction avec l'appui de la DDE. Ces formulations tiennent compte soit du critère de limitation de la chaleur d'hydratation des pièces massives, soit du critère d'obtention de résistances élevées au jeune âge (23 MPa à 18 h) afin de respecter les cycles de construction des voussoirs.

Grâce à des études de formules de base et de formules dérivées performantes,

les critères de résistance et de maintien de rhéologie ont été respectés tout au long du chantier.

Le béton était approvisionné par une centrale BPE située à 45 km du chantier, soit à plus d'une heure de route du site. Les fortes chaleurs rencontrées lors du bétonnage de la plupart des pièces massives ont nécessité d'effectuer les coulages de nuit afin de limiter l'échauffement à cœur du béton.

Suivant les conseils de Michel Virlogeux, la CTC a fait faire par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées des études pour évaluer le fluage du béton. "Les résultats de ces études nous ont conduit à doubler la contreflèche de fluage pour parer à cette particularité", précise Jean Vlemelinx, chef de projet chez Razel.

Compte tenu du caractère exceptionnel du pont, le maître d'ouvrage a souhaité réaliser une instrumentation de la structure du tablier et une étude spécifique du comportement rhéologique du béton. Cette étude a débuté dès la construction de l'ouvrage. Ce dispositif d'auscultation continue de la structure du tablier (mesure des déplacements, des déformations, des contraintes, des



4



5

réactions d'appui et de la température) sera très utile pour surveiller le fonctionnement mécanique de l'ouvrage.

Tous les appuis sont fondés superficiellement, les pieux prévus lors des études ayant été supprimés à l'exécution compte tenu de la bonne qualité du remblai et du terrain d'assise. Les culées sont fondées directement en crête de remblai côté C0 et sur un massif en sol renforcé côté C3. Les fûts des deux piles sont des

caissons octogonaux réalisés par levées successives de 3,35 m de hauteur. Les chevêtres ont été bétonnés après la pose d'une prédalle servant de coffrage perdu en appui sur deux profilés métalliques engravés dans les parois du fût.

### La construction par encorbellements successifs

Le tablier est constitué d'un caisson en béton précontraint de hauteur varia-

►►► 4 Les trois travées reposent sur deux piles à fût octogonal de section constante surmonté d'un chapiteau légèrement évasé. 5 Le principe des âmes ajourées permet de franchir de grandes portées en limitant le volume du béton du tablier.

ble (6,50 m sur pile et 2,65 m à la clé) avec des âmes inclinées ajourées. Il se compose de deux voussoirs sur pile de 7 m de longueur et de 13 voussoirs de 3,35 m.

Compte tenu des dimensions de la brèche, l'ouvrage a été construit par encorbellements successifs au moyen de deux équipages mobiles spécialement conçus pour le pont. Ils évoluent à l'avancement au-dessus du vide, en parfaite symétrie pour préserver l'équilibre de la structure. Les deux fléaux sont ainsi construits à partir des deux piles et clavés au centre pour assurer la continuité du tablier. Chaque pas d'avancement de l'équipage mobile correspond à une paire de voussoirs qui est solidarisée à la structure par la mise en tension de câbles et barres de précontrainte.

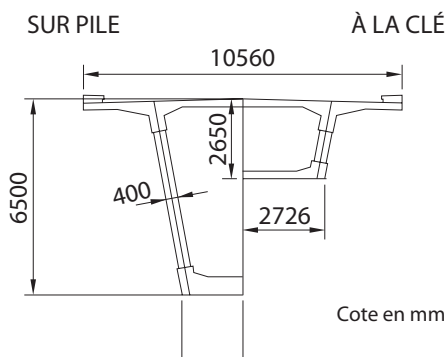
Les travaux de construction du pont et des accès routiers ont débuté en septembre 2005 et se sont terminés le 31 juillet 2008, date d'inauguration et d'ouverture à la circulation. ■

TEXTE: DELPHINE DESVEAUX

PHOTOS: RAZEL / GUILLAUME PLANTÉ

### ►►► Coupe transversale du caisson.

Les âmes d'épaisseur constante adoptent une forme trapézoïdale avec une hauteur variable de la pile à la clé.



#### Maître d'ouvrage :

Collectivité Territoriale de Corse  
DGST

- Conduite de l'opération : Direction  
des Transports Ferroviaires  
et de l'Ingénierie de la CTC

- Construction du Pont :  
Service Ouvrages d'Art de la CTC

#### Maître d'œuvre :

Groupement Arcadis,  
Techni Route Corse, ECEP, Silène

#### BET :

Tablier : Razel ; Appuis : GTM

#### Construction :

- Groupement : GTM GCS,  
agence TP Côté d'Azur (mandataire) ;  
Razel Grands Travaux (gérant) ;  
Corse Travaux

#### Architecte :

Berdj Mikaelian

#### Coût :

8,8 M€ HT



# solutions

## Prescription des ciments pour des ouvrages durables

>>> LES OUVRAGES EN BÉTON DISPOSENT DÉSORMAIS D'UN ENSEMBLE

DE TEXTES NORMATIFS TRÈS COMPLET, CONSTITUÉ DE NORMES

EUROPÉENNES ET DE RECOMMANDATIONS TECHNIQUES FRANÇAISES.

CET ENSEMBLE DE DOCUMENTS COUVRE LE DIMENSIONNEMENT

DES OUVRAGES EN BÉTON (AVEC LES EUROCODES), LES CONSTITUANTS

DU BÉTON, LE BÉTON ET EN PARTICULIER SA DURABILITÉ, AINSI QUE

LA RÉALISATION DE L'OUVRAGE.

LA DÉTERMINATION DU CIMENT ADAPTÉ DOIT DONC FAIRE L'OBJET

TRÈS SOUVENT D'UNE ANALYSE MULTICRITÈRE PRIVILÉGIANT

EN PRIORITÉ LA DURABILITÉ DE L'OUVRAGE, EN RESPECTANT

LES SPÉCIFICATIONS LIÉES AUX CLASSES D'EXPOSITION, TOUT EN PRENANT

EN COMPTE DE MANIÈRE PERTINENTE LES EXIGENCES DE MISE

EN ŒUVRE.

→ **Constituants** du béton p.16

→ **Une norme gage**  
de qualité des bétons p.17

→ **Classes** d'exposition p.18

→ **Prescription** p.1  
des ciments pour des ouvrages durables

→ **Recommandations**  
pour la maîtrise de la durabilité des bétons p.11

→ **Notion** de durabilité p.20

→ **Nouvelles exigences**  
pour les maîtres d'ouvrages p.21

# → Constituants du béton

Les divers constituants du béton s'intègrent en harmonie dans le nouveau contexte normatif.

## Les différents types de ciment

### Ciments courants

Les ciments courants font l'objet de la norme NF EN 197-1 qui définit les constituants des ciments et les différents types de ciments courants. Elle fixe les classes de résistance, les spécifications mécaniques et physico-chimiques et précise les critères de conformité et les fréquences d'essais. Elle distingue 27 ciments courants regroupés en cinq types selon leur composition.

- CEM I Ciment Portland
- CEM II Ciment Portland composé
- CEM III Ciment de haut fourneau
- CEM IV Ciment pouzzolanique
- CEM V Ciment composé

### Marquage CE et marque NF

Les ciments courants doivent être marqués CE depuis le 1<sup>er</sup> avril 2002. Ce marquage obligatoire atteste leur conformité à la norme harmonisée EN 197-1 et le respect des exigences essentielles de la Directive des Produits de Construction en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement. La marque de qualité NF,

## Classes de résistance des ciments courants

Classes de résistance	Résistance à la compression en MPa			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32.5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32.5 R	≥ 10,0	-		
42.5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42.5 R	≥ 20,0	-		
52.5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-
52.5 R	≥ 30,0	-		

volontaire et complémentaire du marquage CE (certification de niveau 1+), atteste que le ciment est conforme au niveau de qualité requis par le marché français en fonction des conditions climatiques et environnementales ainsi que des techniques de mise en œuvre pratiquées en France. La marque NF atteste que les ciments bénéficient de garanties complémentaires sur leur composition, leurs performances et leurs contrôles.

**Ciments à teneur en sulfures limitées pour béton précontraint CP : norme NF P 15-318**  
**Ciments de haut fourneau à faible résistance à court terme L ou LH : NF EN 197-4**  
**Ciment sursulfaté CSS : norme NF P 15-313**

## Les adjuvants

Les adjuvants font l'objet de la norme NF EN 934-2. On distingue trois grandes catégories d'adjuvants :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton :
  - plastifiants, plastifiants-réducteurs d'eau, superplastifiants.
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement :
  - accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières :
  - entraîneurs d'air, hydrofuges de masse, rétenteurs d'eau.

## L'eau de gâchage

L'eau de gâchage pour les bétons fait l'objet de la norme NF EN 1008.

## Les additions

Les additions pour le béton sont définies dans la norme NF EN 206-1. Il existe deux types d'additions :

- Les additions quasiment inertes (type I).
- Les pouzzolanes ou les additions à caractère hydraulique latent (type II). ■

### Exemple de Désignation normalisée d'un ciment courant bénéficiant du marquage CE et de la marque NF

#### CEM II A LL 32,5 R CE CP2 NF

Cette désignation reprend dans l'ordre :

- La famille de ciment courant : **CEM II**
- La classe de composition (les lettres A, B ou C précisent la teneur en clinker) : **A**
- La nature des constituants autres que le clinker : **LL**
- La classe de résistance (les 3 classes de résistance courante à 28 jours : 32,5/42,5/52,5) : **32,5**
- La classe de résistance à court terme (R ou N) : **R**
- La notation précisant la conformité au marquage CE : **CE**
- Les caractéristiques complémentaires (PM/ES/CP1/CP2) : **CP2**
- La notation précisant que le ciment est conforme à la marque NF : **NF**

### Classes de résistance

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance 32,5 – 42,5 – 52,5

Pour chaque classe de résistance courante, deux classes de résistance à court terme sont définies, une classe avec résistance à court terme ordinaire (indiquée par la lettre N) et une classe avec résistance à court terme élevée (indiquée par la lettre R).

### Ciments courants à caractéristiques complémentaires

Des caractéristiques complémentaires peuvent être nécessaires pour certaines classes d'exposition, certaines applications ou certains types d'ouvrages. Ces ciments courants à caractéristiques complémentaires font l'objet de normes spécifiques.

**Ciments pour travaux à la mer PM : norme NF P 15-317**

**Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates ES : norme NF P 15-319**



# → Une norme gage de qualité des bétons

Les bétons destinés aux bâtiments et ouvrages de génie civil font l'objet de la norme NF EN 206-1. Cette norme définit pour les bétons de structures en plus des spécifications relatives au béton, les responsabilités du prescripteur (responsable de la spécification du béton) et du producteur (responsable de la conformité et du contrôle de la production). Elle fournit des règles précises concernant la spécification, la production et la livraison du béton. Elle impose au prescripteur de définir les risques d'agressions et d'attaques auxquels le béton de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage va être exposé pendant la durée d'utilisation de la structure afin de prescrire le béton parfaitement adapté. La norme NF EN 206-1 constitue une évolution importante dans la manière de prescrire, formuler, fabriquer et contrôler les bétons au service de la qualité, de la performance des bétons et de la durabilité des ouvrages.

## Trois types de béton

Trois types de béton sont déclinés dans la norme NF EN 206-1.

### Béton à Propriétés Spécifiées (BPS)

Béton pour lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires sont spécifiées par le prescripteur au producteur. Le producteur est responsable de fournir un béton satisfaisant à ces exigences.

### Béton à Composition Prescrite (BCP)

Béton pour lequel la composition et les constituants à utiliser sont spécifiés par le prescripteur au producteur.

### Béton à Composition Prescrite dans une norme

Le prescripteur a la responsabilité de sélectionner, dans la norme, la composition appropriée à l'ouvrage.

## Classification des bétons

La norme NF EN 206-1 définit des spécifications sur les bétons à l'état frais et à l'état durci.

### Classes de consistance du béton frais

Les classes de consistance (S1 à S5) sont déterminées par la mesure de l'affaissement réalisée à l'aide du cône d'Abrams : S1 (affaissement de 10 à 40 mm) / S2 (50 à 90 mm) / S3 (100 à 150 mm) / S4 (160 à 210 mm) / S5 ( $\geq 220$  mm).

### Classes de résistance à la compression du béton durci

La résistance des bétons durcis à 28 jours peut être mesurée sur des éprouvettes cylindriques ou cubiques, elle peut donc être définie par deux valeurs :

• **fck-cyl** et **fck-cube** : résistances caractéristiques

(fractile 5 %) en compression du béton déterminées respectivement par essais sur éprouvettes cylindriques et sur éprouvettes cubiques.

La norme NF EN 206-1 définit respectivement seize classes de résistance pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds de C 8/10 à C 100/115 et quatorze classes pour les bétons légers de LC 8/9 à LC 80/88.

### Classes de teneurs en chlorures

Les classes de chlorure à respecter en fonction du type d'utilisation du béton, permettent d'adapter sa composition en fonction des risques de corrosion des armatures.

## Valeurs limites spécifiées

L'Annexe Nationale française de la norme NF EN 206-1 définit des valeurs limites spécifiées relatives à la composition et aux propriétés du béton applicables en France en fonction de chaque classe d'exposition dans deux tableaux (NA.F.1 et NA.F.2). Ces tableaux comportent d'autres exigences, en particulier sur les additions et la nature des ciments à utiliser et précisent aussi les quantités maximales autorisées pour chaque addition (cendres volantes, fumées de silice, laitier moulu, addition calcaire et siliceuse). ■

### Exemple de désignation d'un Béton à Propriétés Spécifiées (BPS)

**BPS NF EN 206-1 C 30/37 XC1 (F) Dmax 22,4 S2 Cl 0,65**

Cette désignation reprend dans l'ordre : le type de béton : **BPS** ; la conformité à la norme : **NF EN 206-1** ; la classe de résistance à la compression : **C 30/37** ; la classe d'exposition : **XC1 (F)** ; la dimension maximale des granulats : **Dmax 22,4** ; la classe de consistance : **S2** ; la classe de teneur en chlorure : **Cl 0,65**

## Valeurs limites spécifiées applicables en France à la composition et aux propriétés du béton (extrait du tableau NA.F.1 de la norme NF EN 206-1)

Classes d'exposition		Rapport $E_{eff}/Liant_{eq}$ maximal	Classe de résistance minimale	Teneur minimale en $Liant_{eq}$ ( $kg/m^3$ )	Teneur minimale en air (%)	
Aucun risque de corrosion ou d'attaque	X0	-	-	150	-	
Carbonatation	XC1	0,65	C20/25	260	-	
	XC2	0,65	C20/25	260	-	
	XC3	0,60	C25/30	280	-	
	XC4	0,60	C25/30	280	-	
Corrosion induite par les chlorures	Eau de mer					
	XS1	0,55	C30/37	330	-	
	XS2	0,55	C30/37	330	-	
	XS3	0,50	C35/45	350	-	
	Chlorures autres que l'eau de mer					
	XD1	0,60	C25/30	280	-	
Attaques gel/dégel	XD2	0,55	C30/37	330	-	
	XD3	0,50	C35/45	350	-	
	XF1	0,60	C25/30	280	-	
	XF2	0,55	C25/30	300	4,0	
Environnement contenant des substances chimiques agressives	XF3	0,55	C30/37	315	4,0	
	XF4	0,45	C30/37	340	4,0	
	XA1	0,55	C30/37	330	-	
	XA2	0,50	C35/45	350	-	
	XA3	0,45	C40/50	385	-	

## → Classes d'exposition

Les classes d'expositions traduisent les actions environnementales.

Les nouveaux textes normatifs relatifs au béton prennent en compte la **durabilité** en s'appuyant sur la notion de **classe d'exposition**. Ils imposent au prescripteur de définir les actions dues à l'environnement auxquelles le béton de l'ouvrage ou de chaque **partie d'ouvrage** va être exposé pendant la **durée d'utilisation** de la structure. Les classes d'exposition permettent ainsi d'**optimiser les formulations** des bétons et de les adapter aux actions environnementales.

La détermination des classes d'exposition permet d'optimiser les performances du béton et sa durabilité en sélectionnant avec précision les formulations, les caractéristiques et les propriétés parfaitement

adaptées aux environnements dans lesquels il va se trouver.

Les classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage sont donc une donnée de base du projet. **Le choix des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage est de la responsabilité du prescripteur.** Le marché doit donc préciser toutes les données caractérisant l'environnement dans lequel sont situées les parties de l'ouvrage ainsi que les classes d'exposition.

La norme NF EN 206-1, en conformité avec l'Eurocode 2 (norme NF EN 1992-1-1), définit (article 4.1 : Classes d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement) 18 classes d'exposition regroupées

par risque de corrosion (XC, XD, XS) et d'attaques (XF, XA) dépendant des actions et conditions environnementales auxquelles le béton est soumis.

La norme décrit, pour chaque classe d'exposition, l'environnement et le type de béton concerné et donne à titre informatif des exemples d'ouvrages ou de parties d'ouvrages (voir tableau ci-dessous).

À chaque classe d'exposition correspondent des spécifications sur la composition des bétons et la classe de résistance sous forme d'exigences minimales à respecter. Les spécifications concernent en particulier la nature et le dosage minimal en ciment, la valeur maximale du rapport Eau/Liant<sub>équivalent</sub>, la classe de résistance du béton, la teneur maximale en chlorures ainsi que la valeur de l'enrobage des armatures.

### Définition des classes d'exposition

Classe d'exposition	Risques de corrosion et d'attaques	Béton concerné
XO	Aucun risque de corrosion ou d'attaque	Béton non armé ou béton armé en environnement très sec.
XC	Corrosion induite par carbonatation	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées exposé à l'air et à l'humidité.
XD	Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact d'une eau ayant une origine autre que marine contenant des chlorures, y compris des sels de déverglaçage.
XS	Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact des chlorures présents dans l'eau de mer ou à l'action de l'air véhiculant du sel marin.
XF	Attaques gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage	Béton soumis à une attaque significative due à des cycles gel/dégel alors qu'il est mouillé.
XA	Attaques chimiques	Béton exposé aux attaques chimiques se produisant dans les sols naturels, les eaux de surface et/ou les eaux souterraines.

### Détermination des classes d'exposition

La détermination rigoureuse des classes d'expositions auxquelles est soumis le béton nécessite une analyse par étapes successives de l'ensemble des actions environnementales potentielles.

### Combinaison des classes d'exposition

Chaque béton d'une partie d'ouvrage peut être soumis simultanément à plusieurs actions environnementales.

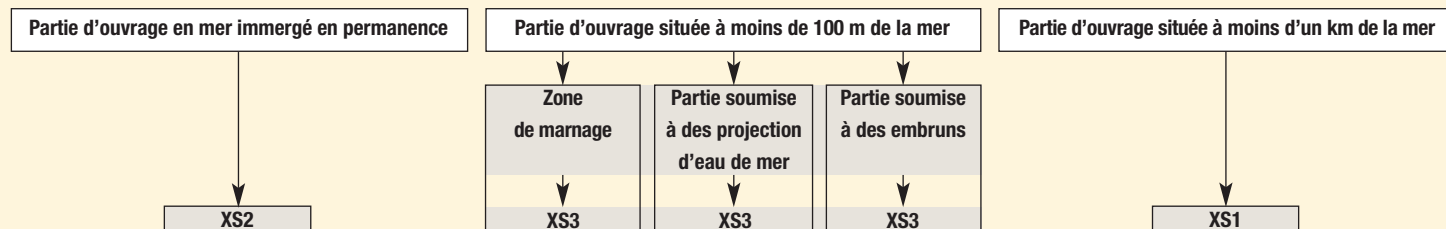
Il convient donc, pour chaque partie d'ouvrage, de combiner les classes d'exposition pour prendre en compte avec précision l'ensemble des conditions environnementales auxquelles est soumis le béton.

Le béton devant respecter toutes les valeurs limites applicables pour la composition et les propriétés du béton pour chaque classe d'exposition, les **exigences et spécifications les plus sévères doivent être sélectionnées.** ■



## Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer - classes XS

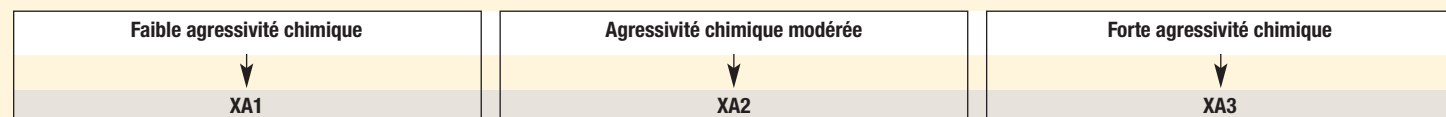
Les classes XS1, XS2, XS3 sont relatives à la corrosion des armatures induite par les chlorures présents dans l'eau de mer. Elle concerne donc les bétons contenant des armatures soumis au contact de l'eau de mer ou à l'action de l'air véhiculant du sel marin.



## Attaques chimiques - classes XA

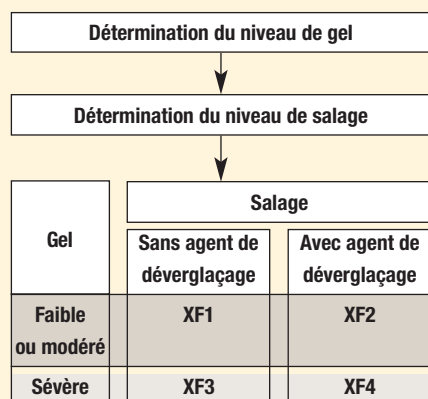
Lorsque le béton est au contact d'un sol naturel, des eaux de surfaces ou des eaux souterraines, il peut faire l'objet, selon le niveau d'agressivité du sol et des eaux, de l'une des classes : XA1, XA2 et XA3 correspondant respectivement à des environnements à faible, modérée ou forte agressivité chimique.

Le tableau 2 de la norme NF EN 206-1 définit les valeurs limites correspondant aux attaques chimiques des sols naturels ( $\text{SO}_4^{2-}$ , acidité) et des eaux de surfaces et souterraines ( $\text{SO}_4^{2-}$ , pH,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Ce tableau permet de déterminer la classe d'exposition en fonction des caractéristiques chimiques correspondant à l'agressivité la plus élevée.



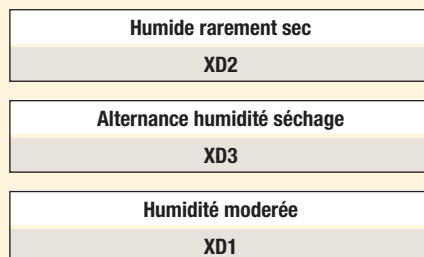
## Attaques gel / dégel avec ou sans agent de déverglaçage - classes XF

La norme NF EN 206-1 définit 4 classes d'exposition (XF1, XF2, XF3 ou XF4) pour les bétons soumis à une attaque significative des cycles gel/dégel avec ou sans agents de déverglaçage.



## Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine - classes XD

Lorsque le béton est soumis au contact d'une eau contenant des chlorures (d'origine autre que marine) ou des sels de déverglaçage (entraînés par les véhicules), il fait l'objet de la classe d'exposition, corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine, décomposée en 3 classes XD1 à XD3, en fonction du type d'humidité.

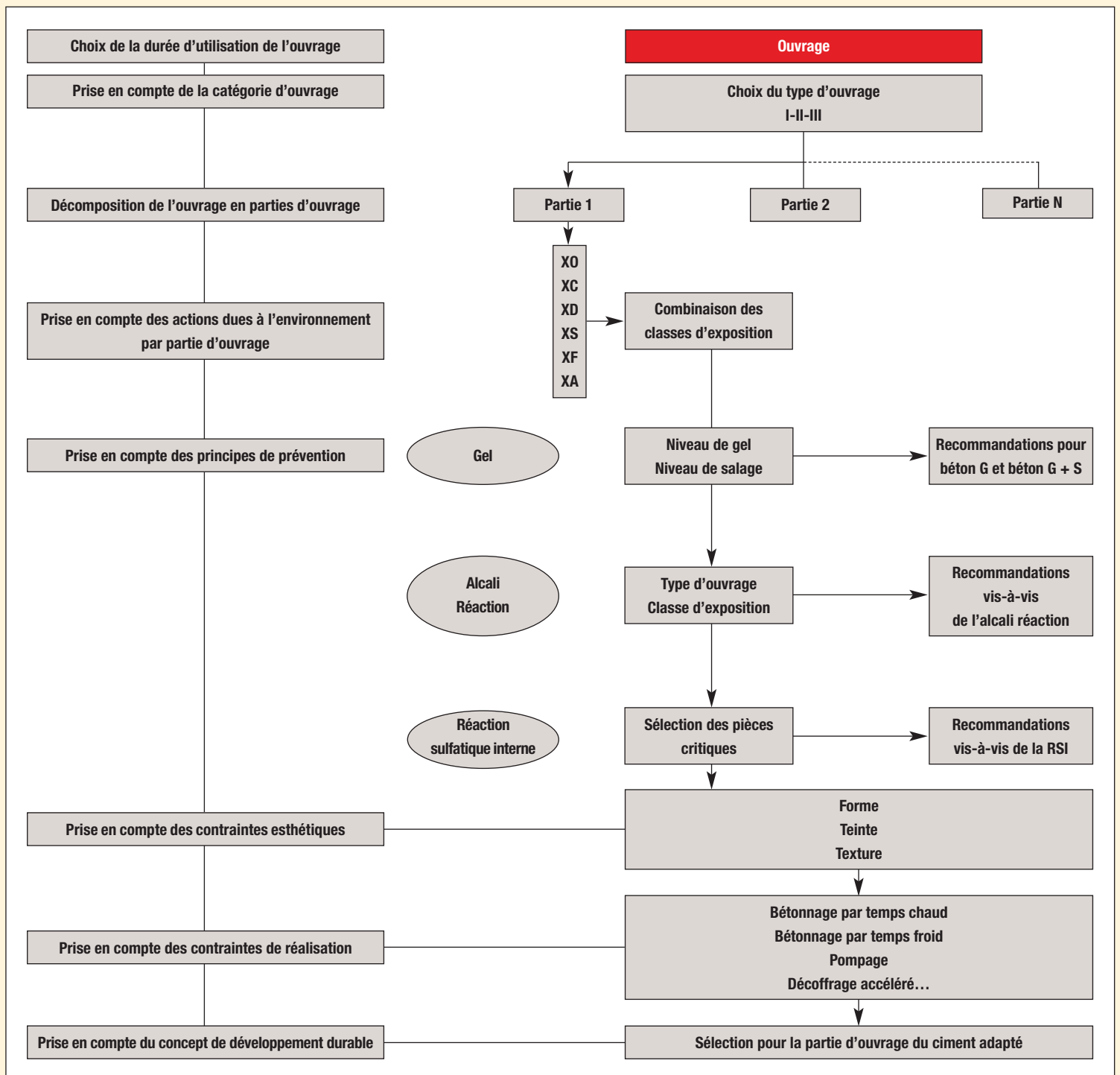


## Corrosion induite par carbonatation - classes XC

La carbonatation du béton est prise en compte par la classe d'exposition corrosion induite par carbonatation. Les classes XC1 à XC4 prennent en compte l'exposition du béton à l'air et à l'humidité en distinguant le degré d'humidité de l'environnement et l'alternance d'humidité et de séchage.



# → Synoptique de la démarche à suivre pour la prescription des ciments pour des ouvrages durables





# → Recommandations pour la maîtrise de la durabilité des bétons

En France, des documents spécifiques, recommandations et fascicules de documentation, synthétisent des principes de prévention pour des problématiques de durabilité en complétant les normes européennes.



## Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel

Les recommandations relatives à la prévention contre les mécanismes développés par le gel font l'objet

d'un guide technique édité par le LCPC en décembre 2003 intitulé "Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel".

Ces recommandations permettent :

- de maîtriser les agressions résultant des cycles de gel-dégel en présence ou non de sels de déverglaçage ;
- de formuler et de confectionner des bétons durables en ambiance hivernale.

Elles définissent les essais à mettre en œuvre ainsi que les caractéristiques à exiger sur le béton durci (facteur d'espacement des bulles d'air). Les essais performantiels sont basés sur des cycles de gel-dégel en présence ou non de sels de déverglaçage.

- Résistance au gel du béton dans la masse ;
- Résistance à l'écaillage qui caractérise le comportement de la surface du béton.

Elles concernent la formulation, les spécifications sur les constituants (ciments, granulats, additions), les spécifications exigées sur le béton durci ainsi que la fabrication, la mise en œuvre et les dispositions constructives.



## Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction

Les recommandations relatives à la prévention contre les phénomènes d'alcali-réaction font l'objet d'un fascicule édité

par le LCPC en juin 1994 intitulé : "Recommandations pour les préventions des désordres dus à l'alcali-réaction".

Le principe de la démarche préventive consiste à ne pas se retrouver dans une situation dans laquelle sont présentes simultanément les trois conditions nécessaires à l'amorçage de la réaction : eau / quantité d'alcalins dans le béton importante / silice réactive (présence de granulats réactifs). La méthode de prévention se décline en deux étapes. Elle consiste en fonction de l'environnement (classe 1 à 4) et du type d'ouvrage (type I à III) à déterminer le niveau de prévention à atteindre (A, B ou C), puis à vérifier que la formulation prévue pour le béton est satisfaisante.



## Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne

Les recommandations pour se prémunir contre le développement de réactions sulfatiques internes et limiter

le risque d'apparition des désordres induits par ces réactions font l'objet d'un guide technique publié en août 2007 intitulé : "Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne". Ces recommandations précisent des dispositions constructives à mettre en œuvre pour la conception et la réalisation de l'ouvrage et des précautions à appliquer pour la fabrication, le transport, la mise en œuvre et la formulation du béton. Elles sont complémentaires des spécifications de la norme NF EN 206-1.

Elles prennent en compte :

- La catégorie d'ouvrage ;
- Les actions environnementales auxquelles seront soumises les parties d'ouvrages concernées pendant la durée d'utilisation de la structure ;
- Les conditions thermiques du béton lors de sa mise en œuvre et au cours de son durcissement.

Sont concernés par ces recommandations uniquement les parties d'ouvrages en béton de dimensions importantes en contact avec l'eau ou soumises à une ambiance humide. Il s'agit de pièces massives ou "critiques" pour lesquelles la chaleur dégagée lors de l'hydratation du ciment est peu évacuée vers l'extérieur, ce qui conduit à une élévation importante de la température au cœur du béton.

Le principe de la démarche préventive consiste à identifier les parties d'ouvrages "critiques" susceptibles d'être soumises au phénomène de RSI, puis à définir un niveau de prévention nécessaire en fonction de la catégorie de l'ouvrage (catégories I à III traduisant le niveau de risque que le maître d'ouvrage est prêt à accepter) et des classes d'exposition spécifiques à la RSI (intégrant l'importance des paramètres eau et humidité) traduisant l'environnement dans lequel se trouve le béton.

À chaque niveau de prévention (As, Bs, Cs, Ds) correspond un choix de précautions à appliquer. Il convient donc de mettre en œuvre pour chaque partie d'ouvrage concernée des précautions adaptées, qui visent essentiellement à limiter la température maximale susceptible d'être atteinte.

## Fascicule de documentation FD P 18-011

Le fascicule de documentation FD P 18-011 "Définition et classification des environnements chimiquement agressifs, recommandations pour la formulation des bétons" définit des environnements agressifs, pour les bétons armés et précontraints. Il permet de spécifier des dispositions préventives adaptées pour la formulation des bétons résistants à ces environnements agressifs. Ce fascicule est complémentaire de la norme NF EN 206-1. Pour chaque environnement agressif, correspondant aux classes d'expositions XA1, XA2 et XA3, le fascicule donne des recommandations sur le choix du type de ciment pour les milieux contenant des sulfates, les milieux acides et l'eau pure. Il recommande en particulier des mesures préventives pour la formulation des bétons afin d'assurer leur durabilité. ■

## → Notion de durabilité

Un ouvrage doit satisfaire, avec un niveau constant, les besoins des utilisateurs au cours du temps et résister aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques...) et aux charges auxquelles il est soumis, ainsi qu'aux actions induites par le vent, la pluie, le froid, la chaleur, le milieu ambiant... tout en conservant son esthétisme.

La durabilité de l'ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans son environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible (sous réserve de la mise en œuvre d'une maintenance préventive programmée).

La durabilité du maintien de ses fonctions doit être assortie d'une durée, temps minimal et raisonnable pour lequel l'ouvrage est conçu qui est appelé la **durée d'utilisation de projet**.

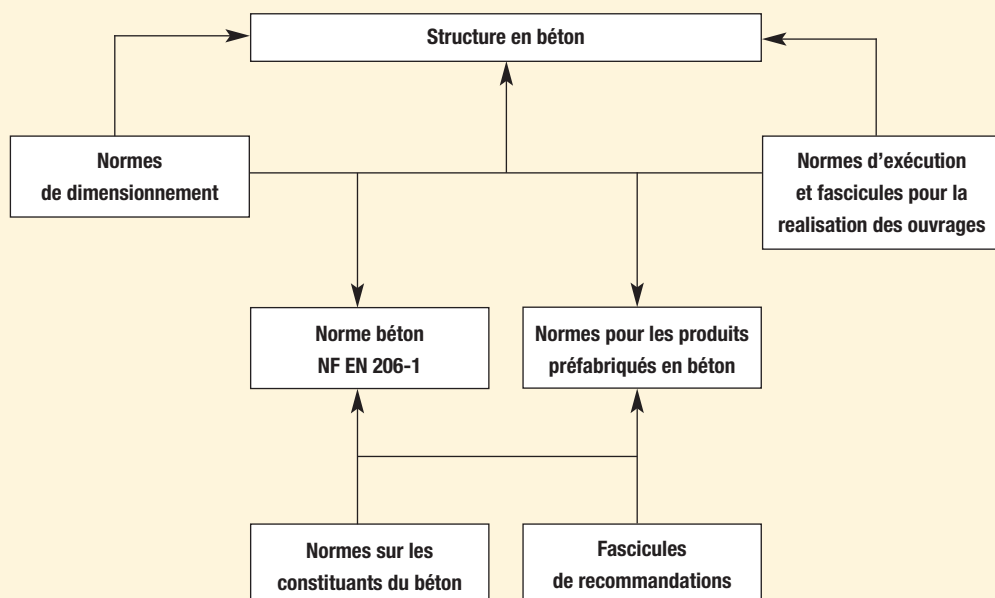
La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, la qualité des matériaux et des produits utilisés, la qualité des dispo-

sitions constructives, de la réalisation de l'ouvrage et de la mise en œuvre des matériaux ainsi que des diverses conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance. Prescrire un béton durable nécessite donc d'apprécier, dès sa conception, l'ensemble des contraintes environnementales et les agressions et attaques potentielles qu'il aura à subir pendant toute sa durée d'utilisation. Il est possible désormais de définir des objectifs de durabilité et d'optimiser avec précision les caractéristiques et les propriétés des ciments et des bétons (qui sont donc plus complètes et plus précises) en fonction des contraintes environnementales du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage, afin de les adapter à la durée d'utilisation souhaitée tout en respectant les critères de performances mécaniques. ■

### Durée d'utilisation de projet selon la norme NF EN 1990

Durée d'utilisation de projet (années)	Exemples
10	Structures provisoires
25	Éléments structuraux remplaçables
25	Structures agricoles et similaires
50	Bâtiments et autres structures courantes
100	Bâtiments monumentaux Ponts et autres ouvrages de génie civil

### Le dispositif normatif du béton



#### Un contexte normatif homogène et cohérent

Un nouveau contexte normatif et réglementaire encadre désormais l'utilisation du matériau béton. Les normes et les recommandations constituent un ensemble homogène et complet qui permet de prendre en compte, dès la conception, tous les critères de durabilité. Cette évolution s'inscrit dans une logique de progrès visant à optimiser la qualité et les performances des bétons et à maîtriser la durabilité des ouvrages. Cet ensemble de documents couvre le dimensionnement des ouvrages en béton (avec les Eurocodes), les constituants du béton (dont la norme NF EN 197-1 pour les ciments, les normes NF EN 12620 et XP P 18-545 pour les granulats et la norme NF EN 934-2 pour les adjuvants), le béton et en particulier sa durabilité (norme NF EN 206-1, fascicule de documentation FD P 18-011, recommandations sur l'alcali-réaction, le gel/dégel et les réactions sulfatiques internes), et la réalisation de l'ouvrage (Fascicule 65...).



# → Nouvelles exigences pour les maîtres d'ouvrages

La mise en application du nouveau contexte normatif sur les bétons, en particulier la norme "béton" NF EN 206-1 et les normes "Eurocode" induit une forte évolution des responsabilités des maîtres d'ouvrages.

Le maître d'ouvrage doit désormais s'impliquer précisément dans la définition détaillée des exigences à respecter tout au long des étapes du cycle de conception, d'exécution, d'utilisation et de maintenance de l'ouvrage. Il a la responsabilité de choix fondamentaux, en particulier en matière de qualité, fiabilité, sécurité et durabilité des structures et de prévention des risques. Ces choix fondamentaux se déclinent pour les structures en béton principalement selon deux types d'exigences :

- exigences vis-à-vis de la durabilité de l'ouvrage ;
- exigences vis-à-vis du développement durable.

## Exigences vis-à-vis de la durabilité de l'ouvrage

### Durée d'utilisation du projet

Le maître d'ouvrage a la responsabilité de définir la durée d'utilisation du projet. L'Eurocode 0 définit cette durée comme "la période au cours de laquelle la structure est censée rester normalement utilisable en étant normalement entretenue, mais sans qu'il soit nécessaire de procéder à de grosses réparations". La durée d'utilisation du projet a une incidence fondamentale en particulier sur les dispositions constructives pour les armatures passives ou de précontrainte (la valeur de l'enrobage des armatures est fonction en particulier de la durée d'utilisation et de la classe de résistance du béton).

### Choix de matériaux spécifiques

Le maître d'ouvrage peut favoriser l'utilisation de matériaux offrant des performances spécifiques permettant d'augmenter et d'optimiser la durée d'utilisation de l'ouvrage (exemple armatures inox en substitution partielle ou totale des armatures au carbone).

### Détermination des agressions et attaques extérieures auxquelles sera soumis le béton

Le maître d'ouvrage doit, pour chaque partie d'ouvrage déterminer les diverses agressions ou attaques extérieures auxquelles seront soumis les bétons, au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage. Les 18 classes d'exposition permettent de spécifier les diverses agressions et attaques physico-chimiques extérieures. Le maître d'ouvrage peut ainsi décliner, au niveau de chaque partie de l'ouvrage, l'agressivité du site en précisant tous les paramètres liés à l'humidité, à l'hygrométrie et aux conditions d'exposition à l'eau.

#### • Prévention vis-à-vis des risques de gonflement du béton

Le maître d'ouvrage doit indiquer ses exigences traduisant sa stratégie de prévention vis-à-vis des risques potentiels de gonflement du béton.

#### • Prévention vis-à-vis des risques d'alcali-réaction

Le maître d'ouvrage doit préciser le type d'ouvrage (type I à III) et pour chaque partie d'ouvrage la classe d'exposition (classe 1 à 4).

#### • Prévention vis-à-vis des risques de réaction sulfatique interne

Le maître d'ouvrage doit sélectionner les "pièces critiques" susceptibles d'être soumises à la réaction et préciser la catégorie d'ouvrage (catégorie I à III). Pour chaque "pièce critique" sélectionnée, il doit préciser la classe d'exposition, spécifique à la réaction sulfatique interne, à considérer (XH1 / XH2 / XH3).

### Données climatiques spécifiques au site

Parmi les diverses données climatiques spécifiques au site dans lequel est implanté l'ouvrage, certaines telles que celles relatives à la neige, à la température

et au vent sont nécessaires pour le dimensionnement de l'ouvrage. Elles peuvent aussi permettre de sélectionner les matériaux et les dispositions constructives les mieux adaptés pour assurer la pérennité de la structure.

## Exigences vis-à-vis du développement durable

La genèse et la conception d'un ouvrage intègrent maintenant toutes les étapes de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières destinées à la fabrication des matériaux constituant l'ouvrage, jusqu'à la valorisation et la réutilisation de ces matériaux en fin de vie, en passant par la fabrication, la mise en œuvre des matériaux et la vie de l'ouvrage.

L'ouvrage doit bien sûr s'intégrer parfaitement dans son site d'accueil et offrir, grâce au choix de matériaux de construction adaptés, une pérennité architecturale.

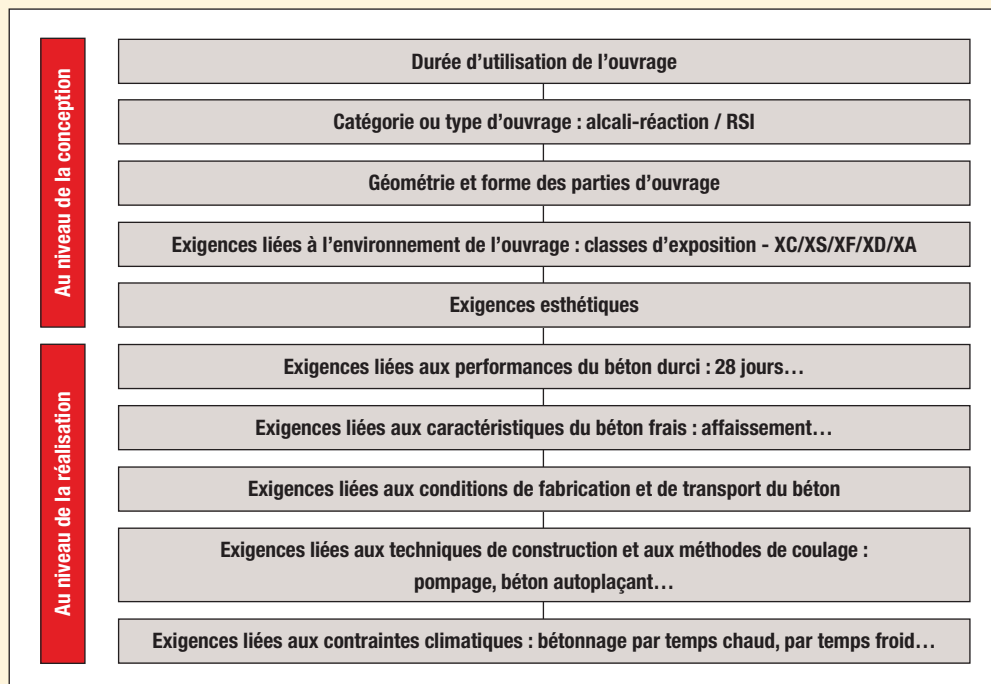
Les industriels de la filière ciment et béton se sont engagés dans une démarche d'analyse de cycle de vie de leurs matériaux afin :

- d'améliorer les performances environnementales et sanitaires de leurs produits ;
- de donner aux utilisateurs des indications chiffrées des impacts environnementaux du matériau béton dans ses utilisations ;
- de permettre une évaluation environnementale et sanitaire des solutions constructives.

Cette démarche se concrétise par la mise au point de Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires (FDES). Ces fiches permettent aux prescripteurs de choisir les meilleures solutions constructives dans le cadre de projets soucieux de préserver l'environnement et les ressources naturelles.

Le choix du type de ciment adapté au projet et à chaque partie d'ouvrage doit intégrer aussi cette démarche.

## Exigences à prendre en compte pour le choix du ciment et la formulation des bétons



Les objectifs à atteindre pour les bétons sont devenus plus diversifiés et plus précis, allant de la rapidité d'exécution de l'ouvrage à sa durabilité à très long terme. La formulation des bétons et le choix du ciment résultent d'une approche globale qui optimise le meilleur compromis entre de nombreuses exigences tant au niveau de la conception que de la réalisation.

### Exigences à prendre en compte au niveau de la conception

- Exigences liées à la durée d'utilisation de l'ouvrage : 50 ans, 100 ans...
- Exigences liées à l'environnement de l'ouvrage en phase d'utilisation (cf. classes d'exposition).
- Exigences liées aux préventions vis-à-vis de l'alcali-réaction et des risques de désordres dus à la réaction sulfatique interne.
- Exigences de limitation de la fissuration, du retrait ou du fluage et relatives à la compacité, à la perméabilité à l'air, à l'eau ou au gaz...
- Exigences liées à la qualité des parements et à l'esthétique de l'ouvrage et à son intégration dans l'environnement et exigences visant à assurer la régularité d'aspect des parements en béton.

### Exigences à prendre en compte au niveau de la réalisation

- Exigences liées à la géométrie et à la forme de l'ouvrage. La géométrie de l'ouvrage à réaliser impose souvent la valeur  $D_{max}$  des granulats qui est limitée par l'enrobage et l'entraxe des armatures.
- Exigences liées aux caractéristiques du béton frais. L'ouvrabilité du béton (mesurée par l'essai au cône d'Abrams) permet de caractériser la mise en œuvre du béton, et un parfait remplissage des coffrages sans risque de ségrégation.
- Exigences liées aux propriétés du béton durci. C'est la résistance caractéristique en compression à 28 jours mesurée sur éprouvette cylindrique qui est prise en compte pour le dimensionnement. Pour de nombreux chantiers, il est nécessaire d'avoir des résistances importantes à des échéances plus courtes (1 jour, 2 jours...).
- Exigences liées aux méthodes et techniques de construction : coffrage grim pant, coffrage glissant, coffrage fixe...
- Exigences liées aux conditions de fabrication, de transport et de mise en œuvre du béton. Les conditions et les délais de transport et de mise en œuvre du béton, sont des paramètres à respecter pour sa formulation. Il est nécessaire de tenir compte aussi

des caractéristiques des moyens de vibration utilisés sur le chantier.

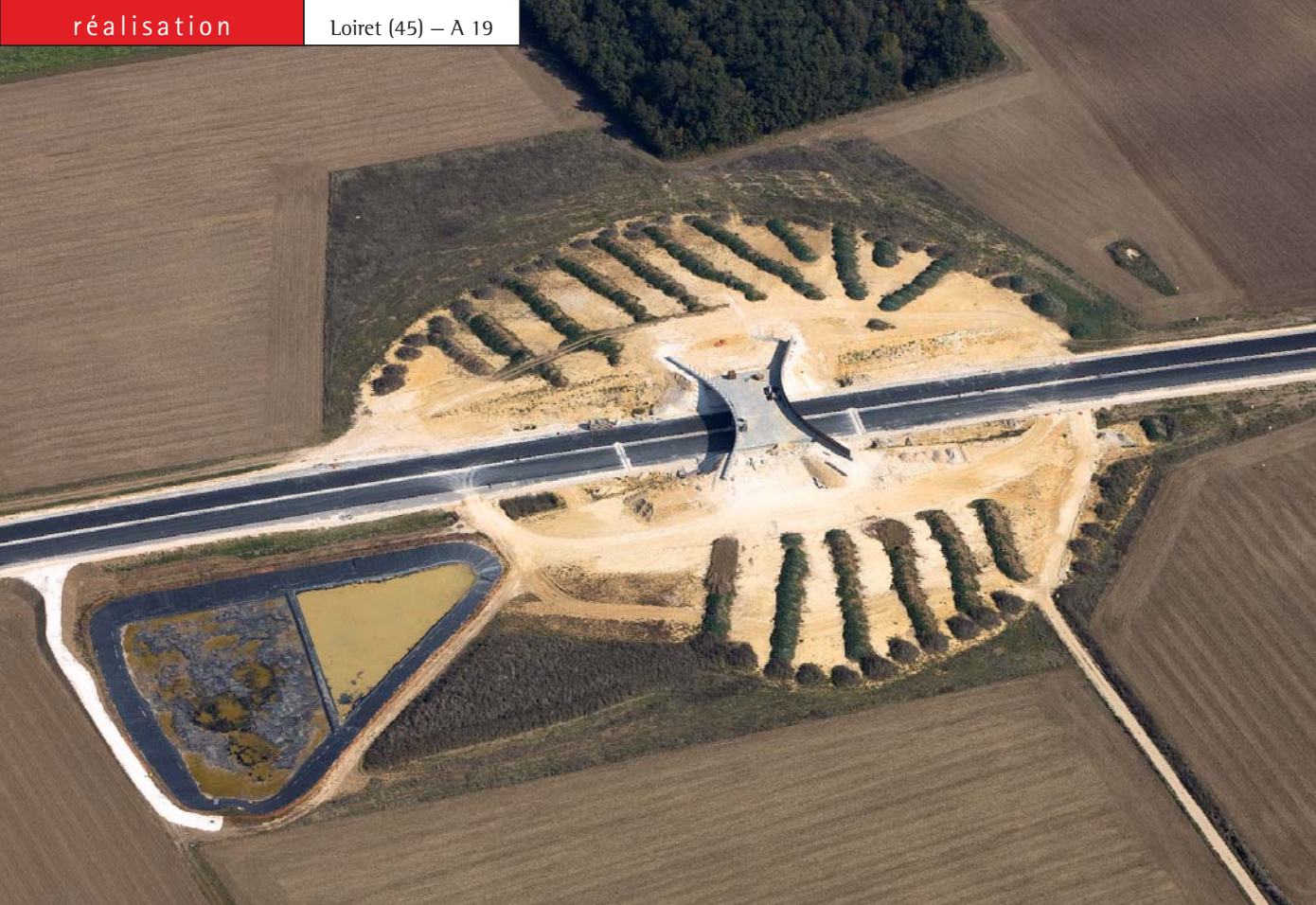
- Exigences liées aux méthodes de bétonnage : pompage, mise en place à la benne, au tube plongeur.
- Exigences liées aux types de coffrages : coffrage bois, métallique, moule à base de produit de synthèse... et aux agents de démoulage.
- Exigences liées aux contraintes climatiques : la formulation du béton doit prendre en compte les conditions climatiques (temps chaud, temps froid) lors de la réalisation de l'ouvrage, et pour le bétonnage de pièces de grandes dimensions, les dégagements de chaleur et les échanges thermiques avec l'extérieur.

**Les ouvrages en béton disposent aujourd'hui d'un nouveau support normatif complet constitué majoritairement de normes européennes complétées par des référentiels nationaux. S'appuyant sur le retour d'expérience et sur les travaux d'études et de recherches menées durant ces dernières décennies, ce nouveau contexte normatif est une réelle avancée pour l'ensemble des acteurs de l'acte de construire. Ce dispositif s'inscrit dans une logique de progrès visant à optimiser la qualité des bétons et à maîtriser la durabilité des ouvrages. ■**

Un béton dont la composition et la formulation (type, classe et dosage en ciment, type et dosage en addition, dosage en eau, courbe granulométrique et nature minéralogique des granulats, types d'adjuvants, ...) sont conformes aux valeurs limites spécifiées est un **matériau durable**. Mais il est capable de satisfaire les exigences de durabilité par rapport à l'utilisation envisagée dans les conditions environnementales que si, en particulier :

- Les classes d'exposition ont été correctement sélectionnées ;
- L'enrobage de béton est adapté aux conditions environnementales et à la durée d'utilisation de l'ouvrage ;
- Les règles de l'art relatives en particulier à la vibration et à la cure sont respectées ;
- La maintenance préventive de la structure est réalisée.





# Respect des paysages et de l'environnement

>>> LA JONCTION AUTOROUTIÈRE A 19 ENTRE ARTENAY (A 10) ET COURTENAY (A 6 ET SECTION A 19 EXISTANTE)

EST OUVERTE DEPUIS L'ÉTÉ 2009. ELLE PERMET AU TRAFIC DE TRANSIT D'ÉVITER L'ÎLE-DE-FRANCE ET OFFRE UN AXE

TRANSVERSAL FACILITANT LES LIAISONS EST-OUEST. TOUT EN AMÉLIORANT LA DESSERTE LOCALE PAR LE DÉLESTAGE

DE LA N 60, CETTE NOUVELLE LIAISON VA RENFORCER L'ATTRACTIVITÉ ÉCONOMIQUE DE LA RÉGION. RÉALISATION

AMBITIEUSE, CETTE SECTION COMPTE 102 OUVRAGES D'ART COURANTS DONT TROIS PASSAGES POUR ANIMAUX

SAUVAGES, TÉMOIGNANT AINSI DE SON INTÉGRATION DURABLE DANS L'ENVIRONNEMENT.





Entre Courtenay et Artenay, la section se développe sur 101 km, dont 99 km dans le Loiret et 2 km dans l'Yonne, et passe au nord de Montargis et au sud de Pithiviers, avec les traversées de la "Grande Beauce", du "Gâtinais ouest" et du "Gâtinais est", ainsi que de 45 communes. Il s'agit d'une autoroute à 2 x 2 voies avec bandes d'arrêt d'urgence qui comporte quatre diffuseurs complets (N 152, D 975, N 7, N 60), un demi-diffuseur ouest à Courtenay est/RN 60, trois nœuds autoroutiers (A 10, A 77 et A 6), un viaduc dans la vallée du Loing, d'une longueur de plus d'un kilomètre, trois couples d'aires de repos (Crottes-en-Pithiverais, Cepoy et Chantecoq), une aire de service unilatérale à Beaune-la-Rolande, un centre de gestion et d'exploitation et un peloton de gendarmerie.

#### chiffres clés

- Longueur totale : **101 km**
- Ouvrages d'art : **108**
- Béton : **70 000 m<sup>3</sup>**
- Remblais / déblais : **15 millions de m<sup>3</sup>**
- Durée de réalisation : **4 ans**

Sa construction a nécessité le rétablissement d'une centaine de passages supérieurs ou inférieurs ainsi que des ouvrages hydrauliques pour le franchissement des rivières (Euf, Rimarde, Loing, Clairis...).

#### 118 passages pour animaux

À ceci s'ajoutent l'aménagement spécifique en forêt de Montargis de deux sections couvertes et la création de nombreux passages pour animaux :

- 27 passages supérieurs ou inférieurs aménagés pour animaux,
- 6 passages spécifiques pour animaux sauvages,
- 81 passages pour la petite faune,
- 2 passages pour batraciens.

Déclarée d'utilité publique le 21 août 1998 (DUP prorogée par décret du 8 novembre 2004), l'autoroute A 19 est réalisée sous contrat de concession d'une durée de 65 ans, signé le 31 mars 2005 par la société Arcour. Le projet représente un budget global de 830 millions d'euros, dont 100 millions à la charge de l'État et des collectivités locales, 700 millions étant dédiés aux travaux de construction. Sa conception et sa construction ont été confiées à

➤➤➤ **1** En lisière de la forêt domaniale de Montargis, deux tronçons de l'autoroute s'enterrent sur une longueur de 300 m. **2** Les deux sections couvertes sont constituées d'un double cadre en béton armé de 150 m de long et 25 m de large. **3** et **4** Entre Artenay et Courtenay, 27 passages supérieurs pour animaux ont été aménagés dont 6 spécifiques pour animaux sauvages.

Socaly (groupe Vinci). Un contrat d'exploitation a été signé avec Cofiroute pour les sept premières années.

L'offre d'Arcour repose sur une prévision de trafic de 8 500 MJA (Moyenne Journalière Annuelle) en 2010 et 17 500 MJA à l'horizon 2030 dont 17 % de poids lourds. 150 emplois permanents seront créés dans le cadre de l'exploitation, auxquels s'ajoutent 2 000 emplois pendant la phase de travaux et entre 2 500 et 5 000 emplois indirects induits par le développement de zones d'activités dans le Loiret.

Filiale à 100 % de Vinci au travers de Vinci Concessions, Arcour s'est adjoint et orchestre les savoir-faire développés au sein du groupe. Socaly, en charge de la maîtrise d'œuvre et de la construction, travaille en étroite collaboration avec d'autres filiales du groupe telles que Eurovia, GTM Construction, Sogea Construction, Vinci Construction Grands Projets. De son côté Cofiroute, futur exploitant de l'autoroute, est en charge du remembrement et des acquisitions foncières avant et pendant les travaux.

#### Terres agricoles et forêts

L'autoroute A 19, sur sa section Artenay-Courtenay, nécessite une emprise d'environ 1 300 hectares. Il s'agit principalement de terres agricoles et de forêts. L'effet de coupure induit par le tracé a été largement atténué par la procédure de réorganisation des parcelles de part et d'autre du projet. Ceci permet également de maintenir la pérennité des exploitations au mieux des possibilités et des intérêts des propriétaires et des exploitants.

La construction et l'exploitation de l'A 19 ont été et seront cadrées par la Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992. Elles s'inscrivent pleinement dans ses dispositions réglementaires : ainsi, les rivières, les eaux superficielles, les nappes souterraines et le milieu aquatique ont fait l'objet d'études approfondies qui ont permis de mettre en œuvre les moyens de protection appropriés pour limiter les incidences de l'infrastructures sur ces milieux. Concernant la question de l'archéologie, de nombreuses opérations de diagnostics ont démarré dès juillet 2005 avec une



prospection par décapage couvrant 15 % de l'emprise globale. Une centaine de sites identifiés ont conduit à la prescription de 30 fouilles qui ont permis de préciser le patrimoine archéologique du tracé.

### Les ouvrages d'art courants

Les ouvrages d'art courants tels que passages supérieurs et inférieurs, franchissements hydrauliques sont au nombre de 102, y compris les passages pour animaux sauvages, dont les caractéristiques sont différentes de celles des ouvrages courants. Il s'agit de réalisations en béton armé, vues en plan en forme de diabolos, qui ont une largeur de 19 m et une portée de 2 x 13 m ou 2 x 18 m. Les ouvrages courants comprennent également trois grands passages inférieurs constitués de voûtes préfabriquées en béton armé d'une largeur en pied de 24 m sur la Rimarde, de 22 m sur l'Éuf et de 15 m sur le Rû Saint-Jacques.

En lisière de la forêt domaniale de Montargis, deux tronçons de l'autoroute s'enterrent sur une longueur de 300 m pour ne pas faire obstacle aux migrations de cervidés, chevreuils et cerfs qu'ont mis en évidence les pré-études :

les animaux naissent en forêt d'Orléans, traversent celle de Fontainebleau puis rejoignent celle de Montargis.

Dans cette zone écologiquement très sensible, l'autoroute s'enterre sous forme de tranchées couvertes qui disparaîtront sous un épais manteau de terre arborée pour ne pas créer d'obstacle au passage de la faune et favoriser la migration. Ces sections partiellement enterrées sont constituées d'un double cadre en béton armé de 150 m de long, 25 m de large et 7 m de hauteur. Les deux cadres sont édifiés dans une portion de forêt assez

encaissée dans laquelle sont déposés les excédents de remblai. La technique de construction des cadres est simple : 3 voiles verticales (2 voiles latéraux et 1 voile central séparant les voies de circulation) et 1 dalle de couverture, coulés en place, soit de l'ordre de 11 000 m<sup>3</sup> de béton.

Entre Cepoy et Fontenay-sur-Loing, un viaduc de 1 008 m de longueur totale enjambe le canal et la rivière du Loing ainsi que des sablières inondées et une voie ferrée. Le tablier mixte acier/béton à 2 x 2 voies est constitué de 16 travées

dont la portée courante est de 63,75 m. Il s'appuie sur 2 culées en béton et 15 piles à double fût en béton, de 7 à 14 m de hauteur, fondées chacune sur 4 pieux en béton armé de 14 m à 18 m de profondeur. Le hourdis est constitué de 1 064 dalles préfabriquées en béton, de dimension 4 m x 5 m et 0,25 m d'épaisseur.

### Plus de 50 000 m<sup>3</sup> de béton

Sur ce chantier, la quasi-totalité des bétons font appel, pour leur composition,

#### >>>> Le tracé de la A 19 entre Artenay et Courtenay.







5



6

à des formules classiques. Les bétons des parties d'ouvrages exposées au gel sévère et aux sels de déverglaçage ont été formulés pour satisfaire aux exigences correspondant à la classe d'exposition XF4. Les entreprises se sont appuyées pour la production et la livraison des bétons sur les centrales du réseau local de BPE. Ainsi, le chantier a été alimenté à partir de quatre sites différents : 1 centrale à Courtenay, 2 centrales à Montargis, 2 centrales à Pithiviers et 1 centrale à Artenay. Une telle logistique était nécessaire pour faire face aux quantités à mettre en œuvre, de l'ordre de 30 000 m<sup>3</sup> pour les ouvrages d'art courants auxquels s'ajoutaient les volumes de béton des sections couvertes –11 000 m<sup>3</sup>– et ceux du viaduc dans la vallée du Loing, de l'ordre de 9 600 m<sup>3</sup>.

### Des poutres préfabriquées en béton

Une quarantaine d'ouvrages sont constitués de poutres préfabriquées en béton. Ces dernières ont été réalisées dans une usine de préfabrication implantée à Brive, puis acheminées par la voie ferrée Orléans – Toulouse et transportées jusqu'au chantier par camions

semi-remorques : elles représentent un linéaire total de 17 km de poutres de 10 m à 30 m de longueur unitaire (d'un poids de 25 t pour les plus lourdes).

### Un phasage très précis

L'une des contraintes du chantier, dans les premiers mois de sa réalisation, a résidé dans l'impossibilité, pour les camions de livraison du béton, d'emprunter la "trace" de la section. C'est ainsi que les ouvrages ont dû être réalisés dans un ordre défini par les entreprises de terrassement selon un phasage très précis, afin de rétablir au plus vite les voies qu'il ne leur était pas possible de franchir : voies ferrées, routes nationales, routes départementales à fort trafic. Le planning global des travaux a également eu un impact sur la conception de la centaine d'ouvrages à construire sur les 101 kilomètres de la section. Pour des raisons d'organisation des équipes sur site et de capacité des centrales de BPE et des industriels de la préfabrication, ils ont été répartis en deux grandes familles : les ouvrages en dalles préfabriquées d'une part, ceux en dalles coulées en place d'autre part. Le franchissement de l'échangeur entre l'A 6

>>> **5** Le franchissement de l'échangeur entre l'A 6 et l'A 19 existante a nécessité la construction de six ouvrages neufs. **6** Le viaduc de la vallée du Loing s'appuie sur 15 piles à double fût en béton de 7 à 14 m de hauteur.

et l'A 19 existante venant de Sens a entraîné la construction de 6 ouvrages neufs, dont 5 sous circulation.

D'autres points de franchissement ont également nécessité des mesures particulières tant en ce qui concerne les horaires du chantier que les mesures de sécurité à prendre : le franchissement de nuit des autoroutes A 77 et A 10, chacune par deux ouvrages, celui de la voie ferrée Paris-Orléans au-dessus de laquelle les travaux ne pouvaient être entrepris, également de nuit, que dans des créneaux de quelques heures. Les premiers bétons ont été coulés en septembre 2006 et l'ensemble des ouvrages courants a été achevé au premier semestre 2008. Les 108 ouvrages d'art en béton de la section, y compris les tranchées couvertes et le viaduc de la vallée du Loing auront ainsi été construits en 18 mois. Ce chantier a été le plus gros chantier autoroutier de ces dernières années. Selon Bernard Godinot, directeur général d'Arcour et Jean-Luc Fournier, directeur communication du projet, "il a constitué une grande aventure humaine pour relever les défis techniques et respecter les délais de réalisation, en

optimisant les phasages de construction et en réalisant simultanément la plupart des ouvrages". ■

TEXTE : MARC MONTAGNON

PHOTOS : OUVERTURE, 1, 2, 3, 5 : PASCAL LE DOARÉ /

4, 6 : MARC MONTAGNON



**Maître d'ouvrage :**  
Arcour  
(conception et construction)

**Maître d'œuvre :**  
Socaly,  
constituée de  
Vinci Construction Terrassement,  
Groupement Dodin,  
GTM Terrassement,  
EBL (ouvrages d'art)  
Vinci Construction Grands Projets  
(viaduc de la vallée du Loing,  
tranchées couvertes en forêt  
de Montargis),  
Eurovia (chaussées)

**Coût :**  
700 M€ HT





# Un viaduc pour protéger les loups

>>> PARMIS LES 30 VIADUCS QUI ÉMAILLENT LES 155 KM DU TRONÇON NORD DE LA NOUVELLE LIAISON AUTOROUTIÈRE IP3 SCUT, AU NORD-EST DU PORTUGAL, L'UN N'aurait JAMAIS DÛ VOIR LE JOUR. DANS CE SECTEUR OÙ EXISTE UNE ZONE "NATURA 2000", LA DÉCOUVERTE D'UN HABITAT DE LOUPS EN A DÉCIDÉ AUTREMENT. LE TRACÉ DE L'AUTOROUTE A ÉTÉ MODIFIÉ ET A NÉCESSITÉ LA CRÉATION DU VIADUC DE VILA POUCA DE ÁGUIAR. ŒUVRE DES ÉQUIPES PORTUGAISE ET FRANÇAISE, CET OUVRAGE INTERNATIONAL, À DEUX TABLIERS PARALLÈLES, LONG DE 1 348 M, HAUT DE 90 M DANS SA PARTIE CENTRALE, RÉALISÉ SELON PLUSIEURS MÉTHODES, A ÉTÉ CONSTRUIT EN UN TEMPS RECORD DE 22 MOIS.





Le Scut Interior Norte (IP3 ou A 24) est une liaison autoroutière, ouverte en intégralité depuis juin 2007, qui relie Chaves, au nord-est du Portugal, non loin de la frontière espagnole, à Viseu, au sud-est de Porto. Particularité de cette concession, attribuée en décembre 2000 par l'État portugais à un groupement constitué à 50 % de filiales d'Eiffage pour une durée de 30 ans : elle est à péage "virtuel". Comme le sigle Scut (Sem custos para o utilizador) l'indique, les usagers de l'autoroute ne paient pas, mais leur passage est comptabilisé

#### chiffres clés

- Béton : 70 000 m<sup>3</sup>
- Fondations sur semelles : 15 500 m<sup>3</sup>
- Culées : 1 250 m<sup>3</sup>
- Piles : 20 100 m<sup>3</sup>  
(classe de résistance C 30/37)
- Tablier : 31 600 m<sup>3</sup> (classe C 40/50)
- Répartition des travées : 40-4x60-79-5x130-79-3x60-48-32
- Armatures passives : 5 700 t
- Précontrainte : 1 300 t
- Délais de réalisation : 22 mois

de façon automatique par un système de boucles magnétiques noyées dans la chaussée entre chaque échangeur. Ces données sont transmises au ministère des Transports portugais qui règle alors directement les montants au concessionnaire.

#### Un site protégé

Le relief constitue une autre grande particularité. En effet, les 155 km de ce tronçon nord de l'A 24 traversent une région accidentée, avec de hauts plateaux granitiques s'étagant de 500 à 1 000 m d'altitude, entaillés par le Douro et ses affluents. En conséquence, ce relief difficile a imposé la création de 30 viaducs cumulant un linéaire de 10 km (cf *Construction Moderne Ouvrages d'art 2005*). Pourtant, leur nombre aurait pu être limité à 29. Mais le tracé initial de l'autoroute, qui croise une zone classée "Natura 2000" dans laquelle avait été repéré un habitat de loups, a dû subir une modification. Le passage d'un côté à l'autre de la vallée a donc nécessité un viaduc non prévu à l'origine : celui de Vila Pouca de Aguiar, nom d'un village tout proche.

#### Techniques constructives

Long de 1 348 m, en courbe et en pente, cet ouvrage en béton précontraint qui franchit une route nationale et le rio Corgo, comporte deux tabliers parallèles indépendants, larges de 13 m. Chacun repose sur 16 piles creuses, en forme de caissons, réalisées avec des coffrages grimpants, toutes fondées sur appuis superficiels. Début 2004, lors de la première étude préliminaire "projecto-base-phase 1", le bureau Jean Muller International (Egis JMI) avait étudié quatre solutions : deux avec un tablier en béton précontraint dont une avec un tablier construit par encorbellements successifs (solution 1), l'autre à caisson poussé combiné à de l'encorbellement (solution 2) ; deux avec tablier à ossature mixte.

Pour Egis JMI, développer les études pour un ouvrage aussi important était significatif. "D'abord, l'ouvrage par ses dimensions, par la variété des techniques était particulièrement intéressant. Ensuite, le profil en long et le tracé en plan étaient source de difficultés techniques", précise Jean-Marc

Tanis, directeur général d'Egis Structures & Environnement. Egis JMI a aussi effectué des expertises sur la géotechnique et les fondations dans le cadre du comité technique créé pour suivre la bonne exécution de l'ouvrage. Norinter, maître d'œuvre, retient finalement la solution 2 et confie à Egis JMI une mission de contrôle technique de la solution tablier en béton précontraint affinée par le bureau Armando Rito Lda de Lisbonne. Celle-ci correspond à la combinaison de deux techniques de construction, des ouvrages à tabliers séparés de section transversale en caisson en béton précontraint, qui avaient été mises en œuvre avec succès sur deux viaducs d'un autre tronçon de cette autoroute. Celui du Corgo, ouvrage à travées courantes de 145 m de portée environ, construit par encorbellements successifs avec voussoirs coulés en place et le viaduc du Vouga, aux portées de 60 m, édifié selon le principe du poussage. "Nous avons étudié ces différentes solutions avec les experts d'Eiffage, poursuit Jean-Marc Tanis. L'ouvrage ne pouvait être considéré de manière isolée. Il s'agissait d'optimiser les méthodes et les coûts en fonction de la disponibilité





>>> **1 et 2** Trois techniques de construction ont été mises en œuvre pour la réalisation des tabliers : des cintres auto-lanceur “par-dessus” au nord et “par-dessous” au sud, de l’encorbellement successif en partie centrale. **3** Les voussoirs constituant les tabliers ont été coulés en place avec des équipages mobiles.

des matériels de construction. Le choix conceptuel a été validé sur une solution technique, mais aussi sur l’expertise et le savoir-faire des entreprises”.

Chaque tablier du viaduc de Vila Pouca de Aguiar a été “découpé” en trois parties en fonction de la technique d’exécution des travées. Ainsi, au nord, une méthode de construction avec cintre auto-lanceur baptisée “par-dessus”, car la structure porteuse est placée au-dessus du tablier, a été mise en œuvre. Son avancement complexe et assez lent, incompatible avec le court délai de réalisation imposé, a déterminé un autre choix pour la partie sud de l’ouvrage, de géométrie plus simple, et qui compte également cinq piles. Là, c’est une technique de cintre auto-lanceur dite “par-dessous”, avec poutres porteuses latérales glissant longitudinalement sur des consoles supports fixées aux piles, qui a été utilisée. La surface dégagée de cet outil facilitait d’ailleurs la mise en place des armatures et le bétonnage. De hauteur constante (3,60 m), le tablier de ces tronçons d’extrémité constitue des travées

courantes longues de 60 m. La partie centrale a fait appel à des équipages mobiles suspendus, technique couramment utilisée au Portugal, qui a permis de réaliser par encorbellements successifs à partir de six piles, dont la plus haute mesure 90 m, les voussoirs coulés en place. Lors de la phase de construction, les piles ont dû être stabilisées par des haubans provisoires qui ont ensuite été détendus après le clavage des fléaux. “Nous nous sommes beaucoup interrogés sur les spécificités associées aux équipages mobiles portugais suspendus qui ont nécessité la maîtrise de phases différentes dans des délais réduits”, se rappelle Michel Guérinet, directeur scientifique d’Eiffage Construction, qui avait en charge notamment les aspects “méthodes” au sein du comité technique. La hauteur des travées centrales du tablier, encastré sur chaque tête de pile, varie selon une forme parabolique allant de 8,5 m sur pile à 3,60 m à la clé. Les exigences de mise en précontrainte, nécessaires pour les tabliers et les délais d’exécution, ont orienté vers un choix de bétons à base de CEM I 42,5 R associé

à des cendres volantes dont les montées en résistance étaient bien adaptées aux cadences de mise en précontrainte.

### Un délai de 22 mois, 1 100 000 heures de travail

Bien que situé au cœur du Portugal, le viaduc de Vila Pouca de Aguiar est l’exemple type d’un ouvrage international. Sa conception à l’origine est issue

d’un avant-projet sommaire français. Le cabinet Armando Rito Lda, qui a effectué les études d’exécution, n’a pas souhaité utiliser la précontrainte extérieure pour les câbles de continuité. Comme pour le viaduc du Corgo, il a donc préconisé des câbles intérieurs au béton. Au final, Vila Pouca qui avait démarré par une conception à la française, encorbellement – poussage – câbles extérieurs au béton, s’est

### >>> Plan de localisation.





4

terminé par une conception plus portu-gaise, encorbellement – cintres – câbles intérieurs. Sa construction, selon un "projecto de execução" portugais et sous maîtrise d'œuvre Norinter, a fait appel à un groupement d'entreprises des deux pays : Construtora do Tamega et Spie Batignolles Europe (pilote 65 %). "Nous sommes présents depuis les années 80 dans ce pays et nous avons l'habitude de travailler avec des entreprises portugaises, dont Tamega", explique Alain Lacroix, alors responsable pour Spie Batignolles Europe des chantiers au Portugal. Sur ce tronçon de l'A 24, elle a réalisé 15 ouvrages doubles en utilisant diverses techniques. Des ponts poussés avec des travées de 30 m ou 60 m, des ponts à poutres, d'autres réalisés à l'aide de cintre auto-lanceur avec des portées de 40 à 45 m. Mais Vila Pouca est de loin le plus important, tant du point de vue de ses dimensions, que des hauteurs de piles ou des longueurs des travées. "Nous avons repris les techniques courantes localement, réutilisé du matériel qui existait au Portugal, des personnels formés à ce matériel. Pour la partie centrale en encorbellement, les longueurs des voussoirs de 5 m, alors qu'en France

ils font entre 3 et 3,50 m, ont permis de réaliser chaque semaine 40 à 50 % de longueur de tablier en plus. Tout cela a contribué au respect du délai final (22 mois) ; c'est un record et cela a nécessité la mise en œuvre de moyens importants : 9 jeux de coffrage sur piles, 6 paires d'équipages mobiles pour les voussoirs courants, 2 coffrages pour les voussoirs sur piles, 2 coffrages de clavage, 2 poutres de lancement". Outre l'équipe d'encadrement permanent de 4 ingénieurs, 4 conducteurs travaux qui dirigeaient 8 chefs de chantier, 3 projeteurs à temps complet, plus de 400 personnes ont travaillé sur le site. Au total, le viaduc de Vila Pouca a représenté quelque 1 100 000 heures de travail !

### Comité technique, études sur les bétons et les vents

À l'image de ce qui s'était fait lors de la construction du viaduc de Millau, un comité technique a été créé pour Vila Pouca. Il était constitué d'experts indépendants de l'administration portugaise, d'ingénieurs de la maîtrise d'œuvre Norinter et Jean Muller International (Egis JMI), des bureaux

»»» 4 La longueur des voussoirs –5 m– a permis d'accélérer de près de moitié la cadence d'avancement du tablier et d'atteindre un délai record de construction de 22 mois.

d'études techniques et des directeurs scientifiques du groupe Eiffage spécialisés dans la géotechnique, le béton et les ouvrages d'art. Michel Guérinet, Claude Servant (Eiffage) et Jean-Marc Tanis (Egis) faisaient partie des experts français. Ce comité répondait aux questions posées par le maître d'ouvrage et apportait avis et recommandations. À sa demande, le Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Lisbonne et, en parallèle, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) à Paris, ont mené une étude de fluage des bétons sur la base des caractéristiques des matériaux mis en œuvre sur le chantier. "C'était un ouvrage compliqué à cause de sa géométrie, avec un profil en long en forte pente aux extrémités, de l'ordre de 5 % et un dévers qui s'inverse, précise Claude Servant, l'un des experts techniques. Il s'agissait de caler les paramètres de calcul pour prévoir le plus précisément possible la déformée du tablier en cours de construction par rapport à celle qui avait été prédéterminée". Une autre étude réalisée par le LNEC a montré que le vent n'avait

que très peu d'influence sur le comportement de l'ouvrage pendant sa construction. ■

TEXTE : MICHEL BARBERON

PHOTOS : SPIE BATIGNOLLES EUROPE



**Maître d'ouvrage :**  
Norscut société concessionnaire  
(Eiffage et ses filiales 50 %)

**Maître d'œuvre :**  
Norinter (filiale 100 % Eiffage)

**Constructeur :**  
groupement d'entreprises  
Spie Batignolles Europe – Tamega

**Études de conception  
et d'exécution :**  
bureaux d'études Armando Rito Lda

**Contrôle des études  
d'exécution :**  
Jean Muller International (Egis JMI)



# → Construis-moi un pont

À l'initiative de l'Association Française de Génie Civil, soutenue par Cimbéton, plusieurs fédérations et organismes de la construction, en partenariat avec l'Éducation Nationale (académie de Nancy-Metz), le forum pédagogique "Construis-moi un pont", qui s'est déroulé le 28 avril 2009 à Hagondange, proposait une découverte nouvelle et originale du secteur de la construction pour les élèves de 5<sup>ème</sup>.

Les 150 collégiens d'Amnéville, Hagondange, Guénange, Rombas, Talange et Vitry-sur-Orne ont relevé le défi : construire une arche de pont franchissant une brèche d'un mètre. Pour cela, chaque équipe de huit élèves a reçu une mallette pédagogique préparée par les élèves du lycée LEREA de Verny, contenant les éléments pré-découpés en polystyrène (blocs, cintre, joints...). Chaque groupe était encadré par des étudiants de l'ESITC de Metz, du BTS au Lycée Eiffel de Talange, du département génie civil de l'IUT de

Nancy et conseillé par des professionnels de la construction, ravis de transmettre leur passion à ces bâtisseurs en herbe.

Les jeunes tuteurs ont rempli un rôle multiple : encadrer et faire travailler en équipe les collégiens et transmettre, grâce à un support ludique, quelques principes fondamentaux physiques et constructifs (notions d'équilibre et de stabilité en particulier). Mission accomplie et émulation garantie entre les différents groupes

au moment de charger la structure pour tester sa résistance !

La réforme des programmes de l'enseignement de la technologie dans les collèges à la rentrée 2009 (avec le thème "habitat et ouvrage" pour les 5<sup>ème</sup>), fait de ce forum une initiative plus que pertinente et montre en outre l'efficacité des partenariats Éducation nationale/professionnels de la construction. Il sera donc amené à être reconduit dans d'autres académies dès l'année prochaine. ■

TEXTE : CLOTHILDE LAUTE

PHOTOS : AFGC - DÉLÉGATION GRAND EST







1

>>> Pont de Masan Bay (Corée du Sud).



2



3

>>> Pont de Muar (Malaisie).



4

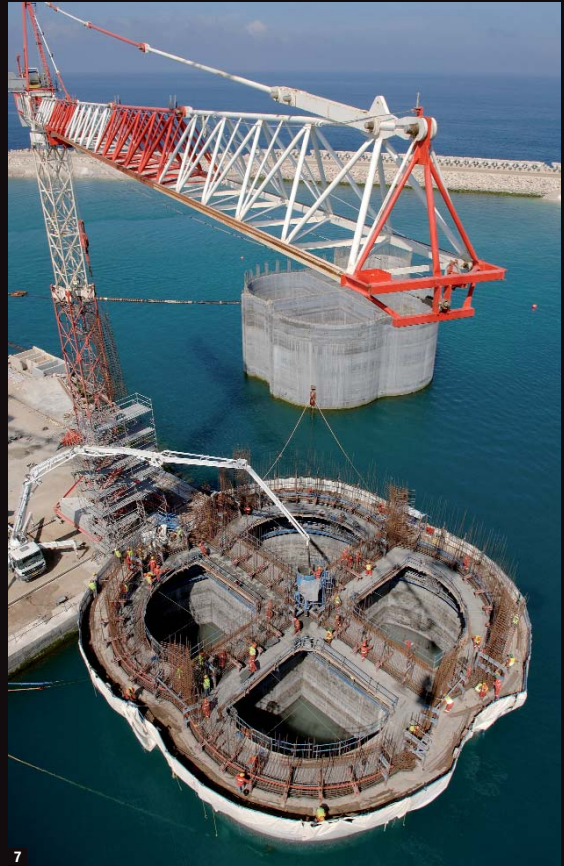
>>> Barrage sur le Couesnon, Mont Saint Michel (France).

>>> Pont sur le Rio Timbabe (Guinée Equatoriale).



5

Nouveau port de Tanger (Maroc). <<<<



7

>>> Viaduc de Compiègne (France).



6

>>> Pont de Sao Vicente (Guinée Bissau).



8

>>> Tunnel des Grands-Goulets (France).



9

PHOTOS : 1, 2 : GRAPHIX IMAGES - LAURENT ZYLBERMAN 3, 5 : GUY FRÉMONT

4 : DANIEL FONDIMARE 6 : JACQUES MOSSOT 7 : YVES CHANOT

8 : FARID SAIFI 9 : CONSEIL GÉNÉRAL DE LA DRÔME



# → Passerelles vers l'avenir

La réalisation de passerelles s'est accrue au cours des dernières années, mais ce n'est pas la seule raison de s'intéresser à ce type d'ouvrage car la créativité, esthétique et technique, est aussi au rendez-vous.

La formule de Laurent Barbier, architecte, plante le décor : *"nous sommes dans une phase de redécouverte des passerelles : ce sont des objets propres à notre époque qui revient vers le piéton, la petite échelle, après s'être perdue, parfois, dans les grands projets"*. Les passerelles ne sont certes pas une nouveauté, mais elles connaissent un regain d'intérêt et de créativité dont l'origine est aussi... politique. C'est l'opinion de Laurent Barbier, mais aussi de Thomas Lavigne : *"Du fait de la décentralisation, les maîtres d'ouvrage sont de plus en plus souvent des collectivités locales et non plus les services de l'État, et cette évolution profite à la créativité"*. L' élu local devient un acteur de l'urbain,

d'où une émulation, voire une compétition pour créer des symboles dans la ville : la passerelle bénéficie incontestablement d'un effet de mode qui accompagne la création de parcs urbains, de voies cyclables "en site propre", etc.

## Liberté du geste architectural

Quelle est la réponse de l'architecte à ces nouvelles attentes ? *"La passerelle est intéressante en ce qu'elle est une structure légère, qui s'affranchit des contraintes d'ingénierie"*, répond Laurent Barbier. Pour lui, cette réflexion est un bon moment à passer, l'occasion d'ajouter un supplément d'âme dans la vie de chacun. Un supplément d'âme

qui se traduit par quelques bancs en plus, un simple effet de courbure. À l'évidence, les passerelles sont des objets beaucoup plus souples que les ponts routiers. Pour Hervé Vadon, chez Strates, *"les passerelles sont des ouvrages singuliers qui permettent de s'affranchir des idées communes pour mieux exprimer, par l'architecture de la structure, le contexte général dans lequel elles s'inscrivent. Cette volonté d'optimiser les éléments structurels permet de sortir du contexte habituel, celui d'une hiérarchisation de différentes solutions constructives"*. Toutes les formes sont dessinées en fonction des efforts à reprendre ; tout est apparent, rien n'est caché ou masqué. La pureté du geste réside dans

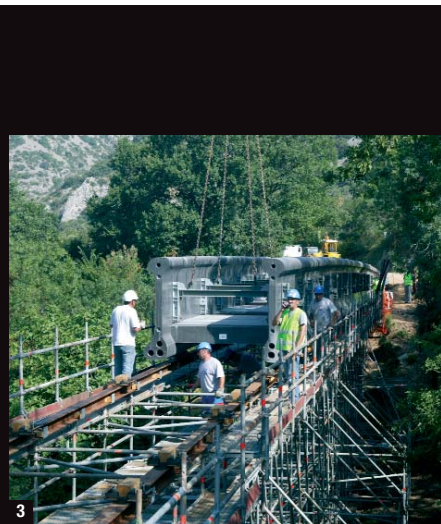
un travail formel et structurel poussé jusque dans les détails. La matière est employée à bon escient et sans excès. Pour Thomas Lavigne, la passerelle est spécifique parce que c'est une structure légère, d'où une grande liberté d'expression. Surtout, c'est un programme agréable à coup sûr, parce qu'il se place à l'échelle de l'homme. On y passe lentement. *"C'est pourquoi les détails sont très importants"*. On ne s'étonnera donc pas de ce que les passerelles soient plus soignées que les ponts routiers "classiques" : le traitement du sol, des garde-corps, l'accroche aux berges, font souvent l'objet de soins attentifs. Et les maîtres d'ouvrage se montrent sensibles à la mise en valeur du site. *"C'est la source d'une liberté plus grande pour les concepteurs"*, estime Laurent Barbier. *La passerelle est une authentique pièce de mobilier urbain, qui permet de revenir à la trace historique"*. Rudy Ricciotti, à l'inverse, semble s'opposer à la spécificité architecturale des passerelles : *"En aucune manière l'architecture ne saurait être une spécificité dans le domaine des ouvrages d'art. C'est seulement un accompagnement "tauromachique" au service de l'ingénierie pure qu'est ce type d'ouvrage"*.



1



2



3

➤➤➤ 1 2 et 3 Passerelle des Anges de l'architecte Rudy Ricciotti.



## Un travail d'équipe

Objet libre ou pas, la passerelle reste un travail d'équipe. "Notre conception s'appuie sur une vision pluridisciplinaire du travail, qui intègre tous les acteurs concernés du génie civil", insiste Hervé Vadon. Ingénieurs et architectes entament un dialogue autour d'un projet, pour rechercher la performance technique mais également la pérennité des ouvrages. Une fois réglés les critères de conception, la structure de la passerelle, souvent "identifiante", suscite une certaine émotion et prend rapidement sa place dans le site. Rudy Ricciotti va plus loin : "La mission de l'architecte est de faire faire des économies, de compléter l'assemblage du goût par un cépage mineur qui apporte la garde ; c'est déjà beaucoup, car le sachant et le héros seront toujours l'ingénieur et l'entrepreneur". Chez Strates, au contraire, la passerelle est un objet "social" et donc complexe : destinée à des usagers qui sont aussi bien des piétons que des cyclistes, elles posent un problème de fonctionnement du fait de leur étroitesse. "La sécurité du déplacement des personnes valides ou à mobilité réduite est une priorité ; elle s'accompagne d'une réflexion qui favorise le confort des utilisateurs". Le principal enjeu de ces cheminements

mixtes est donc d'être suffisamment clair pour être identifié et compris par tous, immédiatement, dès le premier regard.

## L'apport du béton

Dans tous les cas, et si les autres matériaux sont aussi présents dans le domaine des passerelles, le béton y a bien sa place. Les bétons innovants devraient même permettre d'apporter des éléments structurants singuliers dans leur forme, "et dans leur portée", selon Thomas Lavigne. Surtout, "et parce qu'il est d'une expression plus fluide que le métal, le béton ouvre la voie à des formes nouvelles, des assemblages anatomiques", insiste Laurent Barbier. Et d'ajouter : "La passerelle n'est pas qu'un treillis. C'est un nouveau lieu urbain où le béton a sa légitimité. Nous sommes au début du phénomène, nous n'avons pas encore tout vu". ■

TEXTE : PHILIPPE FRANÇOIS

## réalisations

### Une passerelle en BFUP en Suisse

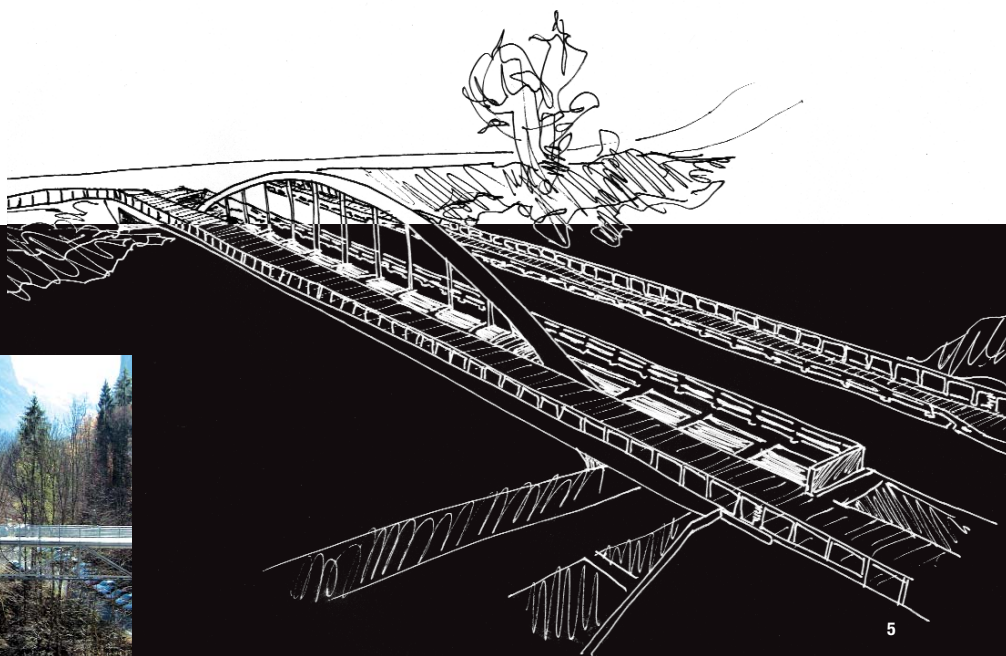
La passerelle piétonne de Lauterbrunnen, dans l'Oberland bernois, a déjà quelques années d'existence. Mais son caractère innovant reste unique. Réalisée par Créabéton Matériaux SA, elle a fait appel à un béton à ultra-hautes performances qui permet de résister à de très fortes charges : résistance à la compression de l'ordre de 150 MPa. À la clé, une réduction par trois de la quantité de matériaux utilisés par rapport aux bétons classiques, et une passerelle d'une extrême finesse. ■

### Un record d'élanement sur l'Hérault

Signée Rudy Ricciotti, la passerelle des Anges, sur les gorges de l'Hérault, bat tous les records d'élanement : 1,8 m de hauteur pour 67,5 m de portée, soit 1/38. Une performance étroitement liée à l'utilisation d'un béton fibré à ultra hautes performances, employé pour la première fois sur un ouvrage de cette envergure. L'architecte ne cache pas son enthousiasme pour le matériau : "Dans la continuité de l'évolution des techniques de construction, la passerelle très élancée et de section particulièrement fine, illustre les exceptionnelles performances mécaniques, économiques et environnementales du béton". ■



4



5

➤➤➤ 4 Passerelle piétonne de Lauterbrunnen (Suisse) réalisée par Créabéton Matériaux. 5 Pont d'Audincourt du cabinet Lavigne-Chéron Architectes.

hommage

# → Pierre Xercavins (1926 - 2008)



Ingénieur de grand renom, Pierre Xercavins est décédé le 29 décembre 2008. Ancien élève de l'École Polytechnique (X46), il entre, en octobre 1950, à la Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte (STUP) où il fut l'un des collaborateurs d'Eugène Freyssinet. En 1976, la STUP prend le nom de Freyssinet International. La partie études de Freyssinet International s'appelle alors "Europe Études" et Pierre Xercavins y assure la fonction de directeur technique.

En 1978, il fonde le bureau d'études PX Consultants et en assure la gérance jusqu'en 2000. Par la suite, il assume la fonction de président du conseil de surveillance du bureau d'études PX-DAM Consultants. Ingénieur reconnu internationalement, il a conçu, au cours de sa longue carrière, en France et à travers le monde, un grand nombre d'ouvrages de génie civil, tels que des ponts routiers et ferroviaires, des ouvrages maritimes et fluviaux, des structures de bâtiments, des centres sportifs...

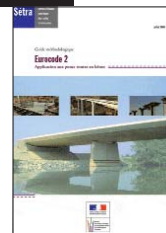
Expert international, Pierre Xercavins a donné des conférences et publié des articles dans le monde entier. Il fait partie de ces ingénieurs qui ont porté au plus haut les couleurs de l'ingénierie française à travers le monde. En 1970, il a reçu la médaille de la Fédération Internationales de Précontrainte (FIP) et en 1991, le prix Albert Caquot. Malgré sa grande notoriété, Pierre Xercavins laisse le souvenir d'un homme toujours prêt à partager son expertise et à mettre ses compétences et ses connaissances au service de l'art de bâtir et de sa profession. Très attaché au souvenir d'Eugène Freyssinet, il fut, jusqu'en mars 2008, Président de l'Association pour la mémoire et le rayonnement de l'œuvre d'Eugène Freyssinet.

>>> Viaduc des Sallanches,  
Saint-Jean-d'Arves, Savoie (73).

PHOTO : JACQUES MOSSOT



livres



## → Eurocode 2 Application aux ponts-routes en béton Guide méthodologique

Ce guide méthodologique concerne la mise en application de l'Eurocode 2 aux ponts en béton. Destiné aux projecteurs, il présente les principes de justification de l'Eurocode 2 et met l'accent sur les différences et les nouveautés par rapport à la pratique française. Riche de nombreux exemples, il ambitionne de servir efficacement la profession des constructeurs de ponts en béton et tout particulièrement les bureaux d'études et les maîtres d'œuvre. Ce guide contribue à faciliter le passage des règlements de calculs actuels aux eurocodes.

Sétra Référence 0837,  
276 pages, 26 euros

publications techniques Cimbéton



## Recueil des publications Bêtons et Génie Civil

Ce recueil regroupe l'ensemble des documentations techniques de Cimbéton consacrées aux ouvrages d'art et au Génie Civil. Elles présentent les spécificités de conception des structures, de formulation et de mise en œuvre des bétons, d'optimisation de la durée d'utilisation des ouvrages. Ces textes se déclinent en segments de marches et en documents généraux. ■

actualités

## → Nouveau site Internet pour l'Association Eugène Freyssinet

Créée en 1992, l'Association pour la Mémoire et le Rayonnement des Travaux d'Eugène Freyssinet a pour objet d'honorer, en France et dans le monde, la mémoire d'Eugène Freyssinet, ingénieur, inventeur de la précontrainte.

Elle se dote aujourd'hui d'un nouveau site  
[www.efreyssinet-association.com](http://www.efreyssinet-association.com)





→ **Durabilité du béton armé**

Véronique Baroghel-Bouny,  
Géraldine Villain, Mickaël Thiery  
et Thierry Chaussadent

La recherche "Durabilité du béton armé et de ses constituants : maîtrise et approche performantielle" vise une meilleure connaissance des propriétés relatives à la durabilité du béton armé et de ses constituants, en particulier celle des processus de transport dans le béton. De nombreux sujets sont abordés : modélisation de la carbonatation du béton, spécificités des BHP, durabilité du béton soumis au gel. Cette étude a surtout permis la mise au point d'une approche performantielle et prédictive de la durabilité des structures en béton armé sur la base d'indicateurs de durabilité, combinant expériences et modélisation.

Éditions LCPC,  
284 pages, 45 euros

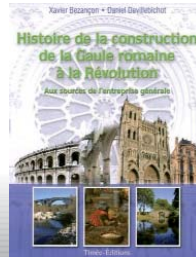


→ **Le pont Gustave Flaubert**

Photographies de Jérôme Lallier

Le pont Gustave Flaubert, situé à Rouen, est le plus haut pont levant du monde et le plus grand d'Europe. Réalisé par le groupement Quille - Eiffage TP - Eiffel - Victor Buyck SC, cet ouvrage, dessiné par l'architecte Aymeric Zublena, a été l'occasion de nombreux défis techniques et humains. Entièrement consacré à sa construction, depuis les premières esquisses jusqu'aux essais de mise en service, ce livre rassemble les témoignages de tous les corps de métiers et les photographies en noir et blanc de Jérôme Lallier illustrent la transformation du quartier et, avec complicité, la vie sur le chantier.

Éditions Textuel  
96 pages, 35 euros

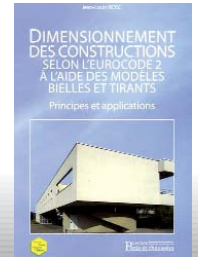


→ **Histoire de la construction de la Gaule romaine à la Révolution**  
Aux sources de l'entreprise générale

Xavier Bezançon  
et Daniel Devillebichot

Des aqueducs antiques aux moulins à eau médiévaux, des maisons à colombages aux hôtels particuliers du XVIII<sup>e</sup> siècle, des mottes castrales aux châteaux de la Renaissance, cet ouvrage souhaite mettre en exergue le savoir-faire français de la construction, attesté non seulement par un immense patrimoine d'édifices privés, religieux et d'équipements publics, mais encore par l'invention de techniques de construction incroyables.

Timé-Éditions  
390 pages, 56 euros



→ **Dimensionnement des constructions selon l'Eurocode 2 à l'aide des modèles bielles et tirants**

Jean-Louis Bosc

La modélisation en bielles et tirants des structures en béton armé introduite par l'Eurocode 2, partie 1.1, demeure une méthode de calcul peu pratiquée en France. De portée générale, elle permet de justifier le dimensionnement de nombreuses constructions en béton de façon moins empirique. Cet ouvrage cherche à faciliter une appropriation plus rapide de cette méthode et à en montrer l'intérêt à travers le calcul de quelques structures courantes.

Éditions Presses de l'École nationale des ponts et chaussées  
184 pages, 48 euros

agenda

→ **Marseille**  
**Colloque international BFUP 2009**  
**17 et 18 novembre 2009**  
**"Concevoir et construire en BFUP : État de l'art et perspectives"**

Ce colloque a pour objectif de faire le point sur le savoir-faire et l'expérience dans le domaine des Bétons Fibrés à Ultra hautes Performances et d'analyser les perspectives de développement.  
[www.afgc.asso.fr/BFUP2009](http://www.afgc.asso.fr/BFUP2009)

→ **Orléans**  
**Colloque ConserBati2010**  
**1<sup>er</sup> et 2 avril 2010**

Parrainé par l'AUGC, ce colloque scientifique doit rassembler les acteurs concernés par la conservation et la restauration du patrimoine bâti et traitera de l'ensemble des problématiques de durabilité des matériaux, de connaissance des processus de dégradation, d'établissement de diagnostics et de pérennité de l'ouvrage.  
*Informations : [www.univ-orleans.fr/conserbati2010](http://www.univ-orleans.fr/conserbati2010)*



*Pile du Pont d'Abra de l'architecte Berdj Mikaélian.*