

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**SPECIAL INNOVATION. L'IREX : 30 ANS D'INNOVATION. JOINTS HYDROGONFLANTS POUR PAROIS MOULEES. LE TIRANT DESTRUCTIBLE. REPARATION INNOVANTE POUR LE PONT DE PONTCHARRA-SUR-TURDINE. INNOVATION DANS L'AUSCULTATION DES OUVRAGES. COMMENT INNOVER AVEC DES MICROPIEUX ? LE PROJET NATIONAL FASTCARB. L'INNOVATION AU SERVICE DE LA RESPONSABILITE SOCIETALE DES ENTREPRISES. DES DESSINS DE CAGES D'ARMATURES A LA LOCALISATION GPS DES MACHINES**

N° 957 JANVIER/FÉVRIER 2020



PROJET NATIONAL  
FASTCARB : SÉCHEUR  
À LIT FLUIDISÉ  
© LAFARGEHOLCIM

**LES TRAVAUX  
PUBLICS**  
FÉDÉRATION  
NATIONALE



# Liebherr parmi les chariots télescopiques.



## **Pas seulement un physique.**

- Entraînement hydrostatique en continu avec la plus grande force de traction et l'hydraulique de travail Liebherr la plus puissante
- Cabine « confort » pour une productivité optimale et une visibilité panoramique parfaite
- Compatible avec les systèmes de changement rapide d'autres constructeurs, pour une transition en douceur
- Disponible avec « Auto Power » et « Auto Hill Assist » pour des cycles de travail optimisés et un confort exceptionnel du conducteur

Liebherr-France SAS  
2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287  
88005 Colmar Cedex  
Tel. : +33 3 89 21 30 30  
E-mail : [info.lfr@liebherr.com](mailto:info.lfr@liebherr.com)  
[www.facebook.com/LiebherrConstruction](http://www.facebook.com/LiebherrConstruction)  
[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

# **LIEBHERR**

Directeur de la publication  
**Bruno Cavagné**

Directeur délégué  
Rédacteur en chef  
**Michel Morgenthaler**  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03  
morgenthalerm@fntp.fr

Comité de rédaction  
**Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Philippe Gotteland (Fntp), Florent Imberty (Razel-Bec), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Solène Sapin (Bouygues Construction), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivian (Artelia), Michel Morgenthaler (Fntp)**

Ont collaboré à ce numéro  
Rédaction  
**Monique Trancart (actualités), Marc Montagnon**

Service Abonnement et Vente  
Com et Com  
Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot  
92350 Le Plessis-Robinson  
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22  
Fax +33 (0)1 40 94 22 32  
revue-travaux@cometcom.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC  
International (9 numéros) : 240 €  
Enseignants (9 numéros) : 75 €  
Étudiants (9 numéros) : 50 €  
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)  
Multi-abonnement : prix dégressifs  
(nous consulter)

Publicité  
Rive Média  
10, rue du progrès - 93100 Montreuil  
Tél. : 01 41 63 10 30  
www.rive-media.fr

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

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://www.revue-travaux.com)

Édition déléguée  
Com'1 évidence  
2, chemin dit du Pressoir  
Le Plessis  
28350 Dampierre-sur-Avre  
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52  
revuetravaux@com1evidence.com

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

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).

Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

Éditions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0218 T 80259  
ISSN 0041-1906

## L'INNOVATION DANS LES TRAVAUX PUBLICS EST BIEN RÉELLE



© DR

La filière construction, plus spécifiquement la filière travaux publics est-elle innovante ? Telle est la question souvent posée. Récemment il n'y a pas un guide ou une recommandation dans lequel le mot innovation ne soit utilisé.

Qu'en est-il ?

Le baromètre de l'innovation dans les entreprises TP, ce sont les "Trophées des TP Innovation et performance" de la Fntp, co-organisés avec Le Moniteur. Régulièrement, tous les ans ou tous les deux ans, les nommés et lauréats de ces trophées sont la vitrine des innovations portées et remontées aussi bien par les entreprises de TP que par les jeunes pousses du secteur dans une nouvelle catégorie.

Le constat : l'innovation est nombreuse et multiple, dans tous les secteurs, dans toutes les tailles d'entreprises. Elle a toujours été l'ADN des constructeurs, elle l'est encore et le restera. En effet, construire un ouvrage nécessite une technicité de progrès afin de garder la performance nécessaire des concepteurs et constructeurs pour répondre aux marchés concurrentiels. L'innovation technique, des matériaux et des matériels de production répond donc à ce besoin "d'être au top". De plus, chaque ouvrage étant unique car propre à son environnement (le site, la géologie, le territoire, ...), la nouveauté récurrente est la source de l'inventivité des acteurs du secteur pour répondre au marché.

La nécessaire prise de conscience environnementale catalyse ces derniers temps une dynamique accrue.

Il en est de même des outils et moyens numériques qui démultiplient la vitesse des échanges d'informations et de données. L'agilité des jeunes pousses émanant d'écosystèmes de types incubateurs, spin off, intraprenariats, SATT, Pôles de Compétitivité, ..., contribue largement à cette dynamique. L'économie numérique et digitale aspire la donnée et utilise "ce nouveau carburant de l'économie" pour créer ou s'approprier de la valeur. Les acteurs constructeurs se doivent donc de conserver le leadership : être dans le mouvement digital, se l'approprier, innover.

L'innovation est donc partout : en développement durable, en technique, matériel, en gestion RH, dans l'accompagnement des méthodes de production (meilleure sécurité, aide aux compagnons, ...).

Mais l'innovation doit se retrouver dans la commande publique pour être mieux perçue de tous.

Le couple moteur de l'innovation au service des usagers associe maîtres d'ouvrages et entreprises (maîtrises d'œuvre et constructeurs). Il se doit de travailler de concert, et mobiliser le collaboratif et/ou collectif pour accompagner les transitions. L'intérêt catalyseur des structures facilitatrices, transversales agissant dans des périmètres ciblés d'acteurs (Région, National, Européen, ...) est réel. Ainsi dans nos métiers, des structures telles que HUB, Clusters, Associations dédiées (IREX, IDRRIM), Fondations d'entreprises (FEREC) sont des rouages clés pour l'appropriation par le plus grand nombre des changements en cours. Innover dans le contexte juridique actuel est possible malgré une lecture des possibilités pas facilitée et des freins trop nombreux. Il faudrait simplifier.

Changer doit catalyser les énergies de recherche et d'innovation. Il convient de se projeter, d'oser, d'expérimenter, de tester, de valider, de refuser et de recommencer, etc. C'est toute une dynamique pour innover encore plus et mieux. Les entrepreneurs TP sont bien présents, ils font partie des acteurs moteurs des innovations de société.

### PHILIPPE GOTTELAND

DIRECTEUR ADJOINT À LA DIRECTION TECHNIQUE ET DE LA RECHERCHE Fntp, CHARGÉ DE MISSION RECHERCHE DÉLÉGUÉ GÉNÉRAL, INSTITUT POUR LA RECHERCHE APPLIQUÉE ET L'EXPÉRIMENTATION EN GÉNIE CIVIL (IREX)





# SPÉCIAL INNOVATION

PROJET NATIONAL VILLE 100 - REUTILISATION DE LA TRANCHEE FERROVIAIRE ORLY © ATELIERS-MONIQUE-LABBE





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



20

**ENTRETIEN AVEC  
ÉLISE BON**

VINCI CONSTRUCTION :  
UNE DÉMARCHÉ OUVERTE S'APPUYANT  
SUR LES SYNERGIES DU GROUPE

**26 TENCATE GEOSYNTHETICS FRANCE :  
PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES  
ET PÉRENNITÉ**



34

**L'IREX**

30 ans d'innovation pour les TP  
et le Génie Civil



40

**JOINTS  
HYDROGONFLANTS  
POUR PAROIS MOULÉES**



48

**LE TIRANT  
DESTRUCTIBLE**

Nouvelle approche pour  
les fouilles en milieu urbain



53

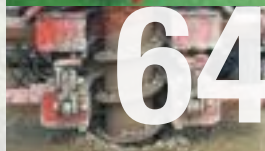
**UNE RÉPARATION  
INNOVANTE**

pour le pont de  
Pontcharra-sur-Turdine



58

**INNOVATION DANS  
L'AUSCULTATION  
DES OUVRAGES**



64

**COMMENT INNOVER  
AVEC DES MICROPIEUX ?**

L'injection de serrage unitaire



70

**LE PROJET NATIONAL  
FASTCARB**

Stockage de CO<sub>2</sub> par  
carbonatation du béton recyclé



74

**L'INNOVATION AU SERVICE  
DE LA RESPONSABILITÉ  
SOCIÉTALE DES ENTRE-  
PRISES**



82

**INNOVATIONS CHEZ SPIE  
BATIGNOLLES FONDATIONS**

Des dessins de cages d'armatures  
à la localisation GPS des machines









## LE JOINT HYDRO- GONFLANT POUR PAROI MOULÉE INNOVATION MAJEURE

**Soletanche Bachy** avait inventé et breveté le joint de paroi moulée CWS récompensé par le prix de l'innovation FNTF 1984. Ce dispositif a depuis été adopté par toute la profession. Il présente des inconvénients, notamment le poids du coffrage CWS (670 kg par mètre en épaisseur 1,50 m) et surtout sa longueur qui nécessite de fastidieux et chronophages assemblages et désassemblages de segments en cas d'exécution sous hauteur réduite. Soletanche Bachy a inventé et breveté aujourd'hui le joint hydrogonflant, associé à une excavation à l'Hydrofraise, qui vient d'être primé au dernier trophée FNTF 2019. Des chantiers du Grand Paris Express, du métro de Paris et à Saint-Tropez ont permis de valider le procédé. Le joint proprement dit n'est pas photogénique. La petite photo montre un CWS en cours de manutention, sujétion importante qui disparaît avec le joint hydrogonflant. (Voir article page 40).









## LE TIRANT DESTRUCTIBLE EN FIBRE DE VERRE RÉSOLUTION DU PROBLÈME DE SA MISE EN TENSION

**FREYSSINET** distribue aujourd'hui un nouveau tirant d'ancrage précontraint dit " destructible ", le tirant Freyssinet CGA, qui répond aux exigences croissantes des travaux en milieu urbain. Constitué d'une armature en fibres de verre dans le sol et de torons en acier de précontrainte à l'extérieur, il autorise le passage ultérieur de tout engin de creusement ou de forage et permet l'usage d'une tête d'ancrage standard pour la mise en tension avec un vérin de précontrainte. Voilà enfin résolu le problème de la mise en tension des armatures en fibre de verre. (Voir article page 48).



© DEXTRA



## INFRASTRUCTURES ET MÉTIERS EN 2040



Le Bim bénéficie à ceux qui collaborent à travers lui mais que deviennent les données ainsi rassemblées ? Ici, vue Bim du data center Interxion à Marseille.

**Se préparer à 2040, c'est faire un pas de côté, imaginer et s'adapter. La prise en compte très en amont de toutes les composantes d'un projet et une communication claire sont devenues incontournables.**

« Face aux contraintes actuelles comme le changement climatique et la transition écologique, il faut innover, imaginer les infrastructures et les métiers en 2040, et s'adapter, » a exposé Xavier Neuschwander, président de la commission innovation de la Fédération nationale des travaux publics, lors de la 3<sup>e</sup> journée innovation de la FNTP, le 27 novembre.

Cheminer vers 2040, est-ce « Traverser la rivière en tâtant les pierres » ? proverbe chinois qui inspire Christophe Liénard, directeur innovation Bouygues. Est-ce « réfléchir aux choix désirables dans le futur et ne pas verser dans la peur qui fige, » version Jean-Jacques Thomas, directeur innovation de SNCF Réseau. « En ce qui concerne l'énergie, nous

insistons trop sur la production, nous pourrions réfléchir davantage à la distribution, l'interconnexion, aux économies d'énergie, a proposé Joël de Rosnay, prospectiviste et écrivain. Les big data numériques coûtent très cher et consomment beaucoup d'énergie, il faudra innover si nous ne voulons pas être à court d'électricité en 2040. »

« Le ferré est très bon du point de vue énergétique, fait remarquer Jean-Jacques Thomas. Au lieu d'électrifier entièrement des lignes, optons pour l'hydrogène là où des caténaires ne peuvent pas être posées, en tunnel et sous ouvrage d'art, et pour l'électricité, ailleurs. »

Le Building information modeling (Bim) est une innovation de long terme dont les avantages et les défauts se révèlent au

fil de son utilisation, selon l'atelier "À qui profite la création de valeur Bim" <sup>(1)</sup>.

« Donnée n'est pas donner, » : à travers cette phrase facile à retenir, Pierre Benning, responsable de l'informatique technique chez Bouygues, a résumé les inquiétudes sur ce que deviennent les données rassemblées lors d'une collaboration en Bim. Que transmettre au maître d'ouvrage ? Les bases de données sont-elles à l'abri de leur exploitation par les Gafam ? <sup>(2)</sup>.

Toutefois, le Bim fluidifie la co-activité entre métiers et la proximité engins/ouvriers. Le maître d'ouvrage obtient une image fidèle de son patrimoine en fin de chantier. Le maître d'œuvre et le constructeur maîtrisent mieux les coûts, les délais, la qualité. La maintenance est

prédictive. Les usagers connaissent leur environnement en temps réel (alertes).

### → Infrastructures résilientes

Autre thème d'atelier innovation : "infrastructures résilientes, maintenance frugale, repenser les fondamentaux de la construction". Les infrastructures résilientes coûtent cher, utilisent plus de matériaux mais nécessitent moins de maintenance. Les résilientes sont plus économes en ressources mais elles sont coupées plus souvent pour les remettre en état.

La ville de Paris opte pour la résilience sur ses voies à cause de leur usage intensif, de l'introduction des vélos ou de l'évacuation des eaux de pluie. La place de la Nation a été repensée et absorbe plus d'eau mais il a fallu bâcher les infrastructures du réseau de métro situées dessous. Le lycée Robert Schuman de Charenton-le-Pont (Val-de-Marne) stocke les eaux de pluie pour les utiliser dans les toilettes les plus fréquentées de l'établissement. L'entretien a été pris en compte dès le départ du projet et un carnet spécifique a été remis au principal qui le garde sous le coude.

### → Savoir parler aux usagers

L'implication des usagers très en amont participe à l'acceptabilité d'un chantier, selon l'atelier sur ce thème, tout comme leur parler clairement. « L'innovation serait déjà que les ingénieurs communiquent avec les sociologues et les urbanistes, » a osé Julien Bilal, responsable du bureau d'études Colas.

Les riverains admettent mieux le bruit quand ils en sont prévenus. L'application Météo des chantiers a été créée pour cela à la demande de la Société du Grand Paris. ■

<sup>(1)</sup> Nous n'avons pas pu assister à tous les ateliers.

<sup>(2)</sup> Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft.

## EPI CONNECTÉS : ABAISSER LE NOMBRE D'ACCIDENTS

Un chantier à risque zéro, est-ce possible en 2040 ? Non, selon l'atelier que la Fédération nationale des travaux publics (FNTP) a organisé lors de sa journée innovation, le 27 novembre. Mais le nombre d'accidents, actuellement rivié à un plancher, pourrait descendre grâce à des équipements de protection individuelle (EPI) connectés.

« Les EPI actifs ou connectés, dits aussi intelligents, suscitent un espoir d'améliorer

les conditions de travail, constate Jacques Marsot, chargé de l'industrie du futur à l'Institut national de recherche et de sécurité. Ils changent la façon de travailler, il faut former et expliquer pour réussir. »

### → Chaussure brûlante

Ces équipements portent des capteurs et des moyens de communication. Les organismes de vérification devront les analyser une fois équipés.

Attention à ne pas créer de nouveaux problèmes comme cette chaussure chauffante qui a provoqué une brûlure. Autre danger : le désengagement de la vigilance des ouvriers.

En cas de panne, il faut savoir comment réagir. Quelle exploitation est faite des données relevées sur le salarié suivi tout le temps ?

La sécurité ne repose pas que sur des outils. « Il faudra toujours faire le quart

d'heure de sécurité chaque matin, rappelle Bernard Sala, responsable de la commission santé-sécurité. Le digital ne remplace pas les êtres humains ni les relations entre eux. »

### → Supprimer les risques

La suppression des accidents passe donc encore par les trois règles : d'abord supprimer les risques, puis protéger collectivement, et en dernier recours, individuellement. ■



# TenCate Geosynthetics : construisons et aménageons ensemble un monde durable

Depuis 55 ans, TenCate Geosynthetics produit, développe et commercialise des géosynthétiques respectueux de l'environnement, qui améliorent les infrastructures et préservent les ressources naturelles.

Innovier, améliorer sans cesse la performance de nos produits tout en proposant la solution adaptée à chacun de vos projets, être à vos côtés pour construire ensemble un monde durable tout en limitant l'impact environnemental des ouvrages, voici nos moteurs au quotidien.

Exigez l'expertise de marques leaders, **contactez-nous au 01 34 23 53 63 ou [service.fr@tencategeo.com](mailto:service.fr@tencategeo.com)**

**TENCATE Bidim®**   **TENCATE Polyfelt®**   **TENCATE Rock®**   **TENCATE Geolon®**   **TENCATE Miragrid®**   **TENCATE Geolon®**   **TENCATE Geotube®**





## LOI MOBILITÉ PUBLIÉE

La loi d'orientation des mobilités dite loi Mobilité a été publiée au Journal officiel du 26 décembre (loi n°2019-1428 du 24 décembre).

La loi sous-tend des investissements à hauteur de 13,4 milliards d'euros pendant le quinquennat (2017-2022).

L'État va accompagner les territoires dans la prise en main des outils mis à leur disposition, a promis le secrétaire d'État aux Transports, Jean-Baptiste Djebbari. Les autorités organisatrices de transports se transforment en autorités organisatrices de la mobilité. Les plans de déplacement urbain deviennent plans de mobilité.

La loi vise aussi à limiter la pollution que ce soit par le développement des véhicules électriques ou des zones à faibles émissions.

## PARTENARIAT CEREMA/ SYNTEC-INGÉNIERIE

Le Cerema et Syntec-Ingénierie ont signé le 21 novembre une convention de partenariat pour accompagner les collectivités et les territoires face aux défis des transitions numérique et écologique.

Ils ont identifié six domaines d'intérêt partagé : infrastructures de transport, mobilité, bâtiment, environnement, eau et géotechnique.

Parmi leurs projets communs : des formations, des outils, des guides méthodologiques, des projets expérimentaux, et de la communication réciproque.

## SITES ET SOLS POLLUÉS : FAIRE AVEC LES INCERTITUDES

« C'est une chance collective de se réunir aujourd'hui, a estimé Marie-Christine Prémartin, directrice exécutive expertise et programmes de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, en ouverture des 4<sup>e</sup> rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués<sup>(1)</sup>. C'est l'occasion de donner des orientations sur la recherche. » Les 3<sup>e</sup> rencontres datent de 2014.

Le public de 420 personnes se répartissait entre chercheurs (30 %), entreprises (30 %), bureaux d'études (20 %), État et collectivités locales (20 %). Douze ateliers ont eu lieu et près de 80 posters présentaient des innovations.

« Le sujet important, ce sont les incertitudes, comment les prendre en compte dans les décisions, » a ajouté M<sup>me</sup> Prémartin. L'atelier 4 y était consacré. Le contenu venait des participants qui voulaient intervenir.

« Les incertitudes, c'est une boîte noire, a assuré Jean-Marie Come, directeur recherche et développement de Ginger-Burgeap. Le fait que nous en parlions est un signe de maturité des professionnels. »

« L'incertitude est inhérente aux sites et sols pollués, multiplier les mesures ne servirait à rien, » affirme Dominique Guyonnet, directeur de programme scientifique du Bureau de recherches géologiques et minières à qui l'Ademe a commandé une synthèse<sup>(2)</sup>.

### → Améliorer les échantillonnages

L'incertitude s'imisce dans l'état des milieux, l'histoire du site, les échantillons relevés, l'interprétation des données, les échanges avec l'administration, les mesures de gestion (nouvelles données collectées), la surveillance, la base de données, etc.

« Il faut s'y intéresser car elle pèse sur les entreprises, précise M. Guyonnet. Il n'existe pas de méthode passe-partout pour la gérer. Nous utilisons une méthode par type d'informations. S'agit-il d'une variabilité dans le temps, est-ce de l'imprécision, les données sont-elles éparpillées ? Il convient de se pencher sur des points particuliers, pas sur tout. Pour que des décisions puissent être prises sur des incertitudes, il faut donner des informations que les interlocuteurs comprennent. »

« Il faut travailler à l'amélioration des échantillonnages, propose M. Come. Il peut y avoir une grande variabilité dans le sol à très peu de distance. » Le monde de la recherche sur les sites et

sols pollués a été remis en cause lors des rencontres par Philippe Bihouix, auteur de livres sur les métaux et la low tech (basse technologie), un brin provocateur : « Puisqu'on sait dépolluer alors on peut polluer, c'est le règne du ni contrainte, ni pénurie. Il vaut mieux préserver que réparer. Les technologies numériques, émettrices de carbone, consommatrices d'énergie et de métaux rares, doivent être orientées vers les bons sujets et non les offres commerciales. La vraie question, c'est être sobre comme par exemple, réduire le poids des voitures et leur vitesse. »

### → Apprendre des échecs

Le secteur est prêt à penser différemment : « Faisons des retours d'expé-

rience, nous apprenons des échecs, utilisons des outils innovants même s'ils sont imparfaits, » a insisté Nathalie Guiserix, présidente scientifique des 4<sup>e</sup> rencontres et référente sites et sols pollués chez Renault qui a connu des déceptions en dépollution.

**Méthodologie de gestion :**  
[www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/20180123\\_2\\_MardiDGPR\\_INERIS.pdf](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/20180123_2_MardiDGPR_INERIS.pdf). ■

<sup>(1)</sup> Organisées par l'Ademe, 26-27 novembre.

<sup>(2)</sup> Synthèse incertitudes (novembre 2019) : [www.ademe.fr/prise-compte-notions-dincertitude-gestion-sites-sols-pollues](http://www.ademe.fr/prise-compte-notions-dincertitude-gestion-sites-sols-pollues).



Diagnostic de sol avec extraction d'échantillons à la tarière pour déterminer la concentration de substances et si le site est pollué ou non (2012).



## UN RAPPORT DRESSE UNE STRATÉGIE DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION DU LITTORAL



Ault (Somme), comme d'autres communes en France, choisit la recomposition spatiale plutôt que la lutte contre l'érosion de sa falaise.

Ault (Somme) renonce à lutter contre l'érosion de sa falaise. Le renforcement du secteur central avait été chiffré à 13,5 millions d'euros en 1999.

La commune compose avec la nature à travers l'adaptation et la revalorisation du centre-ville et du front de mer. Située à l'extrémité sud de la baie de

Somme, elle offre un panorama sur toute la baie. La falaise est minée en pied, par la mer au rythme de 70 cm/an en moyenne, et en haut, par les infiltrations d'eaux pluviales. Au 20<sup>e</sup> siècle, deux rues et des habitations ont disparu.

Cette menace nuit à l'économie locale : moins d'habitants, moins de touristes, un tissu commercial et un habitat, dégradés.

Une digue, construite en 1983, a gravement obéré les finances locales.

Dans le cadre de l'opération "Ault, ville belvédère", les emplacements fragilisés seront reportés à l'arrière, ce qui est facilité par le rachat d'une propriété de 7 ha, en retrait, par le Syndicat mixte baie de Somme-Grand littoral Picard (SBDSGLP) auquel la commune est rattachée. Ceci s'accompagne d'une nouvelle stratégie touristique.

### → Maintien temporaire de bâtiments

La recomposition est toutefois complexe. Il faut repenser les voies de circulation et les réseaux. Le dévoiement pour mise en sécurité s'élève à 7,6 millions d'euros (83% de subventions). Le nécessaire phasage des travaux doit tenir compte de l'aléa érosion, dont la survenue ne peut être qu'estimée. Certains bâtiments en zone rouge sont maintenus temporairement car ils participent à l'équilibre financier et évitent de créer l'effet friche urbaine.

La situation d'Ault est exposée dans le rapport de Stéphane Buchou, député de Vendée, "Quel littoral pour demain, vers un nouvel aménagement des territoires côtiers adapté au changement climatique", remis au gouvernement, le 28 novembre.

Les collectivités ont conscience qu'il faut s'adapter au changement climatique mais manquent d'outils juridique, technique et financier pour le faire.

### → Projets Litto 21

Parmi les propositions et recommandations du document de 109 pages, citons la généralisation des observatoires de la dynamique littorale (Odyli 21) et l'émergence en dix ans d'une douzaine de projets de recomposition spatiale, dits Litto 21. Il s'agit de passer de la réflexion à l'action, de préparer un texte législatif, sorte de boîte à outils spécifiques.

Le Cerema apporte un appui technique aux collectivités et l'Association nationale des élus du littoral, une aide administrative, en plus de celle des services centraux de l'État. ■

## 30 MILLIONS ACCORDÉS À LA "LIGNE DES ALPES"

La ligne de train dite des Alpes, entre Grenoble (Isère) et Gap (Hautes-Alpes), va bénéficier de 30 millions d'euros :

28,3 pour des travaux entre Livron-sur-Drôme (Drôme) et Veynes (Hautes-Alpes), et entre Vif (Isère) et Aspres (Hautes-Alpes), en 2020-2021, et 3 pour de la maintenance renforcée (SNCF Réseau).

L'étoile ferroviaire de Veynes, au cœur du réseau entre les villes de Valence, Grenoble, Gap, Briançon et Sisteron, a souffert de sous-investissement.

Pour y remédier, l'État a mis en place des comités de pilotage avec la SNCF, les régions, les conseils départementaux et les collectivités locales. Celui du 4 décembre a réussi à faire émerger une solution financière et la programmation des travaux.

## 108 MILLIONS CONTRE LES INONDATIONS

De 2019 à 2023, la Métropole du Grand Paris va consacrer 108 millions d'euros en travaux de prévention des inondations par la Seine et la Marne. Sur ce montant, 54 millions sont prêts par la Caisse des dépôts, en Aqua prêt sur soixante ans. La gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations (Gemapi) sont de la compétence de la métropole depuis 1<sup>er</sup> janvier 2018.

Détails des projets sur [www.metropolegrandparis.fr](http://www.metropolegrandparis.fr), actualité du 15 novembre.



## ARTELIA RACHÈTE MOE

Artelia a acquis la totalité des actions de MOE, société d'ingénierie danoise, le 5 décembre. Le spécialiste en transports, ingénierie maritime, hydroélectricité et énergies renouvelables élargit ainsi son éventail de spécialités aux infrastructures, énergie et industrie, et bâtiment. L'entrée de l'entreprise danoise va faciliter l'accès d'Artelia aux marchés d'Europe du Nord à travers sa présence en Norvège, ainsi que d'Asie du Sud-Est par son implantation aux Philippines. Le nouvel Artelia espère réaliser 50 % de son chiffre d'affaires à l'export vers 2025. Le groupe comprend 5 900 collaborateurs pour un chiffre d'affaires de 632 millions d'euros (2018).

→ Co-maître d'œuvre

### Zac de Bercy

En France, Artelia fait partie, depuis octobre, du groupement de maîtrise d'œuvre urbaine du projet de la Zac Bercy-Charenton, dans le sud-est de Paris. Il est aux côtés de François Leclercq (mandataire) et de Coloco. L'équipe est chargée de finaliser et de fiabiliser le plan guide du projet de 80 hectares dont 18 aménageables, autour de l'échangeur routier de Bercy, et de définir les espaces publics, sous maîtrise d'ouvrage Semapa.

## CARRIÈRES ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : 2019 PLUS MODESTE QUE PRÉVU



© UNICEM NORMANDIE

28 % des granulats consommés sont recyclés ou artificiels.

2019 sera moins bonne que prévu pour les producteurs de matériaux de construction et l'industrie des carrières, selon les chiffres à fin octobre. Le 1<sup>er</sup> trimestre, dynamique, avait nourri l'espoir d'une année solide basée sur de bons indicateurs en travaux publics et bâtiment. « Le 1<sup>er</sup> trimestre a

probablement compensé le creux de fin 2018, estime début décembre, Carole Deneuve, responsable du service économie de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem). Le repli s'est manifesté dès le printemps puis la modération s'est poursuivie et accentuée. Nous pensons être

en dessous des chiffres de 2018 en fin d'année. »

L'Unicem s'attend à une croissance de 1 % de la production de granulats sur 2019 et de 0,5 % de celle du béton prêt à l'emploi (BPE), les deux secteurs représentant 86 % du chiffre d'affaires total du secteur (8,7 milliards, 2017).

Novembre 2019 ne devait pas être très bon à cause des intempéries et alors que des grèves s'annonçaient.

En ce qui concerne les granulats, la production se situe à -10 % du niveau moyen sur le long terme (30 ans), soit 345 millions de tonnes. La consommation de granulats baisse avec les économies de ressources naturelles.

→ 2020 : stable et incertaine

« 2020 est incertaine notamment à cause du climat social, le volume devrait être stable, » entrevoit Nicolas Vuillier, président de l'Unicem. Elle pourrait ressembler à 2019 à +1 % en granulats et 40 millions de mètres cubes en BPE (0 %).

La consommation de granulats s'établit à 435 millions de tonnes dont 28 % sont couverts par des granulats recyclés et des artificiels (déchets industriels), soit 121 tonnes. ■

(1) Cf. Travaux n°949, mars 2019, page 11.

## QUATRE CARRIÈRES RÉCOMPENSÉES AU NIVEAU EUROPÉEN



© VICAT

Amphithéâtre installé dans la carrière de l'Armailler, prix Communication.

La carrière Vicat de l'Armailler (Drôme) a remporté le trophée "communication" de l'Union européenne des producteurs de granulats, fin novembre. Elle avait été sélectionnée avec six autres sites pour représenter la France à ce concours développement durable. Sa transformation en amphithéâtre (200 places), la plantation de 150 arbres de 17 essences, le développement de la faune et de la flore, contribuent à une meilleure compréhension de l'activité par le public.

Trois autres carrières françaises ont obtenu une mention spéciale (coup de cœur) au niveau européen.

La carrière de Grand-Champs (Morbihan), exploitée par CMGO, où un cours d'eau, asséché, a été restauré pour accueillir des poissons. Une pente a été recrée (1).

Le jury européen a aussi distingué le site de Buzet-sur-Tarn (Haute-Garonne), propriété de Cemex, pour sa contribution économique basée notamment sur une multiplication des échanges en interne et vers l'extérieur (sous-traitants, élus, associations, riverains).

→ Condition physique

Enfin, la carrière d'Auriol (Bouches-du-Rhône), exploitée par Cemex Granulats, a été remarquée pour ses efforts en matière de santé et sécurité. L'attention des salariés a été attirée sur leur condition physique, tant dans le ressenti que dans l'exercice (échauffements). L'entreprise recueille aussi l'avis des clients et des visiteurs. ■

(1) Cf. Travaux n°953, septembre 2019, page 8.



L'AQUATEXTILE  
OLÉO-  
DÉPOLLUANT

**DÉPOLLUE  
LES EAUX DE  
RUISSELLEMENT  
À LA SOURCE**



- 1 Infiltrer rapidement l'eau sur la totalité de sa surface
- 2 Nettoie l'eau pluviale en fixant les hydrocarbures sur sa structure filamenteuse
- 3 Biodégrade systématiquement les hydrocarbures fixés
- 4 Barrière à la propagation d'huile si déversement accidentel

\* Tencate GeoClean®. Une eau propre, naturellement !

Plus d'information :  
[contact@tencateaquavia.com](mailto:contact@tencateaquavia.com)  
[www.tencategeoclean.com](http://www.tencategeoclean.com)



## PRIX ÉQUERRE D'ARGENT

*L'Équerre d'argent, prix d'architecture des revues*

Le Moniteur et AMC, a été décernée à la résidence Julia-Bartet à Paris 14<sup>e</sup> qui abrite un centre de formation pour apprentis, des logements étudiants et une antenne des Restos du cœur (cf. Le Monde, 28 novembre). Le bâtiment est construit sur une parcelle étroite le long d'une voie ferrée. Charles-Henri Tachon a su en tirer parti pour la RIVP.

Cette réalisation a été distinguée parmi les 25 candidates à un prix sur 220 dossiers reçus.

Le prix ouvrage d'art a été remis à la passerelle métallique de DVVD Architectes pour l'agglomération du Pays de Saint-Omer (2017, Pas-de-Calais)\*.

À été remarquée la géométrie de la poutre isostatique.

Le nouveau court de tennis Simonne-Mathieu (Roland Garros) implanté dans le jardin des serres d'Auteuil (Paris 16<sup>e</sup>) a reçu le prix spécial du jury (Marc Mimram, Fédération française de tennis).

Le prix de la 1<sup>re</sup> œuvre a distingué l'atelier de verrerie de Brioude (Haute-Loire) dans d'anciens hangars ferroviaires (Antoine Dufour architectes, Syndicat de développement économique Allier Allagnon).

\* Cf. Travaux n°942, juin 2018, page 11.



© DAVID ARCHITECTES/INGÉNIEURS-DANIEL ROUSSELOT

Prix ouvrage d'art à la passerelle de Saint-Omer (Pas-de-Calais).

## RECONNAITRE LA VALEUR SOCIO-ÉCONOMIQUE DES PROJETS



© LAURENCE BLANCHÉVILLE DE VICHY

Prix cohésion sociale et territoriale décerné au réaménagement des berges du lac d'Allier à Vichy.

La retenue d'eau créée au Tampon (La Réunion) a remporté le grand prix du jury des victoires de l'investissement local, remises par la Fédération nationale des travaux publics, au salon des Maires, le 22 novembre<sup>(1)</sup>. Huit prix ont été décernés à des projets créateurs de valeur socio-économique.

La commune réunionnaise de 90 000 habitants s'est dotée en 2018-2019 d'une réserve de 350 000 m<sup>3</sup> destinée aux agriculteurs. Avant ces travaux, en période de sécheresse, ils puisaient de l'eau potable, parfois transportée par camions.

La dépense de 16,2 millions d'euros, investissement et entretien, génère 28,53 millions d'euros en productivité

agricole, création d'emplois, et pollutions évitées, soit un apport socio-économique de 12,3 millions d'euros.

Deux collectivités se partagent le prix Transition écologique. La restauration de 2018 à 2020 du seuil Païcherou à Carcassonne (Aude) avec introduction d'une petite centrale hydroélectrique revient à 6,4 millions d'euros, exploitation incluse. Elle rapporte 10,6 millions en électricité, continuité écologique et émissions de CO<sub>2</sub> évitées. Gain socio-économique : 4,2 millions d'euros<sup>(2)</sup>.

La métropole de Tours remporte le second prix de la catégorie pour une galerie technique visitable sous la Loire où elle loge des réseaux d'eau potable, d'eaux usées et de fibre optique, en rem-

placement d'une ancienne canalisation (2016-2018). Coût : 10,62 millions, gain de 23,23 millions ; bilan : +12,6 millions.

### → Prix des petites villes

Un projet, avec une valeur socio-économique négative, a toutefois été retenu pour le prix des petites villes. Plouhinec (5 300 hab., Finistère) a étendu son réseau d'assainissement de 2007 à 2018, soit une dépense de 7,8 millions d'euros, exploitation incluse. Le gain se monte à 6,77 millions, en particulier en diminution des installations individuelles et en réduction de la pollution. Bilan : -1 million.

Le prix spécial a été attribué à Thionville (Moselle) pour une passerelle piétons et vélos (2019-2020).

### → Trajet de 18 mn au lieu de 40

Prix compétitivité économique : le Grand Besançon (Doubs) pour la mise en site propre 2016-2018 de la ligne de bus n°3 entre la gare et la zone d'activités Temis, d'où un trajet en 18 minutes au lieu de 40.

Prix cohésion sociale et territoriale : réaménagement 2018-2019 des berges du lac d'Allier à Vichy (Allier).

Prix innovation : réemploi de matériaux routiers sur place lors de la réfection à l'été 2018 de 1,8 km en moyenne montagne entre Saint-Étienne-de-Tinée et Isola (Alpes-Maritimes, Nice Métropole).

### En savoir plus sur [www.fntp.fr](http://www.fntp.fr) ■

<sup>(1)</sup> Cf. Travaux n°948, janvier-février 2019, page 12.

<sup>(2)</sup> Cf. Travaux n°949, mars 2019, page 16.



© LÉONARD DE SERRÉS

Prix ex-æquo transition écologique : galerie technique sous la Loire dans l'agglomération de Tours.



## LA FNTP MET EN AVANT SES TROPHÉES PRÉVENTION



La brouette se glisse sous la tarière pour changer la pointe de forage.

Le levage de cages d'armature est dangereux car les soudures ne le supportent pas toujours. Les fabricants n'envisagent pas d'intégrer des arceaux pour cette opération. La chute d'une cage d'armature de pieu a tué un salarié, il y a deux ans chez NGE Fondations. Depuis, l'entreprise a conçu et breveté une pince sécuritaire de levage des cages d'armature, dispositif lauréat du trophée Prévention, santé et sécurité de la Fédération nationale des travaux publics (FNTP), le 27 novembre.

« Nous avons travaillé en interne (CSSCT) et avec la Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), et l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS), a précisé Philippe Robit, directeur recherche et développement, lors de la remise du trophée. Huit prototypes ont été nécessaires avant la version finale testée sur dix chantiers pilotes. Elle est déclinée pour des armatures de 14 à 20 mm et en préparation en 20-32 mm. » Elle répond à la norme NF EN 13155 sur les appareils de levage à charge suspendue (cf. article dans ce numéro).

Cette catégorie des trophées a été dévolue en premier car « la santé et la sécurité des salariés est le souci quotidien et principal des entreprises des TP, » a souligné Bernard Sala, responsable de la commission dédiée à la FNTP.

### → Repositionner les pointes perdues

Dans la même catégorie, citons les trois nommés à côté du lauréat. Un outil, conçu par un conducteur de travaux d'Atlas Fondations, repositionne les pointes perdues de forage. Il élimine le risque de coincement ou d'écrasement de la main lors de la remise en place des pointes.

Il s'agit d'une brouette basse au bout d'un long manche, à fourche à l'avant

dans laquelle vient se glisser la tête de forage pour être amenée sous la tarière. L'engin s'oriente dans toutes les directions grâce à sa roue unique afin de trouver la bonne position dans l'axe de la tarière. Le manche a deux tubes pour

être plus stable. La roue est nettoyée par une petite plaque.

L'opérateur n'a ainsi plus à se coucher au sol et est mieux vu par le conducteur d'engin. Atlas Fondations envisage un manche pliant pour le transport et une assistance électrique.

### → Ligne rouge à ne pas franchir

Autre dispositif nommé pour le trophée santé-sécurité, la délimitation d'une zone "interdite" autour d'un engin, pour en éloigner le personnel, notamment la nuit. Le système projette un rayon laser rouge au sol à 1,50 m autour d'un compacteur, par exemple. La lumière est émise par 4 boîtiers sur chaque face de l'engin. Colas Rhône-Alpes-Auvergne l'a testé sur un chantier de la Métropole de Lyon. Enfin, également parmi les nommés, le gant bionique d'Eiffage/Bioservo Technologies, prix spécial des Canalisateurs en octobre (cf. Travaux décembre n°956). ■



Zone d'exclusion du personnel délimitée par un rayon laser autour d'un engin de travaux. Ici, au péage de la Boisse (Ain, A432).

## CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE DE 15,3 MW

Un parc photovoltaïque de 127 800 panneaux sur 18 ha a été inauguré dans l'Eure, fin novembre. Une extension de 16 ha se prépare pour l'été 2020.

Le parc des Terres Neuves a une puissance de 15,3 MW, l'extension ajoutera 13,5 MW. Ces centrales se situent sur les communes de Saint-Étienne-sous-Bailleul et La-Chapelle-Longueville, en partie sur le site de CNPP, organisme de prévention. Cette production d'électricité a été développée par Res et racheté par la société d'économie mixte West Energies. La Banque des territoires et Siège 27, le syndicat d'énergie de l'Eure, sont entrés dans le capital.



Les panneaux solaires couvrent 18 ha.

## MINI-VILLE DE DEMAIN

Sense-City permet de réaliser des expérimentations sur la ville connectée, l'internet des objets en milieu urbain, la qualité de l'air, l'énergie à l'échelle d'un bâtiment ou d'un quartier, la mobilité et les infrastructures intelligentes. Lancé en 2018, l'équipement de mini-ville en est à son second scénario mis en œuvre par une équipe de l'Université Paris-Est (Champs-sur-Marne). Le 2<sup>d</sup> scénario s'intéresse à l'apport de la végétation et de l'eau. Le projet reçoit un financement du plan d'investissements d'avenir.



## FOREUSE ÉLECTRIQUE EN AUTRICHE

Une foreuse électrique pour pieux est à l'œuvre sur l'extension de l'échangeur autoroutier de Bludenz-Bürs au sud de Nenzing (A14, Autriche). Fonctionnant sur batteries (10 heures d'autonomie), elle a la même puissance que le modèle équivalent LB 16 en diesel\*. Elle fait beaucoup moins de bruit et ne pollue pas l'air. L'engin creuse les fondations de 148 piles de 900 mm de diamètre jusqu'à 10-14 m de profondeur. Les travaux comprennent deux ponts, deux ronds-points, et des raccordements à des routes régionales.

Le modèle employé a été abaissé de façon à ne pas toucher la ligne électrique qui surplombe le chantier. Les cages d'armature sont insérées en plusieurs tronçons. Asfinag, la société d'autoroutes, a confié les travaux de la partie ouest à l'entreprise autrichienne i+R.

\* Cf. Travaux n°951, juin 2019, p. 8.



La foreuse fait moins de bruit.

© LIEBHERR/HR

## ENR ET TERRES RARES

Les énergies nouvelles renouvelables utilisent peu de terres rares, selon la fiche technique que l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie leur consacre.

Seules les éoliennes en mer ont besoin de néodyme et de dysprosium dans leurs aimants et les industriels étudient des alternatives, sans aimant.

[www.ademe.fr/terres-rares-energies-renouvelables-stockage-energies](http://www.ademe.fr/terres-rares-energies-renouvelables-stockage-energies)

## DOUBLER LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LES RÉSEAUX DE CHALEUR ET DE FROID



Le réseau de chaleur de Chaumont (Haute-Marne) est passé de 4 km en 2011 à 20 en 2017 grâce à des interconnexions et des extensions (ici en 2017).

© VILLE DE CHAUMONT

Les réseaux de chaleur progressent mais pas assez. Les 781 réseaux qui délivrent de la chaleur courent sur 5 781 km (5 397 en 2017) et les 23 réseaux de froid, sur 202 km (198 en 2017). Ils fournissent 25,4 TWh de chauffage et d'eau chaude sanitaire et 1,05 TWh de climatisation, soit 1 TWh de mieux qu'en 2017<sup>(1)</sup>. Les sources d'énergie sont, en quantité, à 57 % des énergies renouvelables ou de récupération (chaleur industrielle perdue, par exemple).

### → Éviter les climatiseurs

Pour répondre aux objectifs de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (2015) traduits dans le projet de programmation pluriannuelle de l'énergie, il faudrait que la production de chaleur et de froid par des renouvelables atteigne 39 TWh en 2030, en réduisant l'appel aux énergies fossiles. L'effort de ce remplacement suppose d'augmenter de 2 TWh par an la chaleur ou le froid renouvelables dans ces réseaux, soit deux fois plus que le rythme actuel.

« Les réseaux se développent en période de crise énergétique ou climatique, a fait remarquer Serge Nocodie, vice-président réseaux de chaleur et de froid et énergies renouvelables d'Amorce, association d'élus locaux et d'entreprises, lors de la

2<sup>e</sup> semaine de la chaleur renouvelable<sup>(2)</sup>. Le froid est un sujet qui me tient à cœur. Il faut éviter les climatiseurs autonomes car ils contribuent aux îlots de chaleur. » En 2018, 5,8 millions de tonnes de carbone n'ont pas été émises grâce à ces réseaux du fait d'une plus grande efficacité énergétique, de la récupération de chaleur perdue et de l'appel aux renouvelables.

### → Révision des concessions

Le groupe de travail dédié, créé en 2019 par le ministère de la Transition écologique, témoigne de leur utilité. Parmi les actions publiées en octobre, rappelons la 9<sup>e</sup> sur la révision des concessions avec les exploitants, avec des changements dans la gouvernance et la tarification<sup>(3)</sup>. Amorce qui en fait partie, démarche les communes qui n'ont pas encore de réseau, au rythme d'une soixantaine par an. Elle a mis en place un dispositif de sauvegarde des réseaux en difficulté sur la base d'un diagnostic, avec l'Ademe et le Syndicat national du chauffage urbain et de la climatisation urbaine.

Les réseaux rapportent en taxes locales, créent des emplois et font marcher les entreprises comme celles de vente de bois et de travaux (VRD).

En 2017, la production et la distribution ont généré 2 200 millions d'euros de

chiffre d'affaires dont 1 800 de vente de chaleur et de froid.

Les investissements de création de réseaux, d'interconnexion ou d'extension atteignent 305 millions d'euros : 160 pour la distribution primaire dont 46 en génie civil et terrassement, et 54, en canalisation primaire, plus 145 en production (chaufferies, géothermie, etc.).

### → Schéma directeur et concertation

L'Ademe qui distribue l'argent du Fonds chaleur veille à ce que les demandes comprennent un schéma directeur du réseau (prévisions) et n'oublie pas la concertation, une démarche qui s'est renforcée afin de convaincre les élus et le public du bien-fondé des réseaux.

### État des lieux de la filière réseaux de chaleur et de froid :

[www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/reseau-de-chaleur-etat-des-lieux-filiere\\_2019.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/reseau-de-chaleur-etat-des-lieux-filiere_2019.pdf) ■

<sup>(1)</sup> Chiffres du Syndicat national du chauffage urbain et de la climatisation urbaine.

<sup>(2)</sup> 3-5 décembre, Paris, par l'Ademe, Amorce, la Fédération des services énergie et environnement et le Syndicat des énergies renouvelables.

<sup>(3)</sup> Cf. Travaux n°955, novembre 2019, page 13 et n°949, mars 2019, page 8.





Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

## CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

### Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

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

### Nos coordonnées :

- **Par courrier :**  
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)
- **Par mail :** sur [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr), lien *écrire un e-mail*
- **Par téléphone :**
  - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
  - pour les salariés : 01.70.38.09.00

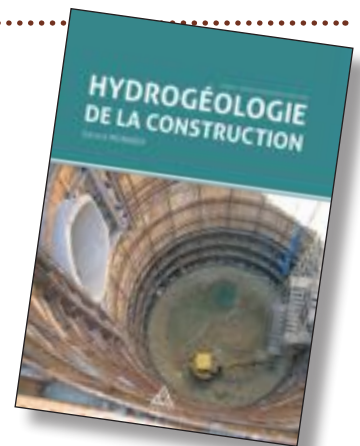


## INTERACTIONS EAU ET INFRASTRUCTURES

*Hydrologie de la construction* dresse un panorama des interactions entre les nappes d'eau souterraines et les constructions en infrastructures. L'ouvrage de Gérard Monnier, hydrogéologue, aborde tout ce qu'il faut savoir pour maîtriser les eaux souter-

raines : notions de base sur les aquifères, concepts, paramètres et outils théoriques ; forages, équipement des puits, piézomètres ; essais et mesures sur site ; méthodes de construction en sous-sol ; maîtrise des eaux pendant le chantier et en phase d'exploitation ;

sols, nappes et roches comme sources d'énergie thermique ; risques du milieu souterrain. Le dernier chapitre est consacré à l'histoire de l'hydrologie. [www.presses-des-ponts.fr/notre-librairie/](http://www.presses-des-ponts.fr/notre-librairie/) ■



## GÉNIE CIVIL : INGÉNIERIE DE LA MAINTENANCE

Le *Référentiel de l'ingénierie de la maintenance en génie civil* est une notice d'aide à la décision de 32 pages. Il émane du groupe de travail de l'association Ingénierie de maintenance du génie civil, piloté par Bertrand Collin

(Sites) avec Christophe Adrian (Getec Sud-Ouest), Bernard Quénéé (Setec-Lerm), Jean-François Bindel (Aéroports de Paris), Michel Khatib (Ginger CEBTP) et François Combier (Egis). Après une présentation générale, il traite la sur-

veillance et le diagnostic, la maîtrise d'œuvre études, la maîtrise d'œuvre travaux, le contrôle extérieur et la visite d'expert, et enfin, les suites à donner et les options. [www.imgc.fr](http://www.imgc.fr) ■





## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 19 FÉVRIER

**Fascicule 74 (2018) CCTG construction et réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 17 MARS

**Géosynthétiques en milieu fluvial et maritime**

Lieu : Orléans (Loiret)  
[www.cfg.asso.fr](http://www.cfg.asso.fr)

#### • 24 ET 25 MARS

**Reconvertir les friches polluées**

Lieu : Paris (Porte Maillot)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

#### • 31 MARS ET 1<sup>er</sup> AVRIL

**Bim World**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
[www.bim-w.com](http://www.bim-w.com)

#### • 26 AU 29 AVRIL

**4<sup>e</sup> conférence panaméricaine des géosynthétiques**

Lieu : Rio de Janeiro (Brésil)  
[www.cfg.asso.fr](http://www.cfg.asso.fr)

#### • 27 AVRIL AU 1<sup>er</sup> MAI

**Conférence géothermie**

Lieu : Reykjavik (Islande)  
[www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org)

#### • 20 AU 22 MAI

**Culture et génie civil**

Lieu : Wrocław (Pologne)  
[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

#### • 15 AU 18 JUIN

**Rocexs (protection chutes de roches)**

Lieu : Sapporo (Japon)  
[www.ec-pro.co.jp/rocexs2020/](http://www.ec-pro.co.jp/rocexs2020/)

#### • 30 JUIN AU 2 JUILLET

**10<sup>e</sup> journées géotechnique et géologie de l'ingénieur**

Lieu : Lyon  
<https://jngg2020.sciencesconf.org>

#### • 2 JUILLET

**Innovation day 2020**

Lieu : Lyon  
[www.indura.fr](http://www.indura.fr)

#### • 23 ET 24 JUILLET

**Assises de l'économie circulaire**

Lieu : Paris  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

### FORMATIONS

#### • 12 ET 13 MARS

**Les outils du Bim**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 18 AU 20 MARS

**Fondamentaux de la technique ferroviaire**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 23 ET 24 MARS

**Gérer les déchets de chantier**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 25 MARS

**Gestion et réparation d'ouvrages en béton atteints de réaction sulfatique interne**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 25 AU 27 MARS

**Fondamentaux du management d'équipes dans le BTP**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 2 ET 3 AVRIL

**Management de projet en Bim**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 5 AU 7 MAI

**Maîtriser les effets de l'eau dans les sols**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 11 MAI 2020 À 11 MAI 2021

**Certificat Bim pour l'ingénierie**

Lieu : Paris  
<http://formation-continue.enpc.fr>

### NOMINATIONS

#### COMITÉ FRANÇAIS

#### DES GÉOSYNTHÉTIQUES :

Pierre Lebon anime le groupe communication du CFG à la suite d'Yves Durkheim.

#### IREX :

Suite au départ de l'Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (IREX) de Brice Delaporte, le tandem Philippe Gotteland au poste de délégué général et M<sup>me</sup> Claude Rospars au poste de directrice scientifique et technique, assurent la gouvernance de l'association.

#### ROUTES DE FRANCE :

Brice Delaporte a quitté l'Irex (cf. ci-dessus) pour rejoindre Routes de France, en octobre, en tant que directeur adjoint aux affaires techniques auprès de Christine Leroy, directrice.



# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

#### Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 958 « Sols et fondations »
- TRAVAUX n° 959 « Énergie »



#### Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31

[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)



# INNOV'INFRA

## RÉSEAU NATIONAL D'INNOVATION EN INFRASTRUCTURES ET AMÉNAGEMENT

**Cinq structures se sont mises en réseau dans Innov'Infra pour collaborer et préparer les infrastructures, les travaux publics et l'aménagement de demain, au niveau national.**

« *Imaginer, définir, concevoir, construire et exploiter les ouvrages et espaces publics de demain* », c'est le positionnement du Hub Innov'Infra qui met en réseau, depuis fin novembre, 5 structures : les clusters Eco-chantiers (Bourgogne/Franche-Comté), Indura (Auvergne/Rhône-Alpes), Novabuild (Pays-de-la-Loire), Odéys (Nouvelle-Aquitaine) et l'Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (Irex). Le Hub, qui regroupe ainsi 700 adhérents, donne une dimension nationale à la dynamique de la filière.

« *Nous mutualisons la recherche et l'innovation du génie civil français, déclare Pierre Rampa, président d'Innov'Infra. Nous construirons les infrastructures du futur, respectueuses du développement durable.* »

Grâce à la collaboration entre ces structures, « *nous souhaitons améliorer notre efficacité lors du montage de projets innovants*, indique Philippe Pages, vice-président d'Odéys. *Nous partagerons notre expérience, notre capacité à identifier les bons partenaires et notre connaissance des aides financières à l'innovation.* »

Trois thèmes sont prioritaires : diminuer l'empreinte carbone de l'aménagement, des travaux publics et des infrastructures ; adapter les infrastructures au changement climatique et aux limites budgétaires ; accroître l'acceptabilité des chantiers.

### → Repenser totalement nos modèles

« *Le BTP a plus que contribué à la dégradation des émissions de gaz à effet de serre*, souligne Laurent Rossez, président de Novabuild. *Nous devons repenser totalement nos modèles et viser une économie de la préservation, du réemploi, de la réhabilitation, du partage ou de la mutualisation, de la simplicité à services rendus équivalents. Toutes les innovations ne se valent pas. Nous devons viser celles qui concourent à atténuer le choc à venir et à s'adapter à ses inévitables conséquences.* »

Le président d'Indura, Paul Galonnier, estime que les approches techniques classiques devront s'allier aux sciences environnementales, humaines, économiques et sociologiques pour apporter des solutions durables et acceptables. Ceci dans le cadre de la réorganisation

des gestionnaires d'infrastructures due à la fusion des régions, à la métropolisation des territoires et à la création d'établissements publics de coopération intercommunale. Les maîtres d'ouvrage seront associés aux projets le plus en amont possible.

Innov'Infra prendra sous son aile le deuxième "Innovation day", le 2 juillet 2020 à Lyon. Pour 2021, il prépare un événement sur la numérisation des activités des acteurs des travaux publics autour du Building Information Modeling et des usages numériques.

Le Bim et les jumeaux numériques vont encore faire évoluer la conception, l'exécution et l'entretien. Les infrastructures seront plus connectées pour interagir avec les véhicules autonomes. Plus généralement, le traitement des données numériques peut bénéficier à l'entretien

et à l'exploitation, éventuellement associé au "machine learning".

### → Projets représentatifs

Des projets déjà en route dans des clusters sont représentatifs de cette collaboration à l'échelle nationale. Boreal, Bio-renforcement des ouvrages hydrauliques en remblais par ciment biologique, initié par Indura et porté par un consortium, regroupe des participants sur la France entière. Il concerne 4000 km de digues. Un chantier de Zac sous maîtrise d'ouvrage de la Communauté de l'Auxerrois (Yonne) a permis au cluster Eco-chantiers de développer une méthodologie pour intégrer dans les pièces des marchés, les impacts sur la biodiversité, la qualité de l'eau, de l'air et la gestion des plantes envahissantes. Cette démarche, adoptée par Colas-Eurovia à cette occasion, pourrait être diffusée plus largement. ■

## BUREAU D'INNOV'INFRA

**Président : Pierre Rampa, Indura, groupe Rampa ; vice-président : Jacques Roudier, Irex ; Alain Denat, Odeys, AD Urban Conseil ; Valéry Ferber, Novabuild, Charier ; Paul Galonnier, Indura, Sitétudes ; Régis Le Lion, Novabuild, Artelia ; Xavier Neuschwander, Irex, Eurovia ; Philippe Pages, Odeys, Eiffage Route ; Patrick Vaillant, Eco-Chantiers, Cerema ; Éric Vermot, Eco-Chantiers, Vermot TP.**



© HUB INNOV'INFRA

Quelques membres d'Innov'Infra, de gauche à droite : Xavier Neuschwander (Irex), Franck Gautheron (Indura), Pierre Rampa (Indura), Claude Rospars (Irex), Valéry Ferber (Novabuild), Paul Galonnier (Indura), Alain Denat (Odeys), Pierre-Yves Legrand (Novabuild), Vincent Seppeliades (Odeys), Philippe Gotteland (Irex), Jacques Roudier (Irex).



# VINCI CONSTRUCTION

## UNE DÉMARCHE OUVERTE S'APPUYANT SUR LES SYNERGIES DU GROUPE

Depuis plusieurs années, Vinci Construction s'est engagé dans une démarche d'innovation ambitieuse, de laquelle sont nées de nombreuses initiatives qui visent toutes un même objectif : accélérer la concrétisation de l'innovation sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur, en se nourrissant, dans de multiples domaines, de compétences internes et externes. Dans un contexte marqué par de nombreux défis - transition énergétique, nouvelles technologies, révolution digitale, accélération des cycles d'innovation - Vinci Construction a créé une structure de réflexion prospective et d'accélération des innovations à l'échelle du groupe, le tout dédié à ses métiers : le service Ingénierie, Innovation et Transformation Digitale. Élise Bon, responsable R&D au sein de cette structure, présente les démarches synergiques du groupe en matière d'innovation. Elles sont multiples. **Entretien avec Élise Bon, responsable R&D Ingénierie et Innovation de Vinci Construction.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



**Quels sont les objectifs de la R&D dont vous avez la responsabilité et quelles sont les motifs de la création du service ?**

L'innovation chez Vinci Construction est à l'image du groupe : très décentralisée, technologique, et foisonnante. Notre groupe représente plus de 800 entités, et des innovations et actions de R&D sont nichées dans chaque entité du groupe, et à plusieurs niveaux. D'abord au sein du projet de construction, puisque c'est là que réside une grande partie de l'énergie ; puis autour des métiers de spécialités

ou transverse à plusieurs projets autour d'une technologie métier.

Enfin, depuis quelques années, nous accompagnons au niveau de Vinci Construction c'est-à-dire de la holding, des projets que nous nommons projets de "R&D Transverse", qui méritent d'être accélérés par une mutualisation des expertises et moyens, ce qui permet de mettre au point plus vite des innovations qui s'avèrent stratégiques pour le groupe.

Ce 3<sup>e</sup> niveau d'action a été pensé par Chloé Clair, CTO de Vinci Construction, qui a monté notre équipe en fonction. Sous son impulsion, le groupe a d'abord

1

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © ACTIVSKEEN®/ERTEX SOLAR



2



3



1- Élise Bon, responsable R&D Ingénierie et Innovation de Vinci Construction.

2- AktivSkeen® : l'immeuble expérimental NEST à Dübendorf en Suisse (architecte : Werner Sobek).

3- L'immeuble à énergie positive Sonnenpark-PLUS à Wetzikon (Suisse) en AktivSkeen® (architecte : arento.ch - Nachhaltige Architektur).

4- Le projet +eKita à Marburg (Allemagne) en AktivSkeen® (architecte : Elbe Sönecken-Opus Architekten).

5- "Sissterra" est basé sur le principe de l'interférométrie sismique.

maturé les objectifs de sa R&D : d'une part améliorer la productivité de nos métiers, sur nos chantiers, et d'autre part, développer de nouveaux business. Le terrain de jeu, si j'ose dire, est en particulier les nouvelles technologies, et les enjeux environnementaux pour répondre aux besoins actuels de diminution de l'empreinte carbone, mieux utiliser les ressources et maintenir la biodiversité.

Dans notre équipe, nous avons un rôle de facilitateur plus que de producteur. Nous regardons ce qui est réalisé dans les entités et s'il est possible de marier les innovations ainsi développées par

## ÉLISE BON : PARCOURS

Élise Bon intègre l'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP) en 2000 et ne le regrettera pas. « L'approche technique que j'ai acquise à l'ESTP me sert tous les jours », souligne la jeune femme. Cette école favorise également des cursus dans des établissements à l'étranger.

Ainsi en 2002, Élise Bon choisit de passer une année dans l'un des plus prestigieux campus des États-Unis, celui du Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Boston. L'étudiante en profite pour approfondir ses connaissances en génie civil et surtout en architecture. Elle en sort titulaire d'un Master of Engineering "High Performance Structures".

Entrée directement en troisième année de l'École d'Architecture de la Ville et des Territoires à Marne-La-Vallée en 2003, elle découvre avec un intérêt toujours renouvelé toutes les subtilités inhérentes à la conception architecturale.

En 2005, elle rejoint C&E Ingénierie en tant que responsable de la coordination de l'équipe d'ingénieurs chargée des études de charpente métallique. Cette société, qui compte dix-huit personnes, dont quatre architectes/ingénieurs, est réputée dans l'événementiel et les projets d'exception.

L'événementiel est un domaine complexe nécessitant une prise en compte des normes d'un bâtiment car celles-ci ne vont pas nécessairement s'accorder avec celles d'une action éphémère. « Nous avons assuré, par exemple, toute la partie opérationnelle de l'installation de la sculpture monumentale de Richard Serra au Grand Palais », précise-t-elle à ce sujet.

En 2006, Elise Bon soutient son diplôme d'architecte avec succès sous la direction de Marc Mimram.

Un an après, elle s'inscrit en formation HMNOP<sup>(1)</sup> à l'École d'Architecture de Paris-Val de Seine et obtient son diplôme en 2008.

En 2010, pour une période de un an, elle intègre Dominique Perrault Architecture afin de participer aux études techniques liées aux structures des projets.

Entre 2011 et 2017, Élise Bon est chef d'agence au sein de l'Atelier Marc Barani.

Depuis mai 2019, elle est responsable R&D « Ingénierie et Innovation » de Vinci Construction.

1 - HMNOP : Habilitation à l'exercice de la Maîtrise d'œuvre en son Nôm Propre.

une entité avec les autres pour des enjeux similaires ou en synergie, et leur apporter les ressources manquantes. Nous avons ainsi fait naître des projets dits de "R&D Transverse" qui peuvent

intéresser plusieurs entités autour d'une problématique, d'une technologie, d'une valeur ajoutée à créer et nous pilotons dans ce cas des projets qui sont produits dans les entités - sur

le terrain - mais que nous coordonnons après les avoir présentés au Comité de Direction de Vinci Construction.

Chaque innovation doit répondre à un besoin "terrain", et repose donc sur l'investissement des équipes opérationnelles. Cela nous permet de toujours vérifier que nous ne produisons pas de travaux qui ne répondent pas à un besoin réel, qui serait hors sol, et nous maintenons la complémentarité de nos rôles. Le terrain est moteur et expert, et nous sommes facilitateurs et dédiés à la conduite de l'innovation.

Nous sommes dans le développement expérimental plus que dans la recherche.

Le service saisit les nouvelles connaissances réalisées dans le groupe pour aboutir à une amélioration opérationnelle de la productivité, c'est-à-dire de la qualité et de la sécurité, ou à l'émergence d'un nouveau service que le groupe peut apporter. Ceci peut déboucher sur de nouveaux produits à l'origine de nouvelles business units ou directement expérimentés sur le terrain.

### Pourriez-vous présenter un exemple concret de cette démarche ?

Vinci Construction a développé une technologie de façades photovoltaïques dans une nouvelle business unit AktivSkeen® dont l'offre est de réaliser une façade photovoltaïque en totalité. En effet, nous sommes convaincus que la valeur se crée en ayant une vue d'ensemble sur le projet, en tenant autant compte des problématiques de construction que des problématiques d'exploitation et d'usage. Pour Vinci Construction, c'est une nouvelle offre, qui étend notre expertise.

La vocation d'ActivSkeen® est d'accompagner architectes, promoteurs, ▷

© EIBE SÖNNECKEN

4



© PHILIPPE BEUF

5





maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage, dans la concrétisation de leur vision et construire ensemble l'enveloppe du bâtiment de demain : une enveloppe active, esthétique et performante, répondant aux enjeux de confort et de frugalité énergétique.

Nous accompagnons nos clients architectes dans l'identification de solutions techniques et esthétiques répondant à leurs attentes, en enrichissant leur matériauthèque, en les assistant lors des concours, en concevant et protégeant les solutions. Nous apportons notre soutien dans l'analyse des choix architecturaux en modélisant les impacts sur le bilan énergétique du bâtiment, dès l'esquisse du projet.

Nous apportons à la maîtrise d'œuvre toute notre expertise en matière de modélisation avancée, d'ingénierie et d'intégration d'éléments actifs dans l'enveloppe du bâtiment. Nous définissons et concevons les éléments actifs, réalisons les études de potentiel photovoltaïque et/ou de bilan énergétique du bâtiment, l'ingénierie de dimensionnement des systèmes électriques, l'intégration dans les systèmes de façade, l'interfaçage avec les systèmes de gestion du bâtiment.

Nous proposons à la maîtrise d'ouvrage, une intervention à la carte, ou clefs en main, en tant qu'assistance à maîtrise d'ouvrage ou pilote unique d'un lot "Enveloppe Active". Ainsi nous pouvons intervenir sur des phases précises telles que la définition du programme, la conception et la fourniture des éléments actifs (conception et fabrication des modules photovoltaïques BIPV, des fenêtres dynamiques etc.), l'ingénierie (photovoltaïque, électrique, énergétique) ou proposer une offre intégrée allant jusqu'à l'installation et la mise en service des installations.

## LEONARD EN BREF

**Leonard Paris héberge les entités de Vinci tournées vers la transformation des marchés et des métiers du groupe, et rassemble de ce fait une concentration unique de toutes les expertises (scientifiques, urbanistiques, sociales, entrepreneuriales) des grands défis métropolitains :**

- **Leonard, le programme transverse dédié à l'innovation et à la prospective, pour inventer l'avenir des métiers du groupe, lancé en Juillet 2017.**
- **La Fabrique de la Cité, le think tank des transitions urbaines créé à l'initiative du groupe.**
- **La Fondation d'entreprise Vinci pour la Cité, soutient des projets qui apportent une solution aux difficultés d'insertion sociale et professionnelles des personnes les plus démunies.**
- **La Chaire éco-conception Vinci-ParisTech des ensembles bâtis et des infrastructures, fruit du partenariat entre Vinci et les écoles de l'Institut ParisTech.**

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

**Leonard a lancé en juin 2019 son premier parcours intrapreneurs destiné aux collaborateurs de Vinci. My Vinci Startup invite ainsi tous les collaborateurs porteurs d'une idée innovante en lien avec plusieurs activités ou métiers du groupe à devenir intrapreneurs : des entrepreneurs dans l'entreprise.**

### D'autres domaines de la construction ont-ils déjà connu des applications sur chantier ?

Dans le domaine de la géophysique, l'équipe de Sixense Engineering a développé Sissterra® qui permet une visualisation du sous-sol qui complète les essais classiques de géotechnique. La solution consiste à mettre en place un dispositif de nombreux géophones autonomes et géolocalisés, à écouter les bruits et les vibrations urbains (bruits de voitures par exemple), qui sont autant de sources de bruit, puis à écouter l'écho de l'ensemble de ces

signaux et à les interpréter à l'aide d'un processing avancé des données (big data).

Elle présente trois avantages : il s'agit d'une méthode passive, non-intrusive et facile à déployer (sans nuisance pour les riverains).

Sissterra® constitue une démarche réellement innovante issue de la recherche académique, basée sur le principe de l'interférométrie sismique, combinant la tomographie 3D et le monitoring. Cette méthode éprouvée dans les domaines de l'Oil & Gas a été transposée au Génie Civil et a

abouti à une solution co-développée avec Sisprobe, regroupant des experts mondialement reconnus. Elle permet la consolidation du modèle géologique ainsi que l'optimisation de l'avancement de travaux souterrains.

Sisense a mis au point la technologie pour nos besoins métiers et notre équipe a accéléré le projet en tant que R&D Transverse en lui permettant de se consolider dans le domaine des calculs, du matériel, de la structuration de l'offre et de l'adéquation technologie/matériel.

### Sur quel chantier, Sissterra® a-t-elle déjà été mise en œuvre ?

Sissterra® est utilisée sur la Ligne 14 Nord du chantier du Grand Paris Express (attribué au groupement Bouygues/Soletanche Bachy), pour évaluer l'impact du passage du tunnelier et optimiser les travaux d'amélioration du sol. En effet, suite à son passage, des tassements ont été mesurés au niveau de la surface au niveau de certains bâtiments.

Le groupement a fait appel à Sissterra® pour localiser les zones de faiblesse qui nécessiteront des travaux de remédiation via une image du sous-sol avant travaux, s'assurer que le phénomène est arrêté en contrôlant l'évolution du sous-sol et évaluer l'impact des travaux d'amélioration du sol via une imagerie du sous-sol après travaux.

Cet outil d'aide à la décision a permis d'optimiser les travaux d'injection et d'en évaluer l'impact aussi bien quantitativement à travers l'accroissement des vitesses sismiques que spatialement grâce à la visualisation 3D. In fine, Sissterra® a offert une plus grande maîtrise sur la sécurité des biens et des personnes ainsi que sur la gestion budgétaire de ce genre de situation.

© STÉPHANE CANDE

6



© VINCI CONSTRUCTION

7





## D'autres démarches sont-elles entreprises en vue de développer ou d'accélérer les synergies entre les différentes entités de Vinci Construction ?

Un autre volet d'innovation peut répondre à l'amélioration de la productivité ou à de nouvelles offres et réside dans ce que nous appelons des "accélérateurs de technologie". Chez Vinci Construction, il s'agit de groupes de travail ou de laboratoires qui font la charnière entre de nouvelles technologies qui deviennent accessibles pour nos métiers et nos besoins chantier. Scanlab est un groupe de travail de huit spécialistes - ingénieurs en photogrammétrie, docteurs en photonique - autour des technologies d'acquisition de la réalité (scanner, scanner 3D, drone...). Ce sont des profils que l'on a assez peu l'habitude de voir dans nos bureaux d'ingénierie mais qui connaissent nos métiers et notre réalité terrain et vont ainsi pouvoir répondre à nos opérationnels terrain qui ont besoin d'une technologie d'acquisition de la réalité en milieu réel c'est-à-dire sans réseau, dans la boue, en milieu poussiéreux, en conditions de manipulation particulières...

Ils mettent au point des méthodes de relevés de l'existant en sous-sol en utilisant des appareils du marché sélectionnés pour leurs performances. Nous les aidons créer une proposition ad hoc pour exploiter sur le terrain des technologies qui, à l'origine, n'étaient pas destinées à une telle utilisation. Un autre enjeu de notre action est la digitalisation des processus. En effet, l'un des défauts ou des retards du secteur de la construction est de travailler essentiellement en mode projet. Dans cette démarche, nous capitalisons peu sur le projet, on ferme le dossier

lorsque le projet est achevé et on peut être amené à réinventer des techniques qui ont déjà fait leurs preuves. La digitalisation doit permettre de capitaliser les retours d'expérience issus de chacun des projets et de les réutiliser ultérieurement. Mais, encore une fois, cette digitalisation ne fonctionne que si elle est utile au terrain. Il faut que les solutions enregistrées aient une vraie valeur ajoutée utilisable directement sur le terrain pour améliorer le confort de travail, la manière de construire, la sécurité.

## De quelle manière Vinci Construction a-t-il appréhendé la transformation Digital de son activité ?

C'est Chloé Clair, CTO de Vinci Construction, qui a pensé cette architecture Ingénierie, Innovation et Transformation Digitale intrinsèquement liées.

**6- Dans le domaine de la géophysique, l'équipe de Sixense Engineering a développé Sissterra® qui permet une visualisation du sous-sol.**

**7- Scanlab mis en œuvre au front de taille en tunnel.**

**8- Le "Digital Hub" développe des process très "métier" : ici un système anti-collision.**

**9- Installation de suivi de parc par UWB (Ultra WideBand).**

En effet de nombreuses innovations sont liées au Digital et le mode d'action est similaire.

L'équipe a réuni l'expression de la digitalisation des processus, qui était pour partie déjà présente dans chacune des entités du Groupe, mais avec des niveaux de maturité différents.

Chloé a ainsi imaginé le "Digital Hub" qui a pour mission de déployer des processus de digitalisation ayant déjà fonctionné dans certaines entités et les proposer à d'autres.

Ces processus sont très "métier" comme, par exemple, la commande de la remontée des data machine et ses indicateurs de productivité.

Pour permettre le déploiement à toutes les strates de l'entreprise, des opérationnels volontaires et soutenus par leur hiérarchie ont été nommés. Ces "ambassadeurs du digital", très au fait du terrain, sont des ingénieurs de tous types - travaux, études, BIM - formés à la digitalisation, informés de ce qui se passe dans le groupe dans ce domaine et sont le relais local des bonnes pratiques de la digitalisation. Ils assurent la remontée de l'ensemble des informations au niveau du groupe.

Cette communauté d'intérêt est déjà forte de 150 personnes et partage tous les outils dont elle dispose de manière transverse d'une entité à l'autre.

Nous expérimentons pour le digital un modèle de diffusion de l'information et d'expérimentations matriciel : un croisement d'expertises ou de communautés d'intérêt - les ambassadeurs du digital - avec la structure hiérarchique traditionnelle du groupe. C'est essentiel pour accompagner l'accélération de l'information et des savoirs sur cette thématique.

## Auriez-vous déjà un exemple concret de l'aboutissement de cette démarche de digitalisation ?

Le "Totem Digital Chantier" est l'un d'entre eux. Cette innovation de Vinci Construction France a d'ailleurs reçu le trophée régional "transformation digitale", catégorie "matériels et outils", lors des Prix de l'innovation 2017 organisés par Vinci. Elle permet d'amener la visualisation du BIM au pied de la grue, et non plus uniquement dans les bureaux. La cabane à plans d'autrefois vit de nouveaux jours. Autrefois réservée aux "Chefs", elle ne permettait pas de suivre les mises à jour de manière efficace.

Le Totem, c'est une dalle tactile munie des derniers indices de plans et d'autres fonctionnalités de visualisation et de partage, permettant de transmettre l'information en 3D aux compagnons, et donc d'améliorer la compréhension des tâches et réduire ainsi les erreurs. Une grande boîte solide et étanche, en aluminium, lestée à ses pieds, connectée en 4G et au wifi, et dotée d'un écran XXL tactile avec une vitre blindée, des batteries d'une durée de vie de 1h30 en cas de coupure de courant. On peut ainsi y consulter tous types de documents à jour (plans, notices techniques, modèles 3D avec entre autres Autodesk Navisworks...) réalisés par les bureaux d'études et bureaux de méthodes, et même passer des commandes en cas de besoin.

Grâce à une webcam intégrée, les équipes de chantier et directions fonctionnelles peuvent organiser des web conférences. Cette armoire sur roulettes peut être transportée et déplacée à l'aide des grues en fonction de l'avancement du chantier. ▶

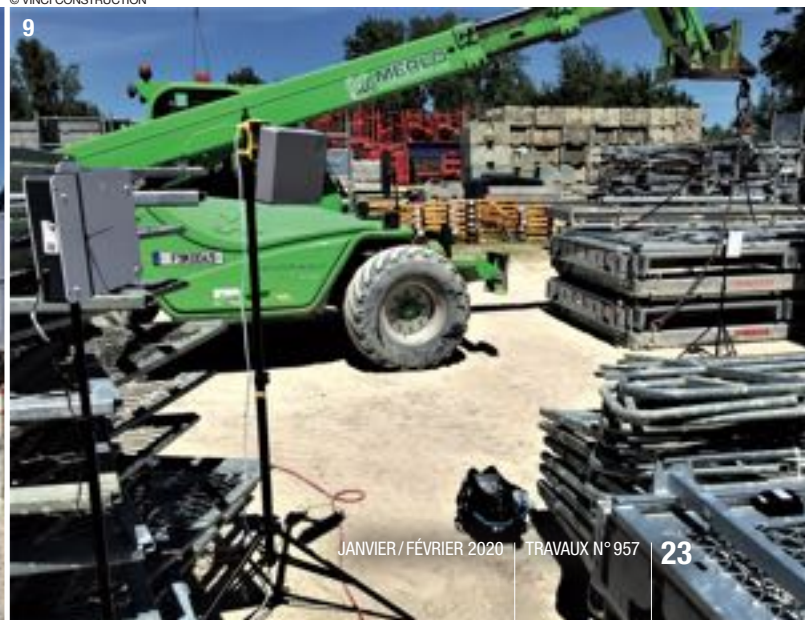
© VINCI CONSTRUCTION

8



© VINCI CONSTRUCTION

9





Le Totem permet de mieux communiquer et d'être plus précis et efficace. Il est comme un bureau à ciel ouvert pour les collaborateurs de terrain. Asmaa Kafya, du Digital Hub, a accompagné la mise au point technique et le déploiement. Nous avons été impressionnés par le réel gain de productivité : il permet d'économiser 40 % de déplacement base vie/chantier, et il est même devenu un lieu de convivialité technique au cœur du chantier !

Après une phase de test, il est aujourd'hui opérationnel sur deux chantiers. Il pourrait être déployé sur tous les métiers de la construction, en neuf ou en réhabilitation.

### Et comment se situe votre action vis-à-vis du reste du groupe Vinci (Eurovia, Vinci Énergies, etc.) ?

Nous travaillons en étroite relation avec l'organe d'innovation de Vinci, Léonard, qui lui adresse les besoins transverses à l'ensemble du groupe !

Leonard est une nouvelle structure transverse dédiée à l'innovation et à la prospective, créée à l'initiative de Pierre Coppey, directeur général adjoint du Groupe. Vinci a confié à cette structure trois missions pour accompagner l'évolution de ses métiers.

### Quelles sont les missions de Leonard ?

Les trois missions de Leonard sont la veille, la prospective et l'incubation-accelération.

Leonard a pour première mission d'assurer une veille sur les tendances qui émergent dans les métiers et sur les marchés de Vinci. Cette structure réunit régulièrement des groupes de prospective chargés d'identifier des enjeux de long terme pour le groupe. Ils désigne-

## VINCI : CHIFFRES CLÉS

- 211 233 collaborateurs fin 2018,
- 3 200 business units,
- 270 000 chantiers par an,
- 43,5 Mds€ de chiffre d'affaires,
- 43% du chiffre d'affaires réalisé à l'international.

## VINCI CONSTRUCTION :

- 71 400 collaborateurs,
- Plus de 800 business units,
- 14 321 Mds€ de chiffre d'affaires,
- 48% du chiffre d'affaires réalisé à l'international.

ront des opportunités d'évolution dans ses métiers et son organisation, ainsi que de nouveaux relais de croissance. Chacun des premiers groupes de travail est présidé par un membre du Comex Vinci et réunit des représentants de tous les pôles d'activité du groupe :

- Le véhicule autonome et son impact sur la construction et l'exploitation des infrastructures ;
- La résilience des villes et des infrastructures face aux événements climatiques ;
- La numérisation des infrastructures et des bâtiments ;
- Les nouvelles formes de travail et leur incidence sur notre modèle managérial.

Cette action prospective nourrit ensuite nos réflexions et veilles propres à la construction pour ce qui est de notre partie.

Leonard développe également des programmes d'incubation et d'accélération de projets innovants, ouverts aux collaborateurs du groupe comme aux startups. Pour accueillir ces programmes et favoriser les rencontres

**10- Le "Totem Digital Chantier" permet de disposer de la visualisation du BIM au pied de la grue.**

**11- Mise en place de la grande "boîte" du Totem Digital Chantier.**

**12- Localisation des différents services de R&D chez Vinci Construction.**

**13- "Totem Digital Chantier" sur le site du projet Archipel, futur siège de Vinci à Nanterre (architecte : Jean-Paul Viguier et Associés).**

**14- L'impression 3D de béton permet d'obtenir des formes qu'il serait impossible de réaliser avec des coffrages traditionnels.**

avec tous les innovateurs des métiers de Vinci, mais également l'accueil de public, cette entité a inauguré un lieu de 1 200 m<sup>2</sup> dans Paris 12<sup>e</sup>.

Parmi les premiers projets d'intraprenariat réunis au sein de Leonard, Résalliance, par exemple, est un bureau d'études en modélisation et diagnostic des conséquences du changement climatique sur les infrastructures.

Léonard, dans ce cas précis, a pour objet de faire mûrir l'offre business de Résalliance. Maintenant que la forme est trouvée, Résalliance a été intégré à Sixense, au sein Vinci Construction, et nous prenons le relai auprès de Résalliance pour les accompagner au sein du groupe, pour mettre au point des innovations autour de l'adaptation au changement climatique.

Autre émergence de Leonard : une business unit vient d'ouvrir à Dubai, dénommée Concreative, dédiée à l'impression 3D de béton haute performance. La société propose un service entièrement intégré, de la conception à la mise en œuvre sur les chantiers. Concreative utilise une technologie brevetée par la start-up XtremeE, dont Vinci Construction est partenaire et actionnaire, qui consiste à extruder un fin boudin de béton couche après couche, chaque couche étant imprimée par un bras robotisé.

### Quel est l'intérêt de l'impression 3D de béton ?

L'impression 3D de béton nous oblige à explorer un nouvel équilibre industriel : en libérant des contraintes du coût du coffrage économique si standardisé, elle offre les moyens de concevoir et réaliser des éléments architecturaux et structurels complexes tous différents et d'imaginer des solutions personnalisées, avec peu de matière.



© VINCI CONSTRUCTION

10



© VINCI CONSTRUCTION

11



## LOCALISATION DES R&D



© VINCI CONSTRUCTION  
12

L'impression 3D de béton permet déjà de réaliser des structures d'assez grande dimension mais également, utilisée en coffrages perdus, de parvenir à des formes qu'il serait impossible d'obtenir avec des coffrages traditionnels.

L'un de ses intérêts est également de permettre le coffrage d'une multitude de pièces différentes à un coût compétitif : le coût est le même que l'on fasse dix fois la même pièce ou dix fois une pièce différente.

L'un des problèmes qui reste à résoudre est de parvenir à armer le béton imprimé pour accroître sa résistance.

Réussira-t-on à couler des ouvrages massifs, voire des bâtiments en impression 3D ?

La réponse ne peut pas encore être donnée. Des recherches de l'usage optimal sont en cours à ce sujet, au sein de nos projets de R&D Transverse...

### Cette "business unit" est donc déjà opérationnelle ?

C'est la première étape de son développement : Concreative a inauguré en juin 2019 une usine de conception-réalisation à Dubaï pour répondre aux futures demandes du marché régional des Émirats Arabes Unis. En effet,

l'Émirat de Dubaï a lancé dès 2016 un plan stratégique dédié à l'impression 3D avec l'objectif d'édifier 25% de ses nouveaux bâtiments au moyen d'imprimantes 3D d'ici à 2030, et de devenir ainsi un centre mondial de l'impression 3D d'ici la fin de la prochaine décennie.

### Pourquoi Dubaï ?

Concreative est issue de la rencontre de deux circonstances favorables : l'arrivée à maturité il y a un an de cette technologie et le souhait des Émirats Arabes Unis de devenir un grand marché de la construction avec et pour l'impression 3D.

Pour le lancement de Concreative, nous avons appliqué l'approche globale que nous avons l'habitude de pratiquer dans notre métier du génie civil spécialisé. Au-delà de la technologie apportée par XtreeE, nous avons développé les services en amont et en aval indispensables pour répondre aux idées des architectes et ainsi concrétiser l'ambition des Émirats Arabes Unis.

Nous avons, chez Vinci Construction, une version agnostique de l'open innovation. Nous travaillons avec des startups car ce sont elles qui apportent un vrai dynamisme et nous faisons beaucoup d'expérimentations avec elles. □

© VINCI CONSTRUCTION

13



© VINCI CONSTRUCTION

14







© TENCATE GEOSYNTHETICS

# TENCATE GEOSYNTHETICS FRANCE PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES ET PÉRENNITÉ

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

ACTEUR MONDIALEMENT RECONNU DANS LA CONCEPTION, LA FABRICATION ET LA VENTE DE GÉOTEXTILES ET GÉOSYNTHÉTIQUES, TENCATE GEOSYNTHETICS PROPOSE DE NOMBREUSES SOLUTIONS POUR RÉPONDRE À DES APPLICATIONS VARIÉES, COMME LES TERRASSEMENTS ROUTIERS ET FERROVIAIRES, LES FONDATIONS, LES MURS ET TALUS, LES OUVRAGES HYDRAULIQUES, LES BERGES ET CÔTES MARITIMES. APRÈS AVOIR FÊTÉ EN 2015 SES 50 ANS D'EXISTENCE, IL A LANCÉ SUR LE MARCHÉ À LA FIN DE L'ANNÉE 2018 UN PRODUIT RÉELLEMENT INNOVANT, COMPLÈTEMENT EN PHASE AVEC LE SOUCI ACTUEL DE PRÉSERVATION DES RESSOURCES NATURELLES : L'AQUATEXILE OLÉO-DÉPOLLUANT TENCATE GEOCLEAN®. JEAN-PASCAL MERMET, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE TENCATE GEOSYNTHETICS FRANCE, PRÉSENTE CE PRODUIT INNOVANT TOUT EN REVENANT SUR QUELQUES DATES ET RÉALISATIONS MARQUANTES DE LA SOCIÉTÉ.

## UNE INNOVATION DE RUPTURE

Avec l'aquatextile TenCate GeoClean®, l'enjeu était de proposer une solution sans entretien, alternative aux systèmes de dépollution des hydrocarbures afin de gérer durablement les eaux de ruis-

sellement en favorisant leur infiltration directe.

La surface artificielle imperméable en Europe a augmenté de 38% au cours des 25 dernières années et atteint des proportions supérieures à 70% en

**1- Le chantier d'infiltration de l'eau pluviale de Bruay-sur-l'Escaut en Geoclean®.**

zones urbaines denses, ce qui accentue le volume de ruissellement (55% en ville) et les risques d'inondations. Ces zones denses sont par ailleurs très polluées : entre 1 à 5 kg de fuites d'hydrocarbures se déposent quoti-



diennement sur chaque kilomètre de route à forte circulation. Si 30% sont dégradés en surface via un processus naturel, 70% pénètrent en contaminant la terre, les eaux souterraines et les nappes phréatiques. Résultat alarmant quand on sait qu'un seul kilo de ces matières peut contaminer jusqu'à 1 million de litres d'eau naturelle !

L'aquatextile de structure bicouche TenCate GeoClean® est un textile technique qui gère durablement et tout naturellement la qualité de l'eau dans le sol : il participe à l'épuration de l'eau en fixant les hydrocarbures sur sa structure filamenteuse oléophile adsorbante, avec une efficacité de plus de 99%, et ceci même en cas de forts volumes d'eau produits par des pluies centennales (65 mm/h) qui s'infiltrent instantanément sur la totalité de sa surface ; la teneur résiduelle en hydrocarbures dans l'eau est inférieure à 2 mg/l, palliant ainsi toute pollution chronique diffuse. « *Le processus est à la fois très simple et ingénieux*, comme l'explique Jean-Pascal Mermet : *en cas de pollution diffuse (dépôt faible et régulier d'huile) la couche supérieure bleue de TenCate GeoClean®, composée de filaments oléophiles adsorbants, capte et emprisonne littéralement les hydrocarbures. Une substance active d'origine naturelle y favorise le développement d'une population de microorganismes permettant de systématiser la biodégradation, de l'accélérer et de l'amplifier dans le temps. Les hydrocarbures sont ainsi supprimés, et ce, définitivement. Aucune maintenance n'est nécessaire sur toute la durée de vie de l'infrastructure, dans des conditions normales d'utilisation.* »

Dans le cas d'une pollution accidentelle plus importante, l'excès d'huile sera stocké dans la couche inférieure blanche de l'aquatextile, où il sera aussi dégradé progressivement. Et Jean-Pascal Mermet de préciser : « *L'abondance de nourriture et les conditions de vie*

**2- Jean-Pascal Mermet, directeur général de TenCate Geosynthetics France.**

**3- Première utilisation du Bidim® en 1969 à Caen sur remblai sur sol mou par les Ponts & Chaussées.**

© MARC MONTAGNON



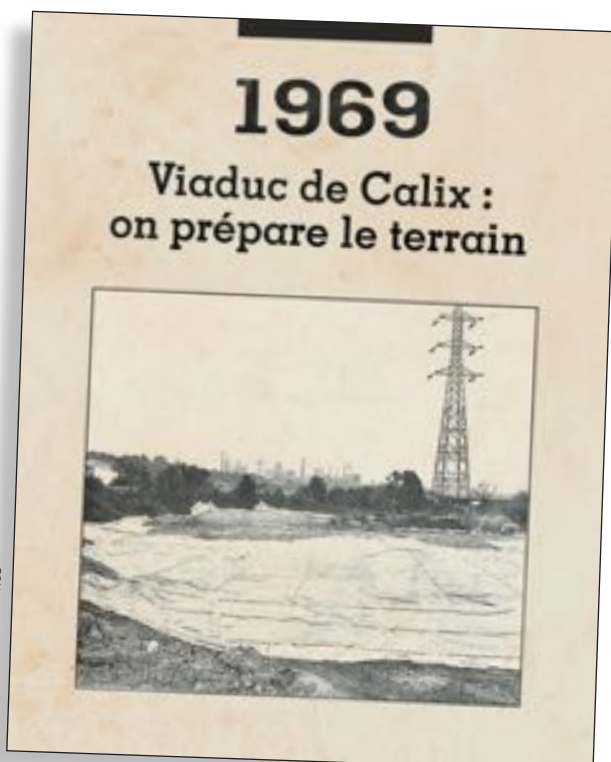
## JEAN-PASCAL MERMET : PARCOURS

**Jean-Pascal Mermet est ingénieur de Polytech Lille (1993) et titulaire d'un Executive MBA de l'ESSEC (École Supérieure des Sciences Économiques et Commerciales) de Cergy-Pontoise (2003).**

**Après une année de coopération sur le chantier du métro d'Athènes pour Campenon Bernard-Sogea (groupe Vinci), il intervient sur celui du métro de Lille pour l'entreprise Razel-Bec (groupe Fayat) avant de rejoindre le bureau d'études Terrasol entre 1996 et 1998 puis Apageo-Segelm (fabricant français de machines de forage, foreuse et prestataire de services pour la géotechnique, carottage, étude de sol, tubage) entre 1998 et 2000, dont il développe le réseau en Europe.**

**Jean-Pascal Mermet rejoint en 2000 Bidim® Geosynthetics (devenu TenCate Geosynthetics en 2006) et y occupe plusieurs postes de responsabilité en Europe avant d'être nommé directeur général de TenCate Geosynthetics France depuis janvier 2008 et Directeur commercial et marketing EMEA depuis 2012.**

**À la suite de la nomination de Jean-Pascal Mermet à la présidence de TenCate AquaVia depuis le 6 novembre 2019, Marc Krauth lui succédera en tant que Directeur général France et continuera d'exercer sa fonction de Directeur général Europe de TenCate Geosynthetics.**



*rendues favorables vont là-encore générer le développement de cet écosystème oléo-dépolluant dans la couche blanche.* »

Soulignons que TenCate GeoClean® offre une forte capacité de rétention des hydrocarbures (> 99%), même en cas de pluies centennales (65 mm/h). Il est en effet doté d'une très grande perméabilité, laissant s'infiltrer des volumes d'eau importants, et présente ainsi un autre avantage, en termes de "sécurité".

À titre d'exemple, la famille "Origin" peut dégrader potentiellement jusqu'à 100 g d'huile/m<sup>2</sup>/an après quelques mois en conditions optimales. Cela correspond à environ 10 fois la quantité de pollution diffuse par hydrocarbures générés sur les parkings (10 g/m<sup>2</sup>/an).

## TROIS PRODUITS

La gamme TenCate GeoClean® se décline en trois produits en fonction du risque et de l'environnement des différents projets (les apports pour un parking, une autoroute ou un aéroport sont différents) : TenCate GeoClean® Origin, TenCate GeoClean® Crystal et TenCate GeoClean® Pure.

« *Aujourd'hui, précise Jean-Pascal Mermet, il s'avère crucial de préserver les ressources naturelles et de construire un monde durable. Il s'agit donc de protéger la qualité des ressources en eau, en concevant des infrastructures privilégiant l'infiltration locale des eaux de pluie de bonne qualité pour ainsi recharger les nappes phréatiques sans polluer les sols et éviter de recourir à des systèmes de collecte et de traitement coûteux, souvent saturés du fait de l'occurrence d'événements pluvieux de plus en plus intenses.* »

Aussi cet aquatextile TenCate GeoClean® s'installe-t-il facilement dans les zones d'infiltration de l'eau pluviale, comme sous les chaussées perméables, dans les fossés périphériques aux surfaces imperméables circulées, dans les noues, les tranchées ou les bassins d'infiltration, et aussi dans les puits d'infiltration. Il se révèle "la" solution dans les structures où l'eau s'infiltrait. Depuis son lancement, plusieurs acteurs convaincus ont opté pour cette solution.

**À Bruay-sur-l'Escaut (59)**, il s'agissait d'infiltrer directement les eaux pluviales pour désengorger le réseau d'assainissement unitaire. Les capacités d'écoulement des réseaux d'assainissement unitaires (collectant eaux pluviales et eaux usées) peuvent arriver rapidement à saturation en cas d'intempéries.



Les collectivités n'ont pas toujours la possibilité technique ni les moyens financiers pour créer un réseau séparatif pluvial.

« Dans ce cas de figure, indique Jean-Pascal Mermet, un bassin de rétention et d'infiltration associé à l'aquatextile TenCate GeoClean® Origin offre une alternative ingénieuse et durable pour délester le réseau unitaire du débit d'eau pluviale produit par une surface de voirie et de toitures d'1 hectare.

C'est la solution choisie en juin 2019 par le Syndicat intercommunal d'assainissement de Valenciennes pour la commune de Bruay-sur-l'Escaut, dans le cadre de la réfection complète de la place et de la mairie ».

2 bassins de rétention et d'infiltration enterrés d'un volume total de 780 m<sup>3</sup> recueillent les eaux pluviales de toiture, les eaux de ruissellement des voiries et des parkings dans un corps en SAUL (Structures Alvéolaires Ultra Légères). TenCate GeoClean® est installé au fond et sur les parois de la structure afin de capter les hydrocarbures, permettant l'infiltration dans le sol perméable d'une eau ayant une teneur résiduelle en hydrocarbures inférieure à 2 mg/l, rendement plus efficace qu'une série de séparateurs à hydrocarbures de classe 1 selon la norme EN858-1 : 2002 (< 5 mg/l).

À Thouré-sur-Loire (44), le problème à résoudre concernait la dépollution à la source des eaux de ruissellement d'un parking imperméable.



4



5



6



7

4- Le chantier de Thouré-sur-Loire en aquatextile en GeoClean®.

5- L'un des chantiers en Geoclean® aux Pays-Bas, à Deventer.

6- Les épis en Geotube® de la plage de Gouville-sur-Mer.

7- Un cordon dunaire en Geotube® en bordure de mer.

8- Le mur de soutènement de la RN20 entre Foix et Tarascon-sur-Ariège.

9- Le buton de soutien en TenCate Rock® TEC au pied du château de Saumur.



8



9

© TENCATE GEOSYNTHETICS

© TENCATE GEOSYNTHETICS

© TENCATE GEOSYNTHETICS

BCF Groupe Architecte a opté pour TenCate GeoClean® Origin en avril 2019 afin de recueillir les eaux de ruissellement souillées par les fuites d'huile de moteur, de graisse, ou de circuits hydrauliques sous la surface imperméable du parking de 120 places dans une zone commerciale de Thouaré-sur-Loire. Installation facile et rapide, solution écologique et économique ont été les critères de choix de cette solution. « Une aide au dimensionnement est aussi proposée afin de définir l'aquatextile le mieux adapté au projet, indique Jean-Pascal Mermet. Ainsi, à Carquefou (44), pour une application similaire à celle de Thouaré, la zone soumise à un trafic plus intense nécessitait la mise en œuvre de TenCate GeoClean® Crystal ».

**Aux Pays-Bas**, l'objectif était d'infiltrer directement au travers de chaussées perméables, revêtues de pavés, de dalles engazonnées, de gravier, de béton poreux ou de structures alvéolaires rigides. C'est la solution souvent privilégiée aux Pays-Bas. Ceci permet de contenir le risque d'inondation par rapport aux surfaces imperméabilisées, tout en dépolluant l'eau avant infiltration. « Pour cette raison, précise Jean-Pascal Mermet, à Deventer ou à Meerstad, les entreprises de travaux publics ont fait le choix de TenCate GeoClean® Origin comme solution de dépollution des eaux, pour sa facilité d'installation sous la structure perméable, son efficacité épuratoire (teneur résiduelle en hydrocarbures dans l'eau < 2 mg/l) et sa capacité de rétention (99%) des hydrocarbures en cas de déversement accidentel, même sous de fortes pluies, assurant une solution d'infiltration directe non polluante. »

## DES RÉALISATIONS QUI PARCOURENT LE TEMPS

Les réalisations d'ouvrages utilisant des géotextiles sont évidemment innombrables depuis leur lancement à la fin des années 60. Le choix de quelques-unes d'entre elles, certaines récentes, d'autres déjà très anciennes, mettent bien en évidence leur actualité tout autant que leur pérennité en ce qui concerne deux gammes particulièrement bien adaptées aux Travaux Publics : TenCate Geotube® et TenCate Rock® PEC.

## TENCATE GEOTUBE® : LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT, DEPUIS DÉJÀ 50 ANS

TenCate Geotube® propose des solutions adaptées à chaque problématique

## DE BIDIM® À TENCATE GEOSYNTHETICS

**C'est en 1965 que l'usine Rhône-Poulenc de Lyon Vaise met au point un non tissé polyester en filaments continus aiguilletés sous le nom de "bidim®", pour "bidimensionnel" dont la marque fut déposée dans plus de 100 pays.**

**En 1969, un géotextile est utilisé pour la première fois sous remblai sur sol mou, à Caen, par les Ponts & Chaussées : c'est un bidim®.**

**En 1970, le premier filtre de barrage en terre, en géotextile bidim®, est mis en place à Valcros (France).**

**À partir de 1971, la production de bidim® est lancée à l'usine de Bezons. Cette année-là est également marquée par la réalisation du premier mur de soutènement en argile renforcée par un bidim® sur l'autoroute A15 (France).**

**Depuis 1982, la notoriété de bidim® est grandissante : il est utilisé sur de nombreux chantiers d'envergure à travers le monde et fait partie intégrante de nombreux projets de recherche.**

**En 1990, Bidim Geosynthetics S.A. est créée par une joint-venture entre Rhône-Poulenc et le groupe autrichien ÖMV.**

**En 1992, le groupe ÖMV rachète la totalité des parts de Rhône-Poulenc par l'intermédiaire de sa branche chimie représentée par PCD Polymère et sa filiale Polyfelt.**

**Sur le site de Bezons une nouvelle unité de production voit le jour : nouveau process et nouvelle matière première : le polypropylène.**

**En 1997, Bidim Geosynthetics S.A. devient filiale de Polyfelt après cession des activités de PCD Polymère. Le site de Bezons est certifié ISO 9001 pour ses activités de conception, fabrication et vente de géotextiles.**

**En 1998, Bidim Geosynthetics S.A. innove en lançant le 1<sup>er</sup> non tissé aiguilleté de filaments continus bicouleur et bicouche pour des applications de filtration : le bidim® F.**

**En 1998, Bidim Geosynthetics S.A. innove à nouveau en offrant non seulement des solutions pour le génie civil mais aussi pour le bâtiment en développant une gamme de petits rouleaux pour les négoce de matériaux de construction : bidim® Maison et Jardin est née, une gamme complète de non tissés pour séparer et drainer dans le jardin.**

**En 1999, le groupe Polyfelt ouvre une nouvelle usine à Kuala Lumpur en Malaisie.**

**En 2006, le groupe Polyfelt est racheté par Royal Ten Cate, élargissant ainsi son offre globale en intégrant la technologie des tissés de haute résistance et les systèmes TenCate Geotube® pour la protection du littoral ou l'assèchement des boues. Bidim Geosynthetics devient TenCate Geosynthetics France.**

**En 2013, TenCate est certifié ISO 14001 et en 2013 certifié OHSAS 18001 (sécurité) en 2016. Depuis le 26 septembre 2019, l'usine de Bezons a dépassé les 500 jours sans accident.**

**En 2016, le fonds d'investissements privés hollandais Gilde rachète le groupe Royal Ten Cate.**

**Le chiffre d'affaires de TenCate Geosynthetics a atteint 400 M € en 2017.**

**En 2020, la gamme couvre six segments de marché :**

- Séparation, filtration et protection des ouvrages de Génie Civil (TenCate Bidim® et Polyfelt®),
- Renforcement de sols en Génie Civil (TenCate Geolon®, Miragrid, Rock®),
- Réhabilitation des chaussées, (TenCate Bidim® et Polyfelt®),
- Eau et environnement (TenCate Geotube®),
- Maison et jardin (TenCate Bidim®),
- Agriculture (TenCate Toptex®).

**Trois unités de production permettent à TenCate Geosynthetics Europe de répondre rapidement aux demandes courantes ou spécifiques :**

- TenCate Geosynthetics Austria GmbH à Linz, en Autriche,
- TenCate Geosynthetics France SAS à Bezons, dans le Val d'Oise,
- TenCate Geosynthetics Netherlands b.v. à Hengelo, aux Pays-Bas.

environnementale, avec pour objectifs majeurs, la maîtrise de la puissance de l'eau et la protection du littoral.

Enterrées en bordure de côte pour créer des cordons dunaires, les solutions obtenues avec ce géosynthétique, très résistantes, préservent les plages de l'érosion en assurant le maintien du sable et du sol en place, notamment en cas de conditions météorologiques rudes et violentes.

La construction d'épis, réalisés en systèmes TenCate Geotube® s'avère une autre méthode simple, rapide et efficace. Sous forme d'extensions courtes et perpendiculaires à la côte, ces épis stoppent le glissement latéral du sable et favorisent la reformation des plages sans besoin d'entretien.

Grâce à sa grande flexibilité, le produit s'utilise aussi pour bâtir des jetées, notamment sur sol peu rocailleux. Les unités, remplies de sable prélevé localement, assurent une structure, conçue sur-mesure, stable et économique.

De même, son installation sur plusieurs kilomètres permet l'émergence d'îles artificielles, en créant des côtes durables qui, une fois remblayées, forment des terrains stables destinés à la construction d'infrastructures.

Enfin, citons son usage immergé, en brise-lames, comme le long de la plage du Lido de Sète sur plus de 2 km, ou encore dans la baie de Cannes où TenCate Geotube® atténue la force des vagues et affaiblit la houle, protégeant la plage de la Croisette exposée aux caprices de la Méditerranée.

Si les applications de cette technologie se révèlent nombreuses, ses atouts le sont tout autant. Ce système invisible et permanent (réversible si nécessaire), résistant à l'usure du temps et de l'eau grâce à sa structure unique, respecte l'environnement et favorise le développement de la faune et la flore. Par ailleurs, la grande facilité de mise en œuvre des unités TenCate Geotube® en fait l'allié des situations d'urgence, minimisant ainsi les dommages lors d'une tempête par exemple.

## GOUVILLE SUR MER : STOPPER L'ÉROSION

Gouville-sur-Mer, station balnéaire de la côte ouest du Cotentin dans le département de la Manche, connaît de longue date d'importants problèmes d'érosion le long de ses plages, s'avérant une réelle menace pour la sécurité des personnes (habitations et camping municipal longeant une des plages) ainsi que pour les activités touristiques et ostréicoles.





10

© TENCATE GEOSYNTHETICS

Afin de stopper le recul du trait de côte, la municipalité avait fait le choix, depuis une dizaine d'années, de protéger son cordon dunaire, avec des Big Bags de chantier, enveloppés dans des géotextiles non-tissés : une solution non pérenne qui l'obligeait régulièrement à se réapprovisionner en Big Bags. L'université de Caen a alors proposé de stabiliser la base du cordon dunaire par la construction d'un dispositif TenCate Geotube® : un épi en T d'une part et un rechargement en sable d'autre

part, avec pour objectif de rehausser le niveau de toute la plage de plus de deux mètres. L'idée c'est d'avoir une plage très haute et, pour maintenir cette plage très haute, les systèmes TenCate Geotube® en matériau composite vont piéger le sable, amortissant les vagues des tempêtes et contenant ainsi l'érosion. Entre novembre 2017 et avril 2018, près de 500 m de tubes en géosynthétiques de 3,25 m de diamètre et 2 m de hauteur ont ainsi été mis en

**10- Le bassin de rétention de Saint-Pierre-le-Vieux.**

**11- Réfection d'une chaussée autoroutière en Bidim® PGM anti-fissuration.**

**12- Renforcement sur cavités pour la LGV Est avec un TenCate Geolon® haute résistance.**

œuvre en contre-bas des dunes, posés sur un tapis anti-affouillement. Notons que leur couleur sable s'intègre parfaitement à l'environnement naturel tandis que la grande résistance aux UV du système et de ses jointures assure une esthétique pérenne.

Quant à l'arête positionnée transversalement au trait de côte, elle mesure 75 m de long pour 4 m de large et 2 m de haut, soit une emprise au sol d'environ 300 m<sup>2</sup>.



11



12

© TENCATE GEOSYNTHETICS



Les résultats s'avèrent déjà probants : en 6 mois, le niveau de la plage au contact du trait de côte a pu être remonté de près de 2,4 m, malgré un contexte défavorable de tempêtes en phase de chantier et juste après. En termes de volume, le gain de sable se montre également important, atteignant une progression de 72,6 m<sup>3</sup>/ml.

#### EN CORSE AUSSI...

Afin de lutter contre l'érosion de sa plage, qui menaçait à terme son exploitation, l'hôtel San Lucianu, sur la Costa Verde, à 25 km au sud de Bastia, a

opté en 2010 pour un dispositif TenCate Geotube® : 5 épis de 30 m de long et 2 m de haut ont ainsi permis de "ré-engraisser" naturellement la plage. Au regard de cette expérience positive et pérenne, c'est à son tour la ville de San Nicolao, où est situé l'hôtel, également impactée par le recul de ses plages, qui a décidé de construire 5 épis de la même taille.

#### TENCATE ROCK® PEC : UNE LONGÉVITÉ SANS FAILLE

Les géosynthétiques TenCate Rock® PEC revendiquent une efficacité et

une praticité réputées depuis plus de 25 ans. Associant un matériau non-tissé de filaments continus en polypropylène et un réseau de câbles en polyester, ils conjuguent résistance optimale en traction et propriétés hydrauliques pour le renforcement d'ouvrages avec tout type de sol et en particulier pour les sols fins et humides.

De leur première utilisation marquante en 1993 pour la construction d'un mur de soutènement de la RN20 aux dimensions exceptionnelles, à la réfection d'une rampe d'accès au pont du Pecq en 2016, en passant par la

sécurisation des remparts du château de Saumur, ils illustrent la maîtrise de TenCate Geosynthetics dans le développement de solutions expertes, durables et économiques.

#### LA RN20, UN CHANTIER INITIAL EXCEPTIONNEL

Plus de 25 ans après sa construction, le mur de soutènement MS13 situé entre Foix et Tarascon-sur-Ariège sur la RN20 reste une référence dans le monde des ouvrages d'art. Avec ses 21 m de haut et 200 m de long, il demeure exceptionnel par ses dimensions. ▷



L'usine de Bezons assure la production de géotextiles non tissés de filament continu aiguilleté. C'est la première usine au monde avec cette technologie dans son secteur et sa capacité de production est de l'ordre du marché français total des géotextiles.

#### Quelles sont les caractéristiques des produits que l'on peut considérer comme favorables à l'environnement ?

Depuis la création du Bidim® dans les années 70, nous avons considérablement amélioré les performances des produits notamment au niveau de leur durabilité c'est-à-dire leur capacité à se tenir dans le temps avec leurs propriétés et leurs performances initiales.

Tous nos produits, et c'est une découverte récente pour ceux qui sont extérieurs à la profession, sont extrêmement favorables à l'environnement tout simplement parce qu'ils remplacent une partie des granulats nécessaires aux fonctions séparation, filtration et protection, par exemple lors de la construction des routes et dans la plupart des ouvrages de Génie Civil.

Cette fonction est importante au niveau de l'économie de granulats mais aussi de la production de CO<sub>2</sub>, engendrée par leur transport.

Une étude économique de l'EAGM a mis en évidence une réduction de la production de CO<sub>2</sub> de 70 à 90% sur le cycle de vie complet d'un produit (Life Assessment)<sup>(3)</sup> - en comparant une solution avec géosynthétique et une solution sans.

#### En ce qui concerne TenCate Geoclean® proprement dit ?

Cet aquatextile traite la qualité de l'eau qui s'infiltre dans le sol. Il constitue une solution de gestion de la qualité de l'eau des plus économiques, respectueuse de la nature, et s'installe donc à proximité des sources de pollution, sous la couche de roulement perméable ou sur les bas-côtés des surfaces circulées pour, dès sa mise en place et en toutes circonstances, épurer l'eau localement, de manière autonome, continue et sans aucun entretien. L'eau ainsi dépolluée est restituée naturellement dans les réseaux souterrains. Une autre de ses fonctions, que j'évoque par ailleurs, est qu'il amplifie et accélère la biodégradation.

L'accueil très favorable du marché ayant conforté notre vision initiale sur les valeurs ajoutées apportées par cet aquatextile, Wally Moore, CEO du Groupe TenCate Geosynthetics vient d'annoncer la création d'une nouvelle société TenCate AquaVia, spécialement pour assurer la promotion des solutions "aquatextile" et notamment de la marque GeoClean®. Il s'agira d'une société française, filiale de TenCate Geosynthetics France, qui se focalisera sur le marché de la gestion de l'eau, dont je serai le président.

### 3 QUESTIONS À JEAN-PASCAL MERMET

#### En quelques mots, que dire de l'évolution et de la position de TenCate Geosynthetics sur son marché ?

Au cours de toutes ces années, nous avons participé, depuis la France et en Europe, au développement de ces produits, à leur normalisation. Nous sommes partie prenante des associations professionnelles en France et en Europe. En France, Patrick Favand, directeur commercial de TenCate Geosynthetics Région Europe Sud-Ouest et Afrique, est président de l'AFPGA<sup>(1)</sup> et je suis moi-même président de l'EAGM<sup>(2)</sup>, son équivalente européenne. L'EAGM regroupe actuellement 20 producteurs. Elle a pour objectif de promouvoir la qualité des géosynthétiques en Europe.

TenCate Geosynthetics est leader en France, en Europe et dans le monde sur le marché des géotextiles.

Toutes les gammes TenCate ont vu le jour progressivement au cours des années et ont connu des évolutions régulières tant en termes de performances que de service.

Nous nous sommes concentrés sur un nombre restreint de familles avec des équipes qui travaillent spécifiquement sur chacune d'elles avec une organisation commerciale et marketing affectée à chacune d'elles, sur des secteurs géographiques et des domaines d'applications précis pour apporter le meilleur mix produit/service aux utilisateurs.

En Europe, la distribution est assurée par des réseaux professionnels qui comprennent, en France par exemple, plus de 1 500 points de vente locaux, régionaux et nationaux ce qui nous confère une très grande proximité vis-à-vis de nos clients.

1- AFPGA : Association Française des Producteurs de Géotextiles.

2- EAGM : European Association of Geosynthetic product Manufacturers.

3- Life Cycle Assessment : l'analyse du cycle de vie est un outil permettant d'évaluer les impacts environnementaux et les ressources utilisées tout au long du cycle de vie d'un produit, c'est-à-dire de l'acquisition des matières premières, en passant par les phases de production et d'utilisation, à la gestion des déchets.





13

© TENCATE GEOSYNTHETICS

Il l'est également par la technologie employée alors : un remblai de terre renforcé par des géotextiles. Ce mur s'avère en effet construit en 3 sections de 7 m, par couches de 40 cm d'épaisseur de terre renforcée via des nappes TenCate Rock® PEC. Utilisant une approche de dimensionnement inédite et les performances des produits TenCate Geosynthetics (résistance à la traction et à la déformation, forte porosité pour drainer les sols, stabilité de la liaison sol/géotextile), le MS13 a pu être construit avec un matériau affichant une résistance à la traction de seulement 400 kN/m au bas de l'ouvrage.

Équipé de capteurs dès sa construction, le MS13 manifeste ainsi une stabilité remarquable : 25 ans après son érection, déformation et déplacement sont inférieurs à 2%, même à la base du mur.

#### LES REMPARTS DU CHÂTEAU DE SAUMUR

La gamme TenCate Rock® PEC a rapidement été la solution adoptée en urgence lorsqu'il a fallu sécuriser le rempart Nord du château de Saumur, effondré le 22 avril 2001.

Cette nuit-là, la falaise de 20 m de haut qui soutient le rempart cède et entraîne avec elle une portion de 45 m

de long. Une sécurisation au plus vite du château s'avère nécessaire pour empêcher un glissement global. Il faut également stabiliser la zone effondrée en attendant sa réfection. 10 000 m<sup>3</sup> de remblai, armé tous les 50 cm de nappes de la gamme TenCate Rock® PEC, sur des longueurs de 5 à 14 m vont créer un "buton"

**13- Renforcement sur cavités sur le quai d'embarquement des Bateaux-Mouche à Paris.**

**14- Un centre de stockage de déchets à Septèmes-Vallons (13).**

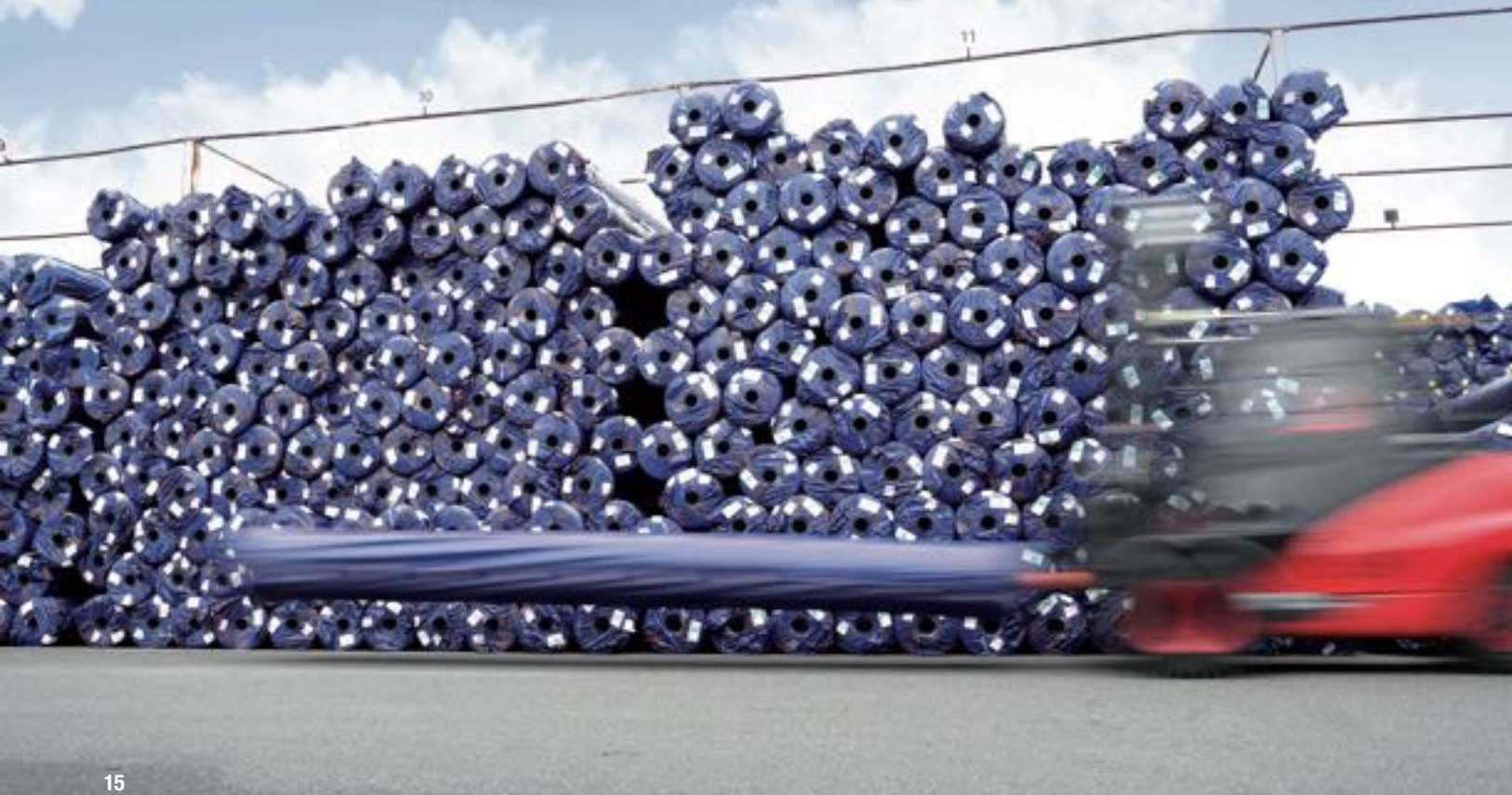
de soutien. Dressé avec une pente de 70° à 75°, ce buton se voit aménagé de 170 m de rampes d'accès et d'une plate-forme de travail qui permettront ensuite de mener la reconstruction du rempart. La rapidité de mise en œuvre d'une solution de maintien résistante et durable s'est avérée l'atout maître de la sauvegarde du château.



14

© TENCATE GEOSYNTHETICS





15

© TENCATE GEOSYNTHETICS

### LA RAMPE D'ACCÈS AU PONT DU PECQ

Quand en 2014 une rampe d'accès au pont du Pecq à l'ouest de Paris s'affaisse, et que des fissures apparaissent sur son mur de soutènement, les défis à sa rénovation vont se multiplier. C'est la fuite d'eau d'une canalisation qui a provoqué le tassement du sol sous la rampe de 100 m de long et 4,5 m au plus haut. L'analyse du sol révèle que le risque de tassement demeure élevé car le remblai - sensible à l'eau - est de mauvaise qualité. De plus, le mur de soutènement en béton se trouve fragilisé et ne peut plus supporter la pression horizontale du remblai, induisant donc son remplacement. Or, parce que le pont du Pecq est un axe routier stratégique (43 000 véhicules/jour) la

**15- Stock logistique dans l'usine de Bezons.**

**16- Le site de production de Bezons au début des années 60.**

**17- Le site de Bezons en 2017.**

durée de la rénovation se doit d'être la plus courte possible. Le déploiement de TenCate Rock® PEC, renforçant le matériau de remblai et supprimant la pression sur le mur de soutènement, va résoudre toutes ces problématiques en livrant un chantier rapide, économe et à l'impact limité sur l'environnement. Tout d'abord, cette solution "souple" absorbe facilement

les tassements. Ensuite, les qualités drainantes des nappes de TenCate Rock® PEC (positionnées entre chaque couche de remblai de 50 cm sur près de 12 m de large), contrôlent la teneur en eau du sol. Ainsi, malgré leur qualité médiocre, les terres de l'ancien remblai seront réutilisées, réduisant la durée, le coût et l'impact environnemental du chantier. Enfin, l'ancien mur de soutènement est libéré de toute pression horizontale (les nappes enserrant le remblai le maintiennent à 50 cm du mur). Celui-ci reste donc en place et se transforme en simple élément de parement. Tous ces éléments associés à la grande facilité de mise en œuvre des nappes de TenCate Rock® PEC permettront de boucler la rénovation du remblai en un mois et font de la

rénovation de cette rampe d'accès au pont du Pecq un chantier de référence. « *TenCate Geosynthetics porte la préservation des ressources naturelles au cœur de ses attentions afin de développer des solutions en vue de construire un monde durable*, conclut Jean-Pascal Mermet. »

Le marché des géotextiles en France croît et l'entreprise a toujours innové en améliorant sans cesse ses produits non tissés aiguilletés de filaments continus.

La vision du fabricant pour l'avenir est inchangée : demeurer le premier fournisseur mondial de produits et solutions géosynthétiques qui améliorent les infrastructures du monde entier et respectent l'environnement tout en préservant les ressources naturelles. □



© TENCATE GEOSYNTHETICS

16



17



# L'IREX : 30 ANS D'INNOVATION POUR LES TP ET LE GÉNIE CIVIL

AUTEUR : CLAUDE ROSPARS, DIRECTRICE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, IREX  
(INSTITUT POUR LA RECHERCHE APPLIQUÉE ET L'EXPÉRIMENTATION EN GÉNIE CIVIL)

EN FÉDÉRANT DEPUIS 30 ANS TOUS LES ACTEURS DE LA FILIÈRE DES TP ET DU GÉNIE CIVIL AUTOUR DES GRANDS ENJEUX DE LA RECHERCHE, L'IREX EST UN VECTEUR POUR LE TRANSFERT DE L'INNOVATION DU MONDE ACADÉMIQUE VERS LA PROFESSION. DES EXEMPLES DE PROJETS INNOVANTS SONT PRÉSENTÉS POUR MIEUX ILLUSTRER LA CAPACITÉ DE L'INNOVATION À RÉPONDRE AUX ENJEUX TECHNOLOGIQUES, ÉCOLOGIQUES ET NUMÉRIQUES ET À PRODUIRE DE LA CROISSANCE POUR TOUS LES MÉTIERS : CONSTRUCTION, BÂTIMENTS, AMÉNAGEMENT, INFRASTRUCTURES ET OUVRAGES D'ART.

## UN PEU D'HISTOIRE ET DE CONTEXTE...

L'IREX, Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en Génie Civil est une association loi 1901, fondée en 1989, pour développer la recherche collaborative multi-partenaire et soutenir l'innovation. Cette association regroupe les acteurs importants du secteur qu'ils s'agissent d'entreprises de construction, de sociétés d'ingénierie, de bureaux de contrôle, d'industriels producteurs de matériaux de construction ou de chaussées de maîtres d'ouvrages, comme l'État ou certaines collectivités territoriales, de laboratoires universitaires, d'organismes de recherche et d'expertises comme le Cerema, ou de syndicats professionnels. L'association s'appuie sur le dispositif des "Projets Nationaux". Sous l'égide du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, un comité d'orientation (regroupant des représentants du Ministère, de l'Anr (Agence Nationale de la Recherche), de l'Ademe, de représentants des entreprises, des maîtres d'ouvrages publics et privés, des universités et de la Fnpt)



1  
© ADOBE STOCK

labellise les projets de recherches ce qui leur donnent le statut de projet national, augmentant ainsi leur visibilité et légitimant les experts impliqués dans ces projets.

En apportant un corpus de connaissances techniques à partir de recherches académiques et par des chantiers expérimentaux, les projets nationaux

pilotent la rédaction de guides ou de recommandations qui diffuseront le savoir et serviront de base à une doctrine technique. Dans certains thèmes où une recherche fondamentale doit être mobilisée, l'Anr et/ou l'Ademe, viennent compléter ce dispositif à travers un projet plus académique qui bénéficie d'un financement complémentaire.

## QUELLES RÉPONSES L'INNOVATION PEUT APPORTER AUX ENJEUX ÉCOLOGIQUES, ÉCONOMIQUES ET NUMÉRIQUES ?

Aucune autre filière n'a autant d'enjeux à relever que celle du génie civil et des TP aujourd'hui. Comme l'a rappelé Xavier Neuschwander, Président de la commission Technique et Innovation de la Fnpt lors de la journée des innovations des TP du 27 novembre dernier, ses contraintes sont de plus en plus nombreuses : écologiques du fait du changement climatique, économiques car les fonds publics sont restreints, contraintes de sûreté des infrastructures et de sécurité pour ses travailleurs, contraintes de ressources

**1- Produits de déconstruction chantier.**

**1- Worksite deconstruction products.**





© PN-RECYBETON  
2

3

humaines car l'intégration des nouvelles générations impose de repenser l'organisation du travail. Poids lourd de l'économie, le secteur doit évoluer constamment pour concevoir, dimensionner, construire, entretenir les édifices et les infrastructures en apportant des réponses aux enjeux écologiques, aux préoccupations sociétales et en intégrant la transition digitale. Face à ces nombreux challenges, les innovations sont une nécessité et une chance de relever ces défis tout en créant de la croissance. Le recours à l'innovation sur chantiers expérimentaux est d'autant plus utile que les projets sont reconnus et suivis par des

organismes publics tels que le Cerema ou l'Ifsttar, ce qui est le cas dans la plupart des projets. Dans les travaux publics, les taux de marge ne sont pas énormes et investir dans l'innovation doit s'accompagner d'un indispensable partage du risque. Cela demande de la confiance entre acteurs, des échanges ouverts et un retour d'expérience partagé dans la rédaction commune de bonnes pratiques, de recommandations ou de guides qui vont en même temps rassurer les maîtres d'ouvrage privés et publics. L'Irex propose ce cadre et créé les conditions de cette confiance. Les perspectives d'évolution du bâtiment en 2019 sont d'ailleurs encou-

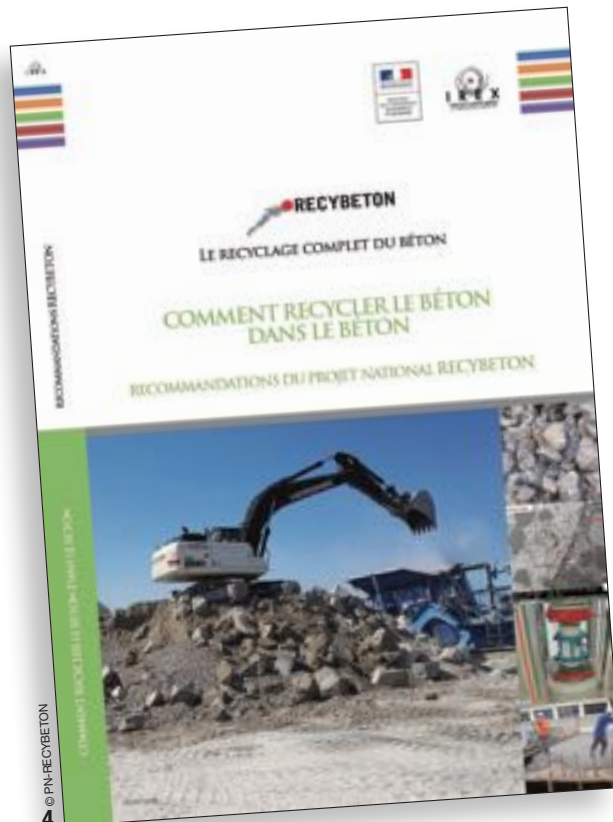
rageantes : le secteur génère pas loin de 30000 créations de postes supplémentaires par an depuis 2 ans. Cette croissance s'expliquerait en partie par les nouveaux projets d'équipements au service des collectivités territoriales. Les usagers souhaitent des projets plus fonctionnels, adaptables plus facilement aux nouvelles mobilité (on parle d'efficience), plus résilients (face aux risques et au changement climatique) et plus durables, frugaux en entretien et qui s'accompagnent de solutions connectées et intelligentes, donc de services. L'innovation produite par les projets nationaux en cours répond à ces enjeux.

**L'INNOVATION POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, UNE ÉCONOMIE SOBRE EN CARBONE**

La feuille de route de l'Europe pour une économie sobre en carbone à l'horizon 2050 propose des scénarii et orientations pour atteindre l'objectif fixé par l'Union Européenne de réduire drastiquement les gaz à effet de serre (GES) d'ici 2050 et limiter le réchauffement global à 2°C. S'ajoute la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), avec une trajectoire de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> qui doit s'inscrire en cohérence avec les objectifs de long terme de l'UE. Le secteur du bâtiment et de la construction est particulièrement concerné, non seulement par ses émissions de CO<sub>2</sub> (notamment celui imputé au ciment Portland), mais aussi par la raréfaction de certaines ressources (granulats, ciment, matières premières). Dès 2020, la réglementation mesurera l'empreinte carbone des constructions. Promoteurs, architectes et constructeurs réfléchissent sur leurs projets pour évaluer le plus justement possible cette empreinte carbone et rechercher des solutions innovantes pour en limiter l'impact. Il est urgent de se saisir de ces questions et de penser différemment les bilans écologiques. Un exemple de projet particulièrement emblématique sur ce sujet est le projet national FastCarb (voir article dans ce numéro) qui a pour but de stocker du CO<sub>2</sub> dans les granulats de béton recyclés (GBR). Il répond ainsi à deux enjeux. D'une part, optimiser le ré-usage des granulats de béton issus de la déconstruction de bâtiments en remplacement de granulats naturels, d'autre part, de développer un processus de stockage accéléré de CO<sub>2</sub> (issus des rejets de la filière de fabrication du ciment Portland par exemple). ▷

- 2- Granulats de béton recyclés après concassage (Chantier de Chaponost).
- 3- Béton "recyclés" - Coulage de dalle à Chaponost, chantier expérimental.
- 4- Recommandations du PN RECYBETON.

- 2- Concrete aggregates recycled after crushing (Chaponost project).
- 3- "Recycled" concrete - Pouring a slab at Chaponost, experimental project.
- 4- Recommendations of RECYBETON National Project.



© PN-RECYBETON  
4



Ce projet mobilise un travail académique important pour comprendre le processus de carbonatation accéléré, pour montrer sa pertinence pour améliorer la qualité des GBR et mettre au point le processus à l'échelle industrielle. Il mesure également l'impact CO<sub>2</sub> du béton de structure ainsi constitué (figure 1) : <https://fastcarb.fr>.

Plusieurs projets nationaux en cours posent la question du recyclage à l'échelle du chantier : la récupération des produits issus de la déconstruction (figure 2) et leur réutilisation dans les nouveaux projets (figure 3). Le bon sens oriente sur des solutions de réutilisation sur place pour limiter le transport tout en s'assurant de la pertinence technique. On peut citer le projet national RECYBETON (2012-2018) : comment faire du béton avec des granulats de béton recyclés ? Pour fournir les fondements scientifiques et techniques, définir les procédures permettant de réutiliser des granulats issus du concassage de béton de démolition, un consortium associant des maîtres d'ouvrage, des entreprises de construction, des producteurs de matériaux, des ingénieries, des assureurs et des chercheurs s'est constitué. Ce projet a bénéficié du soutien de l'Agence nationale de la recherche avec le projet ANR EOCOREB (Éco-construction par le recyclage du béton). Au-delà des 40 rapports de recherches qui ont constitué les livrables du projet,



5

© PN-MURE

le projet national RECYBETON a donné lieu à 5 chantiers expérimentaux. Il a ainsi répondu à une grande partie des interrogations initiales, notamment sur les propriétés du béton recyclé, qu'il s'agisse du jeune âge, de l'état durci ainsi que l'optimisation de sa formulation, et a prouvé la pertinence des solutions à taux de substitution élevé. Ces chantiers expérimentaux, suivis par le Cerema, dont le retour d'expérience a été publié, ont ainsi permis d'apporter

**5- Chantier MURE, boulevard Bineau, Neuilly-sur-Seine.**

**6- PN MINnD - Maquette L2 Nord de Marseille.**

**5- MURE project, boulevard Bineau, Neuilly-sur-Seine.**

**6- MINnD National Project - L2 mock-up, northern Marseille.**

des spécifications techniques, économiques et environnementales (figure 4) : <https://www.pnrecybeton.fr/rapports/recommandations-recybeton/>.

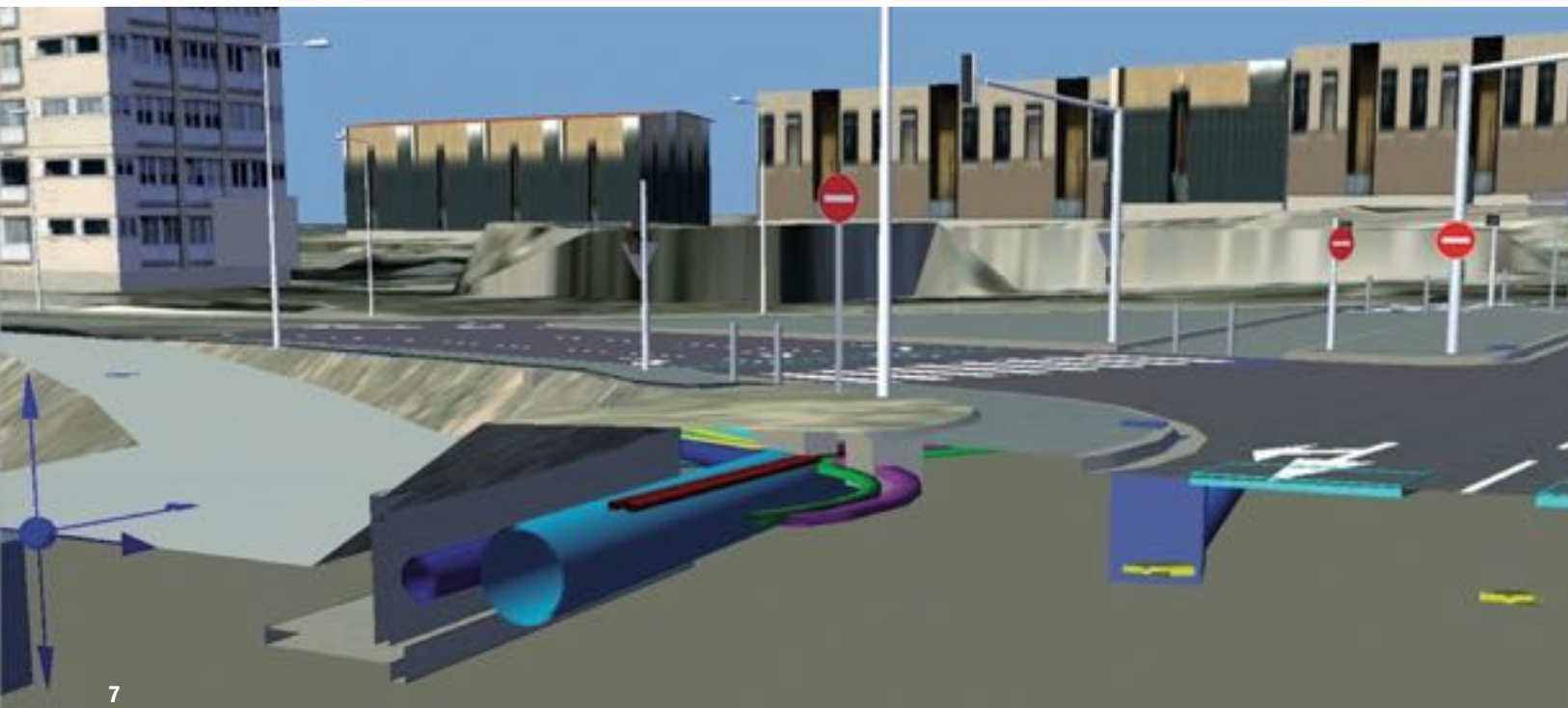
L'innovation pour les infrastructures routières durables, c'est aussi une route faite à base d'enrobés bitumineux recyclés (figure 5). Combien de fois peut-on recycler un enrobé bitumineux ? Quid du multi-recyclage ? Recycler à chaud ou recycler à tiède, quelles similitudes



6

© BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS





7

© BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

et quelles différences ? Avec 34 partenaires, le projet national MURE a reçu l'appui des clusters INDURA (Région Auvergne-Rhône-Alpes) et du cluster ODEYS (Région Nouvelle-Aquitaine) et le soutien de l'ANR avec le projet ImprovMURE adossé au projet national. Là encore, au-delà de la recherche académique, des chantiers expérimentaux servent de preuve de concept. On peut citer en exemple le chantier de la RD908 à Neuilly-sur-Seine réalisé par le Département des Hauts-de-Seine. En août 2018 une couche de roulement représentant 520 t d'enrobés sur une section deux fois deux voies du boulevard Bineau de 580 m de long environ a été réalisée. Trois planches avec des caractéristiques techniques différentes ont été réalisées pour évaluer les solutions qui seront suivies par le Cerema. Ce chantier incluant une solution innovante a pu être réalisé grâce au support technique et scientifique du projet national MURE : <https://www.pnmure.fr/leconomie-circulaire-dans-le-cas-des-enrobés-bitumineux-comment-gagner-la-confiance-de-toutes-les-parties-prenantes/>.

#### UN ENJEU INQUIÉTANT : LA TRANSITION DIGITALE SUR LES PRATIQUES DES TP

Les entreprises doivent se saisir pleinement des possibilités des technologies digitales ou numériques pour adapter leurs produits et leurs services de la

**7- St-Jérôme, détail des réseaux le long du bassin Mérimée : BIM montrant l'adduction d'eau potable et les réseaux de surface.**

**7- St-Jérôme, detail of networks along the Mérimée basin: BIM showing the potable water supply and surface utilities.**

conception jusqu'à l'exploitation et la maintenance. Si, pour le bâtiment, l'évolution est assez bien engagée, les atouts du numérique pour les infrastructures restent à déployer. Dans les grands enjeux de la transition numérique le BIM (Building Information Modelling) dédié aux infrastructures est un sujet majeur. La revue *Travaux* avait d'ailleurs édité un Spécial BIM dès 2015 et récidivait pour ses 100 ans en 2017 (cf. Spécial BIM 2, n°934 juillet/août 2017). On y montrait, à propos de chantiers d'exception, tout l'apport des maquettes numériques pour assurer la cohérence lors de la conception et de l'optimisation des phases de construction. Les possibilités offertes par une

revue de conception effectuée à partir d'une maquette numérique était déjà démontrée et les gains attendus d'efficacité se réalisent aujourd'hui dans la plupart des projets dits "full BIM".

L'Irex a accompagné dès le début le projet national MINnD (Modélisation d'Infrastructures INteropérables pour les Infrastructures Durables) qui se poursuit avec MINnD Saison 2 (2018-2021). Ce projet de recherche a affiché un programme ambitieux basé sur des expérimentations, des mises en perspectives technologiques et procédurales ainsi que des réflexions sur les aspects contractuels. L'enjeu majeur est de garantir un transfert des savoirs et des outils métiers dans les maquettes numériques en proposant un format de structuration des données, libres et interopérables. Le Projet National MINnD représente plus de 60 partenaires et près de 375 ingénieurs et chercheurs directement impliqués sur une tâche du projet. À travers des cas d'usage (ponts, routes, rail, tunnel, terrassement) la structuration des objets par une classification et une hiérarchisation de l'information est pensée. Une fois la donnée constituée, elle est rattachée à un modèle d'information évolutif qui restera accessible à tous les acteurs. Le projet National MINnD est un projet unique de collaboration en France et sa structuration donne une avance aux entreprises françaises face à la normalisation des IFC au niveau international.

Les enjeux actuels de la recherche produite concernent la cohérence des interfaces entre les différents cas d'usage des infrastructures (figures 6 et 7), soit la cohérence entre le terrassement et la construction d'une infrastructure linéaire, ou la cohérence entre IFC (Industry Foundation Classes) : IFC rail et IFC tunnel par exemple. On identifie également la conservation des données utiles à l'exploitation - maintenance comme un enjeu. On sépare ainsi l'objet tel que conçu de celui tel que construit et on parle de "Jumeaux Numériques". Le Processus de collaboration, lien entre OpenBIM (processus générant des formats neutres d'échange)/Open data/IFC est en cours de construction.

Le chantier 5.0 n'est pas de la science-fiction, il s'impose. Il donne au secteur de nouvelles perspectives qui changent son image et attirent de jeunes ingénieurs plus *geeks* que constructeurs, mais ce sont des bâtisseurs d'un nouveau genre qui sont profondément ancrés dans cette société numérique. Cependant, si les techniques évoluent, elles doivent entraîner à leur suite la formation des acteurs et des entreprises. Les écoles d'ingénieurs forment depuis peu les BIM Managers et BIM Coordinateurs indispensables pour mener à bien ces projets. Cette évolution doit irriguer aussi les PME et les TPE qui restent majoritaires dans la filière ce qui impose un effort à fournir dans la formation continue et initiale. ▷



À travers le projet MINnD, la diffusion des savoirs est faite par le soutien à des séminaires et le support d'EduBIM, journées nationales d'enseignement et de recherche sur la maquette numérique, qui s'adressent au milieu universitaire mais aussi à la profession. La 6<sup>e</sup> manifestation sera co-organisée avec l'Association Française de Génie Civil et aura lieu les 6 et 7 mai 2020 à l'Isabtp (Anglet) :

<https://edubim2020.sciencesconf.org>.

### ET DEMAIN ?

La filière doit notamment répondre au challenge de l'entretien des infrastructures vieillissantes, au besoin de durabilité et de résilience dans un contexte budgétaire de plus en plus contraint. Le développement de solutions de capteurs à bas coûts ouvre la voie à des solutions de SHM (Structural Health Monitoring) qui permettent de contrôler la réponse de l'infrastructure, d'en vérifier les charges (poids lourds sur des ponts par exemple) ou de suivre certains indicateurs caractéristiques de son fonctionnement normal. Il reste à définir ce que sont les bons indicateurs et à avoir une vision à peu près claire sur les possibilités de mesures, leurs incertitudes et les diagnostics associés. La diversité des moyens apportant de la donnée, capteurs mais aussi drones, satellites, usagers, permet de développer des solutions intelligentes complètement adaptées à l'infrastructure à surveiller. Le projet national MINnD prépare l'intégration des informations acquises au cours du temps dans les jumeaux numériques pour l'exploitation/maintenance. Pour de grandes masses de données, des processus de traitement utilisant l'IA (intelligence artificielle) ouvre la voie à la gestion intelligente et la maintenance prédictive. Au-delà du BIM de l'infrastructure s'ouvre le monde du CIM (City Innovation Modelling) qui permet la "collaboration" entre les bâtiments et le tissu urbain. De plus en plus de gestionnaires de données l'ont bien compris et se positionnent sur le secteur de la Smart City (Ville intelligente) là où les entreprises des TP ont toute leur place et doivent pouvoir bénéficier de ce levier de croissance.

Pour accélérer l'appropriation de ces innovations et limiter le risque des investissements nécessaires, il faut accompagner ces mutations par un cadre technique et scientifique objectif. Par exemple, un Projet National sur le sujet de la surveillance et du monitoring



8a

© ATELIERS-MONIQUE-LABBE



8b

© ATELIERS-MONIQUE-LABBE

des grandes infrastructures permettrait de mieux cibler les indicateurs pertinents et de proposer des techniques de probabilités de vieillissement adaptées aux infrastructures. Ce sujet est d'ailleurs porté dans les feuilles de route que la commission européenne construit pour les projets de recherches qui émergeront au-delà de 2021. L'Irex peut représenter la filière française au sein de consortium européen et proposer un cadre de coopération.

Quand on parle de données, quelques soient les innovations basées sur le *big data* ou l'IoT (Internet of Things), elles doivent apporter des solutions concrètes et soutenables. La transformation digitale doit être écologique et environnementale ou elle ne se fera pas. Elle doit également produire des solutions apportant une croissance économique, en créant les conditions en France d'une avance technologique, sans décroissance écologique, donc

**8- PN Ville10D - Réutilisation de la tranchée ferroviaire Orly - projet.**

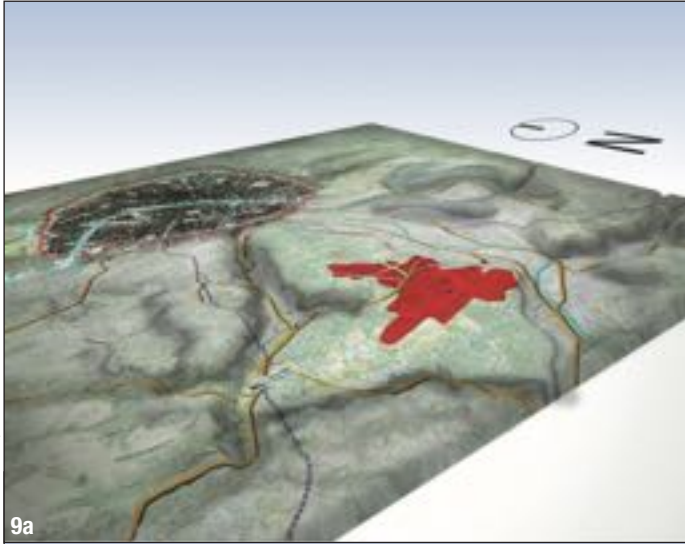
**8- Ville10D National Project - Re-use of the Orly railway trench - project.**

avec une empreinte carbone faible et sans consommation d'énergie supplémentaire !

Pour toutes ces innovations, le rôle des codes et des normes dans l'évaluation des solutions est fondamental, en France mais aussi à l'international. Ces normes et codes doivent évoluer pour mieux accompagner la filière dans sa performance environnementale. Elles sont aujourd'hui plus prescriptives que performancielles. Elles gagneraient à

évoluer sur la base d'indicateurs plus complexes, intégrant des critères de sobriété écologique, d'empreinte carbone, de frugalité dans les entretiens, d'impact sur la biodiversité, etc. Ces questions amènent à réfléchir sur les projets plus globalement, non plus à l'échelle d'une route ou d'une construction mais en élargissant le champ d'étude à celui du quartier ou du territoire. Le Projet National VILLE 10D explore cette approche globale en travaillant sur l'approche complète de la ville et de son sous-sol. Démarré en 2012, il était précurseur mais reprend aujourd'hui ses travaux et ouvrira peut-être de nouvelles perspectives (figure 8).

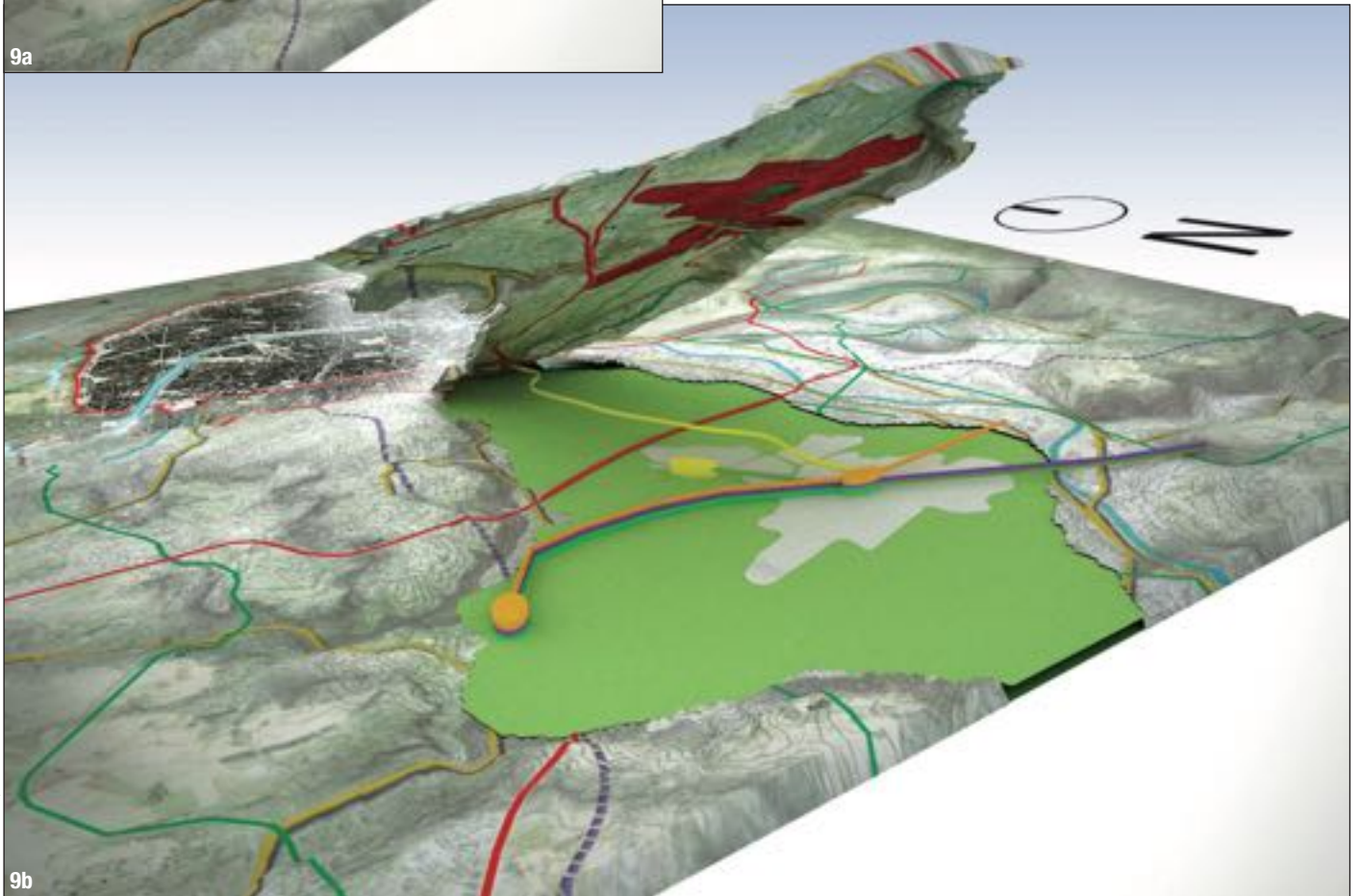
L'avenir pourrait aussi s'écrire en redécouvrant des matériaux locaux et des techniques ancestrales. Un engouement pour la terre crue dans l'habitat a porté le montage du PN TERRE qui débutera en 2020 (figure 9). Dans la même idée,



9- Ville 10D - sous le plateau d'Orly.

9- Ville 10D - under the Orly platform.

les ouvrages d'art en maçonnerie, qui sont si nombreux sur le territoire, interpellent par leur longévité. Un consortium composé d'entreprises privées, de maîtres d'ouvrage privés et publics et de gestionnaires travaille à établir l'état de l'art et les verrous scientifiques pour construire une doctrine technique adaptée à ces ouvrages et à leur entretien. L'innovation sera donc, dans les années proches, éco-responsable et numérique, mixte de solutions durables et résilientes optimisées à l'échelle d'un territoire, ou d'une Smart City. □



ABSTRACT

**IREX: 30 YEARS OF INNOVATION FOR PUBLIC WORKS AND CIVIL ENGINEERING**

CLAUDE ROSPARS, IREX

**The French Institute for Applied Research and Experimentation in Civil Engineering, Irex,** is developing collaborative research and supporting innovation through the system of National Projects. Representative of issues facing the sector, with academic research but also practical applications and experimental worksites, these research projects create breakthroughs in innovative processes, products and technologies. Ten national projects are under way, on the themes of "Innovative materials and processes", "Design optimisation", "Environmental impacts", and "Operation and maintenance", on which around 500 engineers and researchers were working in 2019. □

**IREX: 30 AÑOS DE INNOVACIÓN EN OBRA PÚBLICA E INGENIERÍA CIVIL**

CLAUDE ROSPARS, IREX

**El Instituto francés para la investigación aplicada y la experimentación en ingeniería civil (IREX)** desarrolla la investigación colaborativa y apoya la innovación gracias al dispositivo de los Proyectos Nacionales. Estos proyectos de investigación, representativos de los desafíos del sector, se basan en investigaciones académicas y en aplicaciones prácticas y obras experimentales para hacer emerger avances en los procedimientos, productos o tecnologías innovadoras. Existen diez proyectos nacionales en curso en 2019, en torno a las temáticas "Materiales y procedimientos innovadores", "Optimización del diseño", "Impactos medioambientales" y "Explotación y mantenimiento", que congregan a cerca de 500 ingenieros e investigadores. □







# JOINTS HYDROGONFLANTS POUR PAROIS MOULÉES

AUTEURS : JEAN-FRANÇOIS MOSSER, DIRECTEUR R&D, SOLETANCHE BACHY - STÉPHANE MONLEAU, DIRECTEUR COMMERCIAL, SOLETANCHE BACHY FRANCE

DEPUIS LES FAMEUX TUBES JOINTS UTILISÉS AUX ORIGINES DE LA PAROI MOULÉE ET APRÈS UNE PREMIÈRE ÉVOLUTION, IL Y MAINTENANT PLUSIEURS DÉCENNIES, AVEC LES JOINTS REMORDUS ET LES JOINTS WATER STOP, LES JOINTS DE PAROIS MOULÉES N'AVAIENT GUÈRE ÉVOLUÉ. C'EST MAINTENANT CHOSE FAITE AVEC LES JOINTS HYDROGONFLANTS DÉVELOPPÉS RÉCEMMENT PAR SOLETANCHE BACHY ET LAURÉATS DU PRIX "MATÉRIELS ET USAGES" LORS DES DERNIERS TROPHÉES DES TP.

## L'ÉTANCHÉITÉ DES PAROIS MOULÉES

Le principe de réalisation d'une paroi moulée est rappelé dans la figure 2 : la paroi est réalisée par une succession de panneaux primaires et secondaires (intercalés entre les primaires). La qualité des joints entre panneaux est un facteur primordial pour assurer l'étanchéité et la durabilité de l'ouvrage. Différents systèmes existent de nos jours :

- Tubes joints ;
- Joints remordus ;
- Joints Coffrage Water Stop.

**1- Levage de coffrage CWS.**  
**2- Principe de réalisation d'une paroi moulée.**

**1- Lifting CWS joint formwork.**  
**2- Diaphragm wall execution technique.**

## TUBES JOINTS

Le joint entre panneaux est réalisé au moyen d'un coffrage de forme circulaire. Ce coffrage, mis en place en extrémité de panneau, est extrait comme un coffrage glissant, avec un vérin, dès que le béton a atteint une rigidité suffisante (figure 3). On obtient ainsi une empreinte concave contre laquelle le panneau suivant sera excavé et bétonné (figure 4). Ce procédé présente généralement les inconvénients suivants :  
→ Absence de guidage effectif de l'outil d'excavation sur le panneau déjà réalisé ;

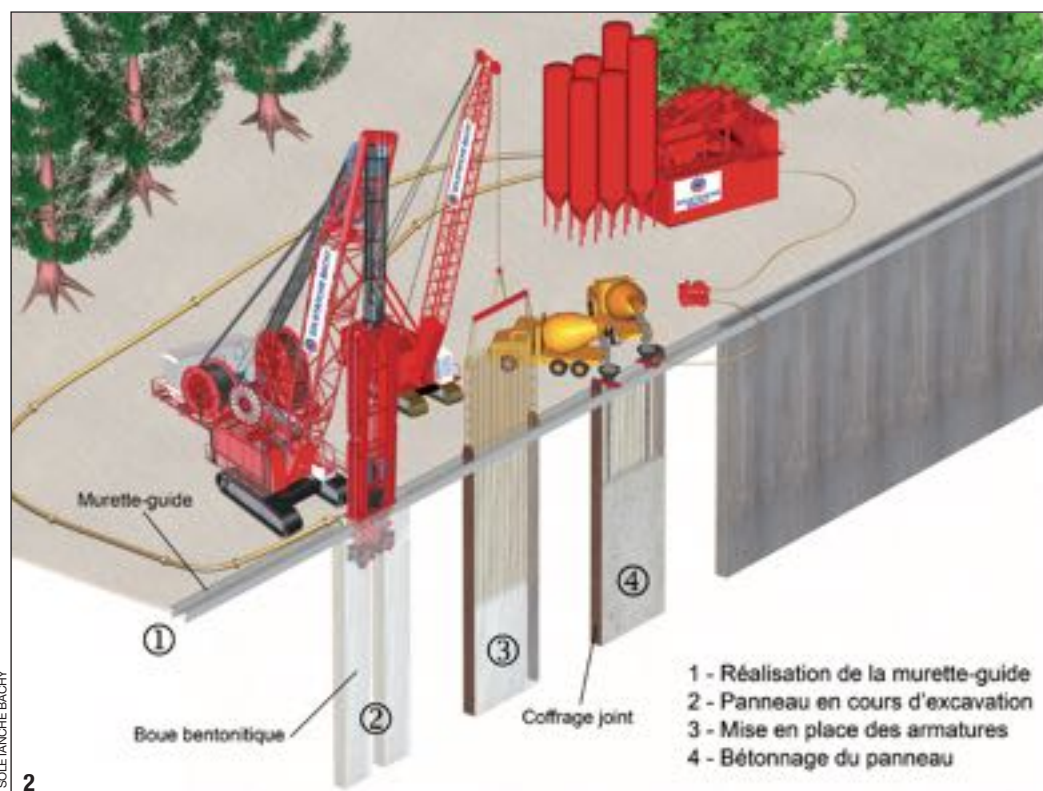
- Nécessité d'extraire le coffrage "juste à temps" pendant la phase de prise du béton ;
- Incompatibilité avec la mise en place d'organes d'étanchéité du type waterstop par exemple.

## JOINTS REMORDUS

La technique du "joint remordu" consiste à excaver un panneau de paroi moulée à l'Hydrofraise®, entre 2 panneaux déjà exécutés. L'excavation est ainsi conduite par panneaux primaires et par panneaux de fermeture unitaire (une seule passe), remordus entre deux panneaux primaires (figure 5). L'excavation des panneaux secondaires est par conséquent réalisée en grattant le béton des panneaux adjacents, de manière symétrique. L'épaisseur remordue pour une profondeur de 35 m est de l'ordre de 20 à 30 cm. Cette technique permet d'assurer une continuité entre panneaux, tout en s'affranchissant des contraintes liées aux coffrages métalliques.

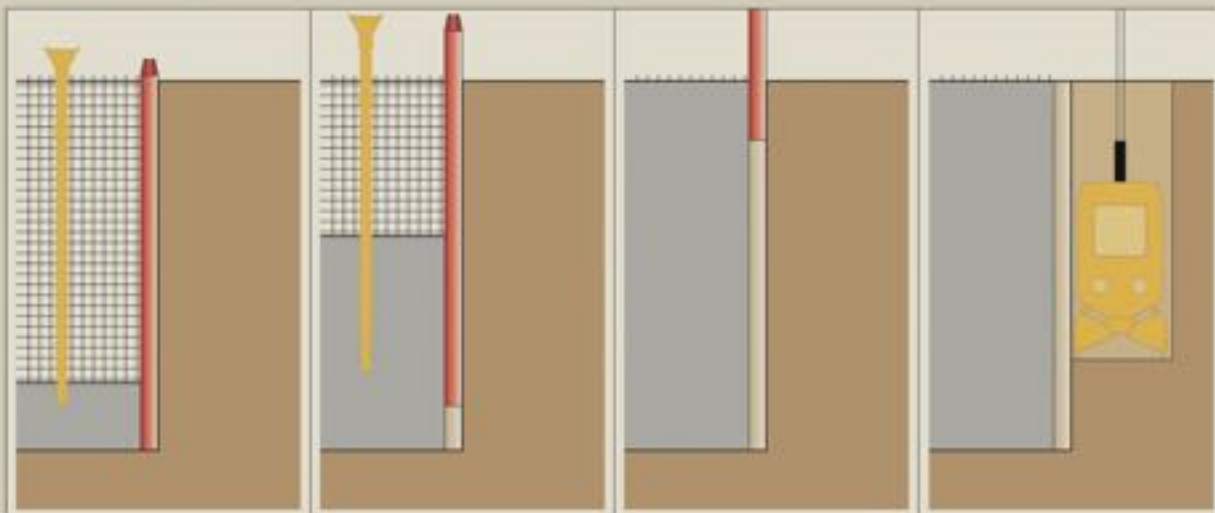
Lors de l'excavation, les tambours de l'Hydrofraise® dessinent des sillons dans le parement des panneaux adjacents (figure 6), allongeant ainsi le cheminement de l'eau qui cherche à circuler à l'interface des panneaux. Cette méthode s'affranchit donc des joints waterstop et permet d'éviter la manutention des coffrages.

Cette technique est couramment utilisée pour des coupures étanches ou pour des soutènements. Dans le cas des puits circulaires, la compression orthoradiale entre les panneaux augmente l'étanchéité du joint sec. Néanmoins, dans le cas des parois planes, les spécifications du maître d'ouvrage peuvent nécessiter l'ajout d'organes d'étanchéité supplémentaires. ▷





## EXTRACTION DU TUBE JOINT PENDANT ET APRÈS BÉTONNAGE DU PANNEAU ET AVANT EXCAVATION DU PANNEAU ADJACENT



3

© SOLETANCHE BACHY

### JOINTS COFFRAGE WATER STOP

Ce joint est un dispositif d'extrémité de panneau à décoffrage latéral permettant d'assurer trois fonctions nécessaires à une bonne réalisation d'une paroi moulée (figure 7) :

→ Une fonction guidage assurée par une liaison mécanique au panneau précédent, enclenchable à volonté. Le coffrage installé à l'extrémité du panneau est maintenu en place pendant l'excavation du panneau adjacent. Il est donc utilisé comme élément de guidage, garantissant ainsi la continuité géométrique de la paroi. L'outil d'excavation est enclenché sur le coffrage limitant le panneau précédent lorsque cela est nécessaire. L'opération peut être préventive si la nature du terrain laisse craindre une déviation de l'excavation en cours.

**3- Extraction du tube joint pendant et après bétonnage du panneau et avant excavation du panneau adjacent.**

**4a & 4b- Tube joint en place et empreinte laissée après extraction.**

**3- Extraction of the joint tube during and after panel concreting and before excavation of the adjacent panel.**

**4a & 4b- Joint tube in place and recess left after extraction.**



4a



4b

© SOLETANCHE BACHY



L'opération peut être curative si une amorce de déviation s'est produite et doit être rectifiée.

→ Une fonction coffrage indépendante du planning du chantier, et en particulier de la vitesse de prise du béton. Le coffrage n'est pas extrait comme un tube joint, avant la prise complète du béton. Il est laissé en place jusqu'à l'achèvement de l'excavation du panneau adjacent. Il est ensuite décoffré latéralement, par des moyens mécaniques : soit l'outil d'excavation lui-même, soit un outil auxiliaire.

→ Une fonction étanchéité par la possibilité qui est offerte d'ajouter commodément et de manière sûre un organe d'étanchéité entre deux panneaux consécutifs (figure 8). Cet organe annexe est généralement constitué d'un joint waterstop de 15 cm. La sécurité ainsi offerte permet de répondre aux conditions d'étanchéité les plus exigeantes.

Ce dispositif a été inventé et breveté par Soletanche Bachy sous le nom de CWS. Il a été récompensé par le prix de l'innovation FNTP 1984. Depuis, l'ensemble de la profession l'a adopté et c'est devenu le standard en matière de joints de paroi moulée.

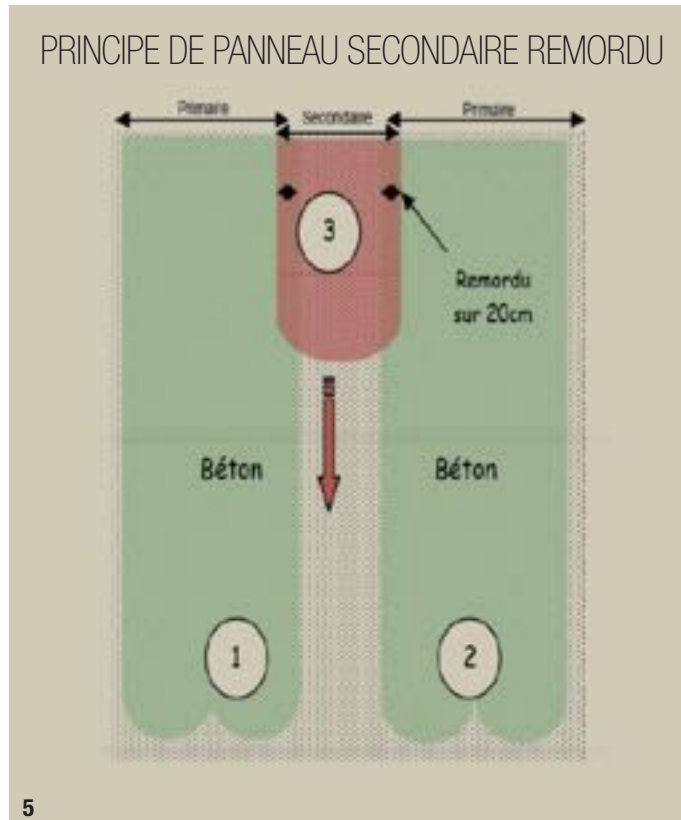
De nombreuses contraintes sont liées à la mise en place du coffrage, puis à son extraction :

→ Nécessité de moyens de levage conséquents : le poids du coffrage est d'autant plus important que la largeur de la paroi moulée est importante (voir tableau 1).

Il faut aussi tenir compte du vent lors du levage des coffrages.

La capacité de la grue de manutention est parfois déterminée par la longueur et le poids des coffrages.

## PRINCIPE DE PANNEAU SECONDAIRE REMORDU



© SOLETANCHE BACHY

### 5- Principe de panneau secondaire remordu.

6a & 6b- Vue d'un panneau secondaire, avec joint remordu dans un panneau primaire.

### 5- Schematic diagram of overcut joint.

6a & 6b- View of a secondary panel, with overcut joint in a primary panel.

TABLEAU 1 : POIDS MOYEN DU COFFRAGE EN FONCTION DE LA LARGEUR DE LA PAROI MOULÉE

Largeur (mm)	Poids moyen (kg/m)
500	170
600	210
800	280
1 000	410
1 200	550
1 500	670

→ Problèmes d'assemblage et de levage : les coffrages sont couramment assemblés par éléments de 12 m. Le plus souvent, l'assemblage des éléments est réalisé en position verticale au-dessus d'un panneau ouvert, de manière à éviter les flexions.

Cela se traduit par une longueur de flèche de grue supérieure à la longueur de l'assemblage total (figure 1).

→ Problèmes de stockage : les coffrages servant de guides pour l'excavation du panneau adjacent, il est très important de maintenir leur planéité. Pour cela il est interdit de les poser sans garantir leur horizontalité.

→ Problèmes d'extraction : si le coffrage bouge pendant le bétonnage, il peut être contourné par du béton qui, après prise, peut compliquer la phase d'extraction du coffrage.

→ Limitation en cas de travail sous hauteur réduite : la multiplication des assemblages de petite longueur, en cas de travail sous hauteur limitée, fragilise le coffrage. Ces éléments doivent être désaccouplés, puis réassemblés à chaque panneau. Cette opération de plusieurs heures n'est pas compatible avec le planning travaux et la durée d'une telle opération est nécessairement génératrice de non-qualité.

## LES JOINTS HYDROGONFLANTS

Dans le domaine du génie civil, on utilise couramment des joints hydrogonflants, qui gonflent à chaque fois qu'ils sont mis en contact avec de l'eau.

Ils sont, par exemple, utilisés pour l'étanchéité des joints de reprise de bétonnage en interrompant le passage de l'eau. Cette étanchéité est obtenue par le gonflement des bandes bétonnées au contact de l'eau. L'augmentation de volume sur les surfaces de contact produit une pression de dilatation entre la bande et son environnement, empêchant le passage de l'eau par le joint. Le gonflement de la bande est réversible. Autrement dit, la bande gonfle au contact de l'eau. En l'absence d'eau, elle se déshydrate et reprend sa forme initiale.

Le comportement élastique et plastique des joints confinés dans le béton leur permet également une remarquable adaptation aux mouvements des joints de construction (tassements...) et une excellente résistance à la pression hydrostatique, allant jusqu'à 8 bars. ▷



© SOLETANCHE BACHY



**7a, 7b, 7c & 7d- Extraction du CWS après bétonnage du panneau et excavation du panneau adjacent.**

**8a & 8b- Vues du coffrage avec palplanche et de l'empreinte dans le sol avec waterstop.**

**7a, 7b, 7c & 7d- Extraction of CWS joint after panel concreting and excavation of the adjacent panel.**

**8a & 8b- Views of formwork with sheet piling and recess in the soil with waterstop.**

## UNE NOUVELLE ÈRE POUR LES JOINTS DE PAROI MOULÉE

Les joints classiques de parois moulées évoqués précédemment présentent des avantages, mais également des inconvénients :

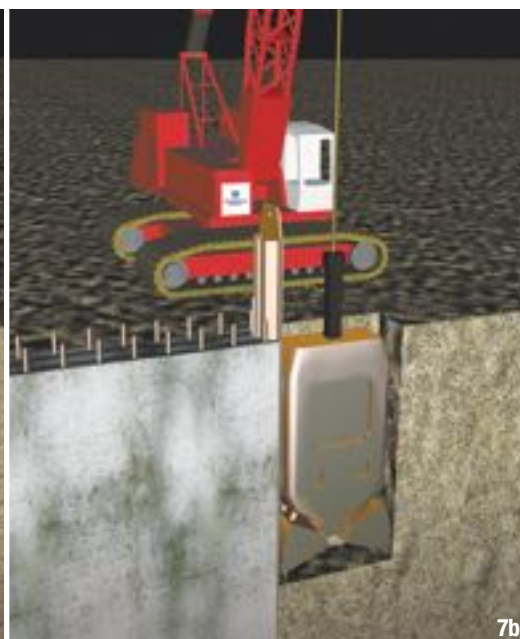
- Les joints remordus permettent de s'affranchir de coffrage, mais ne permettent pas l'ajout d'un organe d'étanchéité, parfois exigé par les maîtres d'ouvrage ;
- Les joints coffrés CWS permettent la mise en place d'un waterstop moyennant un coffrage, qui peut être très lourd et difficile à maintenir, voire pratiquement impossible, sous hauteur réduite par exemple.

Le défi qui se présentait était d'imaginer un nouveau système de joints pour paroi moulée, alliant la souplesse des joints remordus, sans manutention spécifique, à la qualité des systèmes avec waterstop. Soletanche Bachy a donc imaginé de combiner des joints hydrogonflants à la technique des joints remordus.

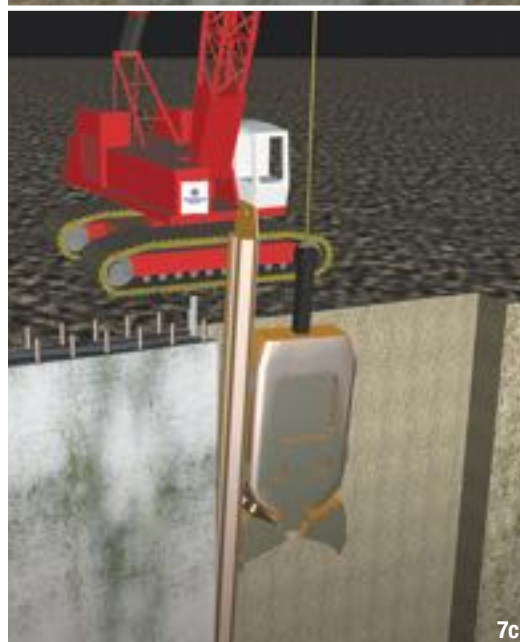
Pour ce faire, il a fallu évaluer différents types de joints hydrogonflants afin d'identifier le joint le plus adapté et inventer un système pour les installer dans les parois moulées en utilisant les armatures sans avoir recours à un système de coffrage additionnel (figure 9).



7a



7b



7c



7d

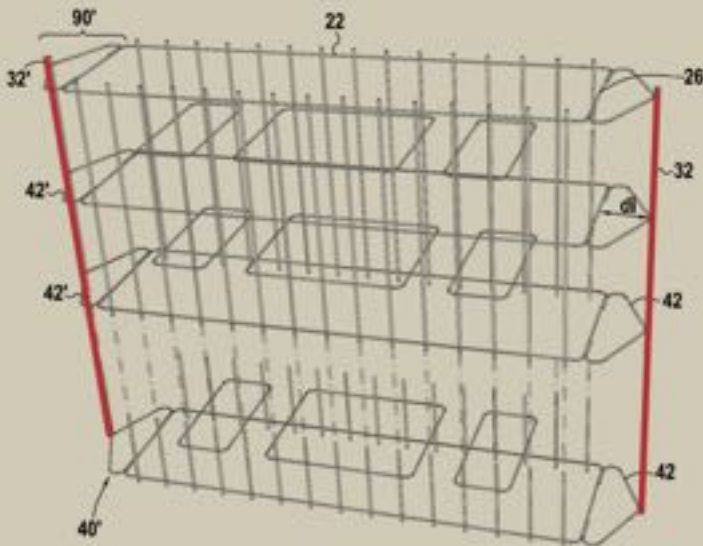


8a



8b

## PRINCIPE DE JOINT HYDROGONFLANT SUR CAGE D'ARMATURE DE PAROI MOULÉE



9

© SOLETANCHE BACHY



10

© SOLETANCHE BACHY

### ÉVALUATIONS AU LABORATOIRE

Une campagne d'essais a été réalisée dans le laboratoire de matériaux de Soletanche Bachy sur différents types de joints hydro-expansifs.

Les tests consistaient :

- À suivre le gonflement dans le temps dans de l'eau ;
- À suivre le gonflement dans le temps dans de la bentonite ;
- À suivre le séchage des joints après bain dans l'eau ou dans la bentonite ;
- À observer l'interface joint/mortier dans une éprouvette coulée sous bentonite ;
- À mesurer la perméabilité de l'interface joint/mortier après coulage sous bentonite.

**9- Principe de joint hydrogonflant sur cage d'armature de paroi moulée.**

**10- Cage d'armature équipée de joints vérinés.**

**11- Carottage de contrôle.**

**9- Schematic of hydro-swelling joint sealant on diaphragm wall reinforcement cage.**

**10- Reinforcement cage fitted with jacked joints.**

**11- Control core sampling.**

Les joints retenus utilisent les propriétés naturelles hydroexpansives de la bentonite de sodium qui peut gonfler jusqu'à 15 fois son volume initial au contact de l'eau. Le phénomène de gonflement se produit grâce à la structure constituée de plaques microscopiques d'argile qui s'écartent au contact de l'eau, provoquant ainsi le gonflement. L'expansion des joints n'est pas immédiate au contact avec de l'eau (gonflement retardé). Les joints atteignent leur expansion volumétrique maximale au bout de 26 jours.

Au séchage, les joints reprennent leur aspect d'origine. Ils ne retiennent pas de cake de bentonite et l'interface avec le mortier est propre. La bentonite n'est

pas piégée entre le joint et le mortier. Les joints ne gondolent pas dans l'éprouvette et sont correctement pris par le mortier avant de gonfler et de s'étendre.

### SYSTÈME DE MISE EN PLACE

Les tests en laboratoire ont permis de qualifier les joints mais ne permettent pas de garantir de bons résultats sur chantier. L'étanchéité assurée par les joints ne sera effective que si le joint est correctement mis en œuvre dans le panneau de paroi moulée. Cela exige que :

- La surface du panneau primaire soit propre - pour ce faire il faut que les joints soient remordus ;
- Le joint soit plaqué sur toute sa hauteur contre le béton du panneau primaire.

Cette dernière condition est celle qu'il est le plus difficile de respecter.

Les joints hydrogonflants sont montés sur des fers plats positionnés verticalement en bord de cage d'armature. L'ensemble joint + fer plat est plaqué contre les panneaux de parois moulées, une fois la cage mise en place, à l'aide d'un système de vérin actionné sous pression d'eau.

Validations.

Les joints hydrogonflants pour paroi moulée ont fait l'objet de plusieurs étapes de validation :

- Une phase préliminaire d'essais sur chantier, permettant de valider et optimiser les composants ;



11a

© SOLETANCHE BACHY



11b





12

© GÉRIC HÉLISY

→ Un déploiement sur chantier, sur la gare Fort-d'Issy-Vanves-Clamart de la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express et sur la station Maison-Blanche de la Ligne 14 Sud du métro parisien.

### ESSAIS PRÉLIMINAIRES SUR CHANTIERS

À l'occasion d'un chantier de paroi moulée à Saint-Tropez, le système d'installation du joint avec des vérins hydrauliques a été testé et validé (figure 10).

Des carottages de contrôle ont pu prouver que le contact était effectif entre le joint et le panneau remordu (figure 11).

### CHANTIER FORT-D'ISSY-VANVES-CLAMART

Les joints hydrogonflants ont été retenus pour la paroi moulée de la gare de Fort-d'Issy-Vanves-Clamart, entre les panneaux de parois moulées exécutés sous hauteur limitée, sous les tabliers auxiliaires d'une voie SNCF.

Le gabarit disponible sous les ponts provisoires est présenté en figure 14. La hauteur libre entre la plate-forme de travail et la sous-face des ponts provisoires est d'environ 6,40 m. Dans une telle configuration, la grue de manutention utilisée dispose d'une flèche courte.

La hauteur sous crochet disponible est alors limitée à moins de 5 m. De fait, les différentes opérations doivent être adaptées à ce contexte particulier et certaines ne sont plus possibles (figure 12).

C'est notamment le cas pour la mise en place des joints waterstop entre les panneaux de parois moulées.

**12- Excavation sous hauteur réduite à Fort d'Issy / Vanves / Clamart.**

**13- Mise en place des joints hydrogonflants sous hauteur réduite.**

**14- Vue en coupe schématique de la zone de travail.**

**12- Excavation under low clearance height at Fort-d'Issy-Vanves-Clamart station.**

**13- Placing hydroswelling joint sealants under low clearance height.**

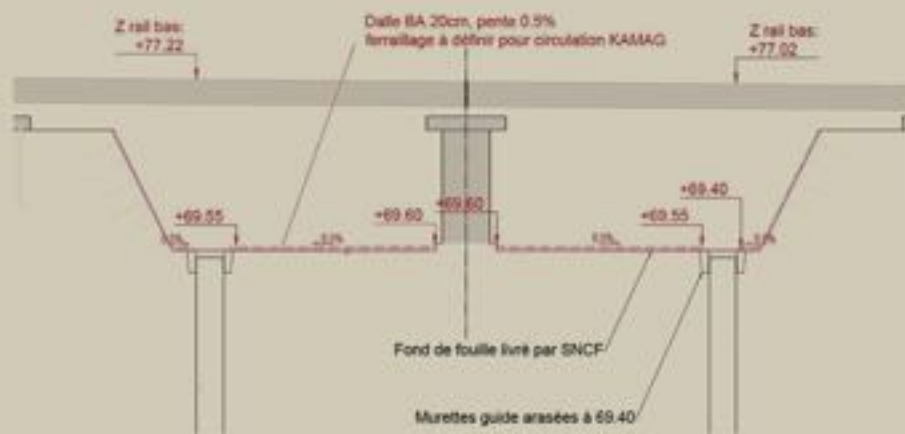
**14- Schematic cross-section view of the work area.**



13

© SOLETANCHE BACHY

### VUE EN COUPE SCHÉMATIQUE DE LA ZONE DE TRAVAIL



14

© SOLETANCHE BACHY

## SCHÉMA DE PRINCIPE DE RÉALISATION DU REMORDU ET DE MISE EN PLACE DE JOINT HYDROGONFLANT



15

En effet, les coffrages CWS, dont certains éléments mesurent 11 m, ne sont plus manipulables dans un tel environnement.

L'utilisation de joints hydrogonflants (figure 13) s'imposait donc !

## CHANTIER DE MAISON-BLANCHE

Sur la station Maison-Blanche, le système des joints hydrogonflants a été mis en place pour protéger la fouille des venues d'eau entre le niveau du fond de fouille et le toit de la nappe des calcaires inférieurs (figure 15).

Le joint hydrogonflant est mis en œuvre avec le système vériné, secondé de tubes pour injecter de la résine dans le remordu.

Un carottage de contrôle a pu être réalisé sur une face du tympan pour le passage du tunnelier. On y retrouve bien le joint gonflé plaqué entre les deux éléments de paroi (figure 16).

15- Schéma de principe de réalisation du remordu et de mise en place de joint hydrogonflant.

16a & 16b- Carottage de contrôle.

15- Schematic diagram of overcut joint and placing of the hydro-swelling joint sealant.

16a & 16b- Control core sampling.

## CONCLUSION

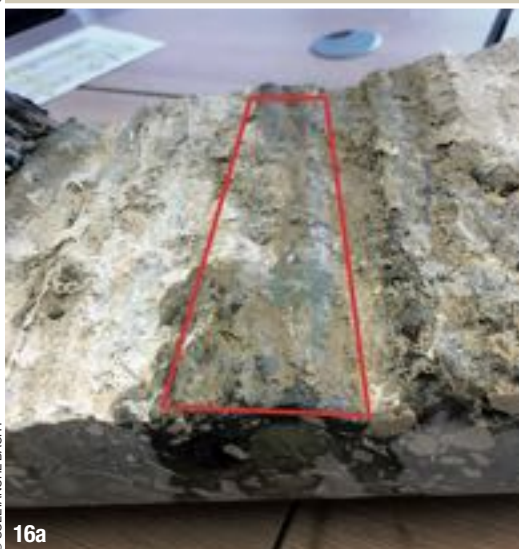
La recherche qui a mené au procédé de joints hydrogonflants pour paroi moulée est partie d'une analyse critique des besoins des clients et du marché. Elle apporte une solution originale et innovante à l'utilisation de coffrages devenus de plus en plus lourds avec l'approfondissement et l'épaississement des parois moulées.

Grâce à l'Hydrofraise®, dont la maîtrise de la verticalité est l'un des principaux atouts, on peut garantir le contact entre les joints et le panneau adjacent, sans avoir recours à des coffrages difficiles à manutentionner.

Les joints hydrogonflants constituent un réel atout, permettant des gains en termes de planning, en particulier dans les zones sous hauteur réduite.

Ces joints constituent un véritable saut technologique dans le domaine de la paroi moulée.

Depuis 1984 et les CWS, il n'y a pas eu d'avancée majeure dans ce domaine. Ce procédé fait par ailleurs l'objet d'un dépôt de brevet par Soletanche Bachy et vient d'obtenir le prix de la catégorie "Matériels et Usages" lors des derniers trophées des TP organisés par la FNTP et Le Moniteur. □



16a



16b

## ABSTRACT

### HYDRO-SWELLING JOINT SEALANTS FOR DIAPHRAGM WALLS

JEAN-FRANÇOIS MOSSER, SOLETANCHE BACHY -  
STÉPHANE MONLEAU, SOLETANCHE BACHY

The article presents an overview of diaphragm wall joints from the start: joint tubes, hydro-cut joints and CWS joints. Based on the advantages and disadvantages of each technique, a new joint was developed using hydro-swelling joint sealants placed in position by jacks. The system, which can be used in particular under low clearance heights, was employed successfully on a station of the 'Grand Paris Express' metro project and Maison-Blanche Station on Paris metro Line 14 South. □

### JUNTAS HIDROEXPANSIVAS PARA PANTALLAS DE HORMIGÓN

JEAN-FRANÇOIS MOSSER, SOLETANCHE BACHY -  
STÉPHANE MONLEAU, SOLETANCHE BACHY

El artículo presenta la problemática de las juntas de las pantallas de hormigón desde su origen: tubos juntas, juntas repicadas con hidrofresadora y juntas CWS (Coffrage Water Stop). A partir de las ventajas y los inconvenientes de cada técnica, se ha desarrollado una nueva junta utilizando juntas hidroexpansivas instaladas mediante cilindros hidráulicos. El sistema, particularmente viable a baja altura, se ha aplicado con éxito en una estación del Grand Paris Express y en la estación Maison-Blanche de la línea 14 Sur del metro de París. □





1  
© FREYSSINET

# LE TIRANT DESTRUCTIBLE : NOUVELLE APPROCHE POUR LES FOUILLES EN MILIEU URBAIN

AUTEURS : CYRIL GAUCHERAND, DIRECTEUR COMMERCIAL, FREYSSINET PRODUCTS COMPANY -  
MICA ZIVANOVIC, DIRECTEUR TECHNIQUE ADJOINT, FREYSSINET INTERNATIONAL

LES TRAVAUX EN MILIEU URBAIN DEVIENNENT DE PLUS EN PLUS CONTRAIGNANTS. LA STABILISATION PROVISoire DE PAROIS L'EST TOUT PARTICULIÈREMENT EN RAISON DE L'OCCUPATION DES SOLS PAR DES TIRANTS D'ANCRAGE EN ACIER LAISSÉS EN PLACE OU DE LA GÊNE QUE PEUVENT OCCASIONNER DES BUTONS. IL EXISTE BIEN DES SOLUTIONS DE TIRANTS D'ANCRAGE DÉMONTABLES, MAIS LEUR PERFORMANCE ET LA MAÎTRISE DES COÛTS NE SONT PAS AVÉRÉES. UNE NOUVELLE SOLUTION DE TIRANTS D'ANCRAGE PRÉCONTRAINS EN FIBRES DE VERRE PERMET DE RÉPONDRE TRÈS SIMPLEMENT À CETTE PROBLÉMATIQUE.

## LE DOMAINE D'UTILISATION

La densification des constructions pose de plus en plus la question de la "pollution" du sous-sol par des équipements ou des ouvrages mis en œuvre ou construits des années auparavant. C'est le cas de réseaux, de canalisations, de tunnels et de tirants d'ancrage

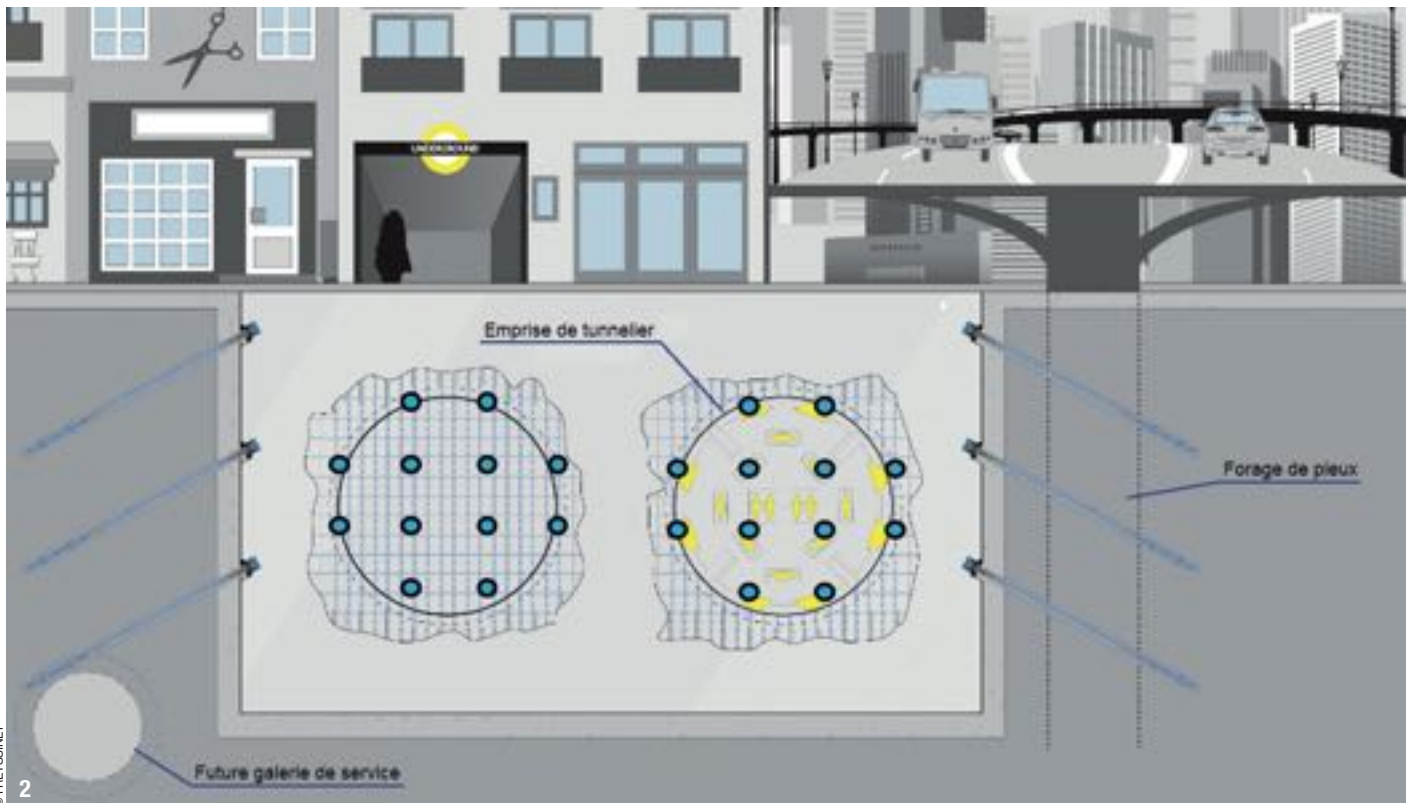
utilisés pour la stabilisation provisoire d'une paroi voisine.

Un tirant d'ancrage est constitué d'une armature métallique, pouvant faire plus de 30 m de longueur et qui, laissée dans le sol, crée inévitablement un obstacle pour des travaux de forage ou de creusement ultérieurs (figure 2).

**1- Mise en tension d'un tirant.**

**1- Tensioning of a tie anchor.**

Elle est aussi conductrice de courants vagabonds, pouvant être préjudiciables, dans certains cas, aux équipements et constructions environnantes. Enfin, la présence d'une armature métallique dans le sol peut conduire au paiement d'une taxe annuelle d'occupation des sols.



## LES SOLUTIONS ACTUELLES

Pour stabiliser des fouilles provisoires sans laisser d'armatures métalliques dans le sol, il existe deux solutions principales, les butons et les tirants d'ancrage démontables.

L'utilisation de butons est répandue mais génère de nombreuses contraintes. La présence des butons encombre le volume de la fouille, et de ce fait, complexifie les travaux, ralentit le chantier et limite les choix de méthodes de construction. L'approvisionnement en début de chantier et l'évacuation en fin de chantier génèrent une activité de manutention et un trafic routier important, accentuant la gêne occasionnée aux riverains et augmentant considérablement la pollution et l'impact carbone.

Des solutions de tirants démontables (également appelés extractibles) existent depuis des années. Elles sont très différentes les unes des autres, mais aucune ne permet de garantir à 100% l'extraction des armatures après leur utilisation. De plus, l'opération d'extraction des armatures après usage est une phase avec de nombreux problèmes. C'est lorsque les travaux de génie civil sont en cours ou terminés qu'il convient de démonter les tirants. Les accès sont toujours limités, et de nombreux autres corps de métiers interviennent alors. La durée et le coût de l'extraction sont toujours incertains, conduisant les

**2- Présence de tirants dans le sol.**

**3- Remise du prix du jury de l'innovation Solscope 2019.**

**2- Presence of tie anchors in the soil.**

**3- Award of the Solscope 2019 jury's prize for innovation.**

entreprises cherchant à maîtriser le planning et le budget, à limiter fortement leur emploi.

## LE NOUVEAU TIRANT FREYSSINET CGA

Un nouveau tirant précontraint en fibres de verre répond aux problématiques exposées précédemment en offrant une solution de substitution aux tirants démontables et aux butons. Le tirant est laissé en place dans le sol à l'issue des travaux, mais sa structure en fibres de verre peut être facilement traversée par

tout engin de creusement ou de forage, donnant naissance à un nouveau type de tirant : le tirant destructible.

Ce tirant précontraint destructible CGA (Cutttable Ground Anchor), aujourd'hui proposé par Freyssinet, a été développé en partenariat avec Dextra, spécialiste dans la fabrication d'armatures en matériaux composites ainsi qu'en manchonnage d'armatures. Il a fait l'objet de plusieurs chantiers depuis 2012, et a reçu récemment le premier prix du jury des trophées de l'innovation Solscope 2019 (figure 3).

Le principe de ce tirant est de combiner une armature en fibres de verre dans le terrain à une armature métallique au droit de la paroi (figure 5). La partie en fibres de verre, de par sa capacité à être facilement découpée, permet à tout engin de creusement ou de forage d'opérer au travers de l'armature sans aucune gêne. L'armature métallique en extrémité supérieure est constituée de plusieurs torons de précontrainte, permettant ainsi la mise en place d'une tête d'ancrage classique et parfaitement maîtrisée, ainsi que la mise en place d'un vérin de mise en tension standard (figure 1). Le développement de ce nouveau procédé s'est fait autour de 3 technologies connues.

La fibre de verre est déjà largement utilisée en renforcement des sols pour des ancrages passifs (clous et boulons en tunnel notamment).







4

© DEXTRA

La fabrication des barres en fibres de verre et les techniques de scellement sont parfaitement maîtrisées. Des armatures passives en fibres de verre sont utilisées dans des cas similaires à ceux visés par l'utilisation du tirant CGA, comme un passage de tunnelier (figure 4), avec destruction par des outils de forage, et gestion des courants vagabonds. L'utilisation de ce matériau est donc apparue comme une évidence pour composer le tirant CGA.

Dans les cas habituels d'ancrages passifs en fibres de verre, l'effort sur la tête d'ancrage est faible voire nul. Dans le cas des tirants d'ancrage précontraints, l'effort maximal se situe au niveau de la tête d'ancrage, et une traction d'épreuve à 1,15 fois l'effort de service doit être appliquée.

Par le passé, des solutions ont bien été étudiées pour réaliser une tête d'ancrage sur des barres en fibres de verre (notamment pour des essais), mais aucune n'a pu aboutir à un système utilisable à l'échelle d'un chantier, car trop coûteuses, trop encombrantes et trop longues à mettre en œuvre. En revanche, l'utilisation du toron de précontrainte comme armature du tirant couplée à l'armature composite en partie courante, permet d'adapter une tête d'ancrage parfaitement maîtrisée puisqu'issue d'un système de précontrainte éprouvé et faisant l'objet d'un marquage CE (figure 6).

Pour liasonner la partie courante en fibres de verre et le toron, une troisième technologie a été utilisée : le rabotage d'armature par manchons,

**4- Passage d'un tunnelier au travers d'une armature en fibres de verre.**

**5- Tirant d'ancrage Freyssinet CGA.**

**4- Passage of a TBM through a glass fibre reinforcement.**

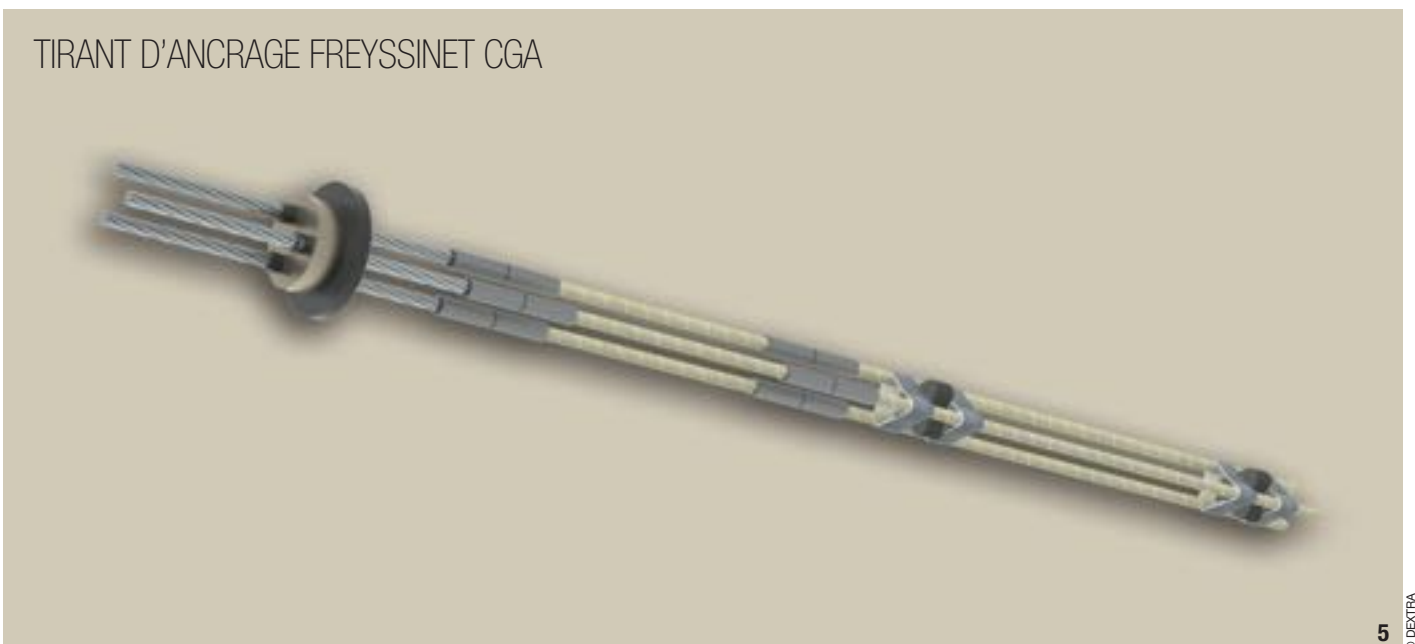
**5- Freyssinet CGA tie anchor.**

fréquemment utilisé pour réaliser des manchonnages d'armatures métallique pour béton armé. Il a fallu adapter cette technologie afin de garantir une parfaite transmission des efforts entre fibre de verre et toron de précontrainte. Le nouveau système de manchonnage ainsi développé a fait l'objet d'un brevet.

#### UNE TOUTE NOUVELLE APPROCHE

De par sa conception, les matériaux utilisés et leurs performances, le tirant CGA s'inscrit dans la prise de conscience collective tendant à limiter l'impact environnemental sur le monde afin de laisser une place nette aux générations futures. C'est une technique de soutènement "discrète" à tout point de vue.

### TIRANT D'ANCRAGE FREYSSINET CGA



5

© DEXTRA





© FREYSSINET  
6

La légèreté du tirant Freyssinet CGA limite grandement la pénibilité des travaux (figure 7).

Dans l'article "Life-Cycle assessments of rock bolts" rédigé par Dr Jana Kodymov, Dr Alun Thomas et Markus Will, et publié dans la revue "Tunnelling Journal", il est mis en évidence que l'impact CO<sub>2</sub> des armatures en fibres de verre est 35 % plus faible que celui des armatures en acier. Cette étude prend en considération la production, le transport et la mise en œuvre sur chantier.

Pendant les travaux, les fouilles sont par ailleurs complètement dégagées, permettant d'optimiser les méthodes de construction et de limiter notamment les opérations de manutention. **Après les travaux**, il n'y a pas d'opé-

ration d'extraction ni d'évacuation des matériaux utilisés. Cela limite les risques pris par le personnel et réduit l'impact environnemental comme mentionné précédemment. La partie en fibres de verre est constituée

**6- Tête d'ancrage Freyssinet.**

**7- Manutention d'un tirant CGA sur chantier.**

**6- Freyssinet anchor head.**

**7- Handling a CGA tie anchor on site.**

de matériaux inertes qui ne polluent aucunement le sol dans lequel elle est confinée. Les fibres de verre et le ciment en place dans le sol laissent un terrain "techniquement sain".

L'utilisation de ces tirants doit également permettre aux promoteurs et aux entreprises de simplifier leurs démarches et leurs travaux, pour une plus grande liberté à imaginer des projets plus simples, plus rapides à mettre en œuvre et rentables.

**DES APPLICATIONS NOMBREUSES ET PROMETTEUSES**

C'est au Qatar, pour la construction du métro de Doha, que les premières applications ont vu le jour entre 2012 et 2016.

Depuis, d'autres pays ont fait appel à cette nouvelle technologie, comme les Émirats-Arabes Unis, Israël, l'Inde et les Philippines.

Des échanges avec des donneurs d'ordres ont mis en évidence les perspectives offertes par le tirant Freyssinet CGA, comme l'explique Monsieur Francis Van Waveren, Directeur Technique d'Ogic, promoteur immobilier et maître d'ouvrage : « *Ogic est toujours à l'affût des innovations qui peuvent simplifier nos opérations, réalisées dans des environnements de plus en plus complexes. Je vois l'arrivée de ce nouveau tirant destructible comme une alternative évidente aux tirants extractibles voire même aux butons dans certains cas. Elle va désormais, dans bien des cas, ouvrir la porte à de nouvelles solutions globales de conception des infrastructures ainsi qu'à des projets plus rentables et plus rapides à mettre en œuvre. L'aspect environnemental est également un point important à considérer, car il est au cœur de nos préoccupations. Cette technique va dans le bon sens en raison de la diminution très sensible de l'impact carbone du produit et une réduction importante des transports. Elle apporte aussi une solution parfaitement acceptable pour les avoisinants car elle n'est pas ou peu impactante et ainsi facilite l'obtention de leur accord sur une solution de soutènement provisoire par tirants plutôt que par butons* ».

Même si ce n'est pas la seule application, c'est essentiellement en milieu urbain que les décideurs s'intéressent aux tirants CGA. ▷



© DEXTRA  
7





8

© SOLETANCHE BACHY FRANCE

8 & 9- Chantier Grand Paris Express, ligne T3A, Gare du Pont de Sèvres.

8 & 9- 'Grand Paris Express' metro project, Line T3A, Pont-de-Sèvres Station.

Dans de nombreux endroits dans le monde (Melbourne, Auckland, Amsterdam, Londres, Lyon, Paris, Genève) des projets sont à l'étude, et d'autres grandes villes ne vont pas manquer de s'y intéresser.

En France déjà quatre chantiers, liés aux différents projets du Grand Paris, ont opté pour cette solution (figures 8 et 9). □



9

© FREYSSINET

## ABSTRACT

### THE DESTRUCTIBLE TIE ANCHOR: A NEW APPROACH FOR EXCAVATIONS IN AN URBAN ENVIRONMENT

CYRIL GAUCHERAND, FREYSSINET PRODUCTS COMPANY -  
IVICA ZIVANOVIC, FREYSSINET INTERNATIONAL

**Freyssinet now distributes a new "destructible" prestressed tie anchor, the Freyssinet CGA tie anchor.** *This provides a simple and economical solution in cases where steel reinforcing bars cannot be left in the soil. The new "destructible tie anchor" approach provides an answer to the constraints of these projects by eliminating most of the problems encountered with the current solutions of stayed walls or walls stabilised by dismantlable tie anchors. Consisting of glass fibre reinforcement in the soil and prestressing tendons on the outside, it permits the subsequent passage of any excavation or drilling machine, and allows the installation of a standard anchor head and tensioning with a prestressing jack.* □

### EL TIRANTE DESTRUCTIBLE: NUEVA TÉCNICA PARA LAS EXCAVACIONES EN MEDIO URBANO

CYRIL GAUCHERAND, FREYSSINET PRODUCTS COMPANY -  
IVICA ZIVANOVIC, FREYSSINET INTERNATIONAL

**Freyssinet distribuye actualmente un nuevo tirante de anclaje prestansado, llamado "destructible": el tirante Freyssinet CGA.** *Ofrece una solución simple y económica cuando no es posible dejar en el suelo una armadura metálica. La nueva técnica del tirante destructible permite responder a las limitaciones de estos proyectos ya que elimina la mayoría de problemas que aparecen con las soluciones actuales de pantallas de anclaje o estabilizadas con tirantes desmontables. Formado por una estructura de fibra de vidrio en el suelo y cordones de pretensado en el exterior, permite el paso ulterior de cualquier máquina excavadora o perforadora, la instalación de un cabezal de anclaje estándar y el tensado con un cilindro de pretensado.* □





1  
© SIKKA

# UNE RÉPARATION INNOVANTE POUR LE PONT DE PONTCHARRA-SUR-TURDINE

AUTEURS : RAPHAËLLE SADONE, CHEF DE PROJET, DIR CENTRE-EST - FRANÇOIS SPATARO, RESPONSABLE ETUDES, CEREMA DT CENTRE-EST - YVON GICQUEL, RESPONSABLE MARCHÉ RÉPARATION RENFORCEMENT, SIKKA - MATHIAS KAMINSKI, DIRECTEUR ETIC CHEZ ÆVIA, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL - ALAIN SIMON, DIRECTEUR TECHNIQUE ÆVIA, EIFFAGE GÉNIE-CIVIL

À LA SUITE D'UN CHOC PROVOQUÉ PAR UN VÉHICULE HORS GABARIT, LE TABLIER DU PONT DE PONTCHARRA-SUR-TURDINE A FAIT L'OBJET D'UN DIAGNOSTIC. IL A ÉTÉ RÉPARÉ AU MOYEN D'UNE PRÉCONTRAÎNTE ADDITIONNELLE EN MATÉRIAU POLYMÈRE RENFORCÉ DE FIBRES DE CARBONE (PRFC). LA MISE EN ŒUVRE DE CETTE SOLUTION TECHNIQUE INNOVANTE A ÉTÉ SUIVIE ET CONTRÔLÉE PAR UNE INSTRUMENTATION DE L'OUVRAGE ET DE LA PRÉCONTRAÎNTE, AFIN DE VÉRIFIER LE BON COMPORTEMENT ET L'EFFICACITÉ DE CETTE RÉPARATION.

## LE CONTEXTE

Situé au nord-ouest de Lyon, le pont de Pontcharra-sur-Turdine (69) a été construit au cours des années 1993-1994. Il permet à la RN7 de franchir la RD27 en une travée (figure 1). De largeur 17,74 m, le tablier de cet ouvrage est constitué de 28 poutres précontraintes par fils adhérents (de type PRAD) de longueur 11,75 m, de hauteur en retombée 45 cm et comprenant chacune 6 câbles (monotrons T15s en acier de classe 1860 MPa à

très basse relaxation) répartis sur 3 lits. Ces poutres sont surmontées d'un hourdis en béton armé d'épaisseur 19 cm. Le biais géométrique de l'ouvrage est de 95 grades.

En juin 2010 à l'occasion d'une visite d'inspection, des désordres ont été constatés au niveau des corniches en béton situées sur l'une des rives du tablier ainsi qu'au niveau de la poutre P4 (quatrième poutre en partant de la rive) qui présentait une fracture ouverte de plus de 10 mm sur

1- Vue d'ensemble du pont de Pontcharra.

1- General view of Pontcharra Bridge.

une longueur d'environ 1,60 m. Ces désordres étaient la conséquence d'un choc provoqué par un véhicule hors gabarit.

Alerté par la Direction Interdépartementale des Routes (DIR) Centre-Est, maître de l'ouvrage, le Cete de Lyon (aujourd'hui Cerema Centre-Est) est intervenu pour diagnostiquer l'état du tablier et en particulier de la poutre P4 dont plusieurs monotrons avaient visiblement été touchés lors de l'impact (figure 2). ▶



## LE DIAGNOSTIC ET LE PROJET DE RÉPARATION

Les désordres qui ont été immédiatement observés étaient les suivants :

- Des éclats de béton au niveau d'un élément de la corniche côté Nord, avec la mise à nu de plusieurs aciers passifs ;
- Le détachement d'un bloc de béton en partie centrale de la poutre P4, avec plusieurs aciers passifs rompus (filants et étriers), ainsi que la mise à nu de plusieurs torons, plus ou moins déviés.

Si le traitement des premiers désordres n'a pas posé de difficulté particulière, le cas de la poutre P4 a nécessité, quant à lui, une étude spécifique dont le but était d'évaluer les éventuelles pertes de précontrainte consécutives à une possible plastification des torons. Afin d'aboutir à un scénario plausible et sécuritaire pour conduire le projet de réparation, plusieurs paramètres liés au choc (figure 3) ont été étudiés par le Cerema fin 2015 - début 2016 : le nombre de torons impactés par le choc, la valeur du déplacement du bloc de béton au moment du choc, la longueur de ré-ancrage des torons de part et d'autre des lèvres de la fracture... En tenant compte de la précontrainte résiduelle et en considérant, dans la zone endommagée, la perte de précontrainte sur deux torons (toron 1 et toron 2), les calculs ont montré un déficit de précontrainte au niveau de la poutre d'environ 10%. Cette perte n'avait toutefois que très peu de conséquences sur le comportement d'ensemble du tablier, du fait de la répartition transversale des efforts dans un réseau très dense de poutres.

Pour compenser le déficit ainsi évalué, il a néanmoins été projeté la mise en place d'une précontrainte additionnelle extérieure, exerçant une force moyenne de 140 kN, et disposée de façon symétrique de part et d'autre de la poutre P4 afin de ne pas créer de flexion parasite dans le tablier de l'ouvrage.

En accord avec la DIR Centre-Est, le maître d'ouvrage, il a été décidé de recourir, pour la réparation du tablier, à une technique innovante pour la France, en mettant en œuvre des lamelles en fibres de carbone au lieu de torons classiques en acier.

## LES TRAVAUX RÉALISÉS

À l'issue d'un appel d'offres lancé par la DIR Centre-Est début 2018, les travaux ont été confiés aux équipes d'Etic (Eiffage Génie-Civil - Ævia). Ils ont démarré en septembre 2018 avec



une courte période de préparation qui a notamment permis la réalisation des études d'exécution ainsi que leur contrôle par le Cerema. Mis à part la réparation de la corniche endommagée, réalisée de façon traditionnelle, les travaux au niveau de la

poutre précontrainte P4 ont consisté en :

- Une purge, par hydro-démolition, des parties endommagées de la poutre ;
- La réparation de la zone par pompage d'un mortier de répara-

2- Zone de l'impact après retrait des éclats.

3- Représentation de différents scénarios de chocs.

2- Impact zone after removing the splinters.

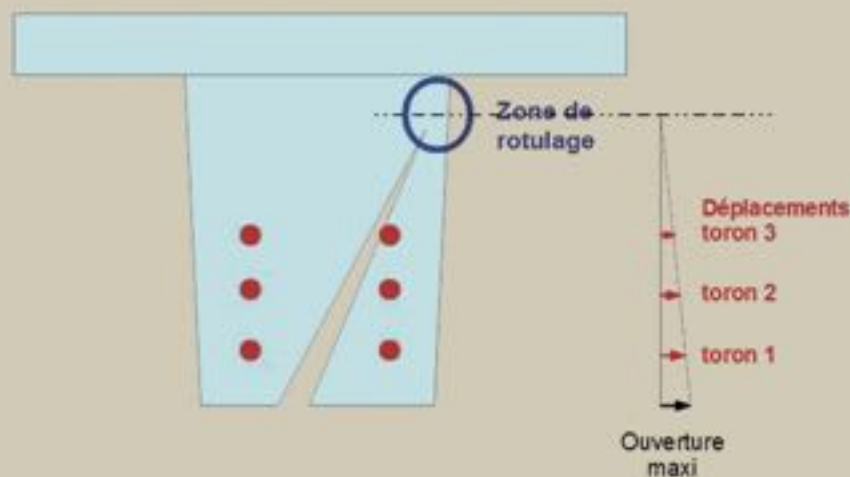
3- Illustration of various impact scenarios.

tion (de classe R4 au sens de la norme NF EN 1504) injecté dans un coffrage bois fixé sous le tablier (figure 4) ;

- Le renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant, au niveau des cadres touchés lors de l'impact, par col-

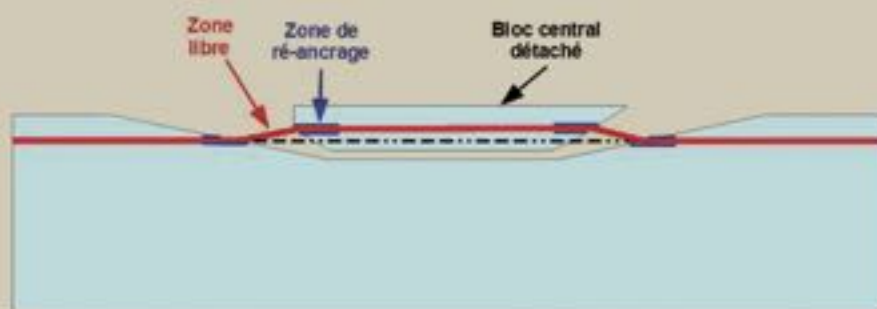
## REPRÉSENTATION DE DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE CHOCS

Exemple 1



3a

Exemple 2



3b



4

© SIKA

**4- Coffrage fixé sous le tablier.**  
**5- Renforcement à l'effort tranchant.**

**4- Formwork fixed under the deck.**

**5- Reinforcement against shear force.**

lage de bandes de tissu de fibres de carbone disposées en U (figure 5), suivant les prescriptions de l'Avis Technique du procédé SikaWrap-230C ainsi que des recommandations de l'Afgc sur les matériaux composites ;

→ Le renforcement des zones de diffusion des efforts de la précontrainte additionnelle, par collage de tissu de fibres de carbone devant les plaques d'ancrage du côté actif et du côté passif, suivant les mêmes prescriptions que celles précisées pour l'effort tranchant ;

→ Le renforcement en flexion de la poutre P4 par la mise en œuvre d'une précontrainte additionnelle de 2x70 kN en matériau Polymère Renforcé de Fibres de Carbone (PRFC), sous la forme de lamelles pultrudées. Ces dernières ont été disposées symétriquement de part et d'autre de la poutre, sans engager le gabarit routier. La solution retenue pour ce chantier a été de ne pas coller les lamelles sur le support.



5  
 © SIKA

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES DE LA PRÉCONTRAÎTE ADDITIONNELLE

Lamelles Sika Carbodur S626		Ancrages Stresshead 220	
Dimensions	60 mm x 2,6 mm	Précontrainte admissible	220 kN
Module d'Élasticité	165 000 MPa		
Allongement à la rupture	17,6 ‰		
Résistance en traction	2 900 MPa		
Résistance de calcul ELU	1 508 MPa		
Résistance de calcul ELS	1 346 MPa		

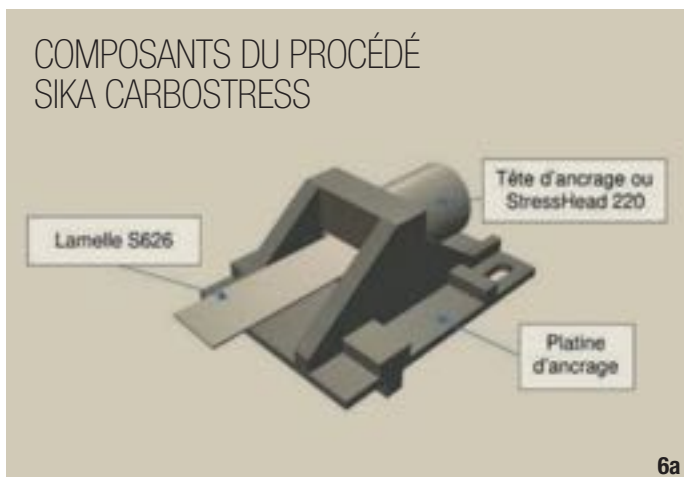
Avant d'entreprendre les opérations liées à la mise en œuvre de la précontrainte additionnelle, les équipes d'Ævia ont suivi une formation spécifique à l'utilisation du procédé Sika CarboStress, dispensée par les fournisseurs Sika et Stresshead.

Ce procédé comprend des ancrages Stresshead et des lamelles Sika Carbodur boutonnées (figure 6). Le boutonnage est réalisé en usine et les lamelles sont livrées sur le chantier à la longueur désirée, prêtes à être installées. Pour la réparation du pont de Pontcharra, des unités S626 avec ancrages Stresshead 220 (de capacité 220 kN chacun) ont été retenues. Les principales caractéristiques de la précontrainte additionnelle sont données dans le tableau 1.

Les travaux ont été réalisés en partie de jour et en partie de nuit afin de limiter autant que possible l'interruption du trafic sous l'ouvrage. En termes de moyens d'accès, les seuls matériels nécessaires à la réalisation d'un chantier de cette sorte sont des nacelles de type "ciseaux" (figures 5, 7, 8 et 9). La mise en tension des deux lamelles boutonnées a été faite au moyen de vérins couplés hydrauliquement et positionnés au niveau des ancrages actifs, de part et d'autre de la poutre (figure 7). Une fois la tension contrôlée, les écrous à l'arrière des ancrages ont été serrés puis les vérins et les cadres de traction déposés. Il y a lieu de noter que ces cadres peuvent être réinstallés à tout moment de la vie de l'ouvrage s'il s'avérait nécessaire de modifier a posteriori la force de précontrainte. ▷



## COMPOSANTS DU PROCÉDÉ SIKA CARBOSTRESS



6a

## DÉTAIL DE LA TÊTE D'ANCRAGE ET DE LA LAMELLE



6b

© SIKA - STRESS-HEAD

L'absence de gaine de protection autour de l'armature de précontrainte (protection qui est nécessaire avec les procédés classiques de précontrainte à l'aide de câbles en acier qui sont sensibles à la corrosion, contrairement au PRFC) permet en effet de placer des capteurs directement sur la lamelle et donc de suivre la tension en continu au fil du temps.

Les travaux se sont achevés le 18 octobre 2018 au terme d'une épreuve de chargement concluante.

### LE CONTRÔLE DE L'OPÉRATION - INSTRUMENTATION

L'opération de mise en précontrainte de la poutre P4 (figures 8 et 9) a été réalisée de nuit, en respectant 3 paliers successifs de mise en charge (33%, 66% et 100%). Cette opération a été contrôlée par les équipes du Cerema,

qui se sont assurées que les efforts lus directement au niveau des 2 vérins hydrauliques couplés, correspondaient bien à la tension déduite des valeurs mesurées en temps réel par les jauges de contrainte à fibre optique collées sur les lamelles composites tendues (6 jauges au total). L'exploitation des résultats a montré ici que cette instrumentation était tout à fait adaptée au suivi de la mise en tension des composites, compte-tenu des déformations mesurées. Elle était en revanche peu adaptée au suivi des épreuves de chargement de l'ouvrage, compte-tenu des faibles déformations engendrées dans les composites par les poids lourds positionnés sur le tablier.

Un contrôle de l'effet de la précontrainte additionnelle sur la hauteur de la section de la poutre P4 et celle de la poutre adjacente P5 a également été réalisé, au

### 6- Composants du procédé Sika Carbostress.

### 7- Mise en tension des lamelles en PRFC.

### 8- Montage et vérification de l'instrumentation par le Cerema.

### 6- Components of the Sika Carbostress process.

### 7- Tensioning of thin CFRP plates.

### 8- Assembly and verification of instrumentation by Cerema.

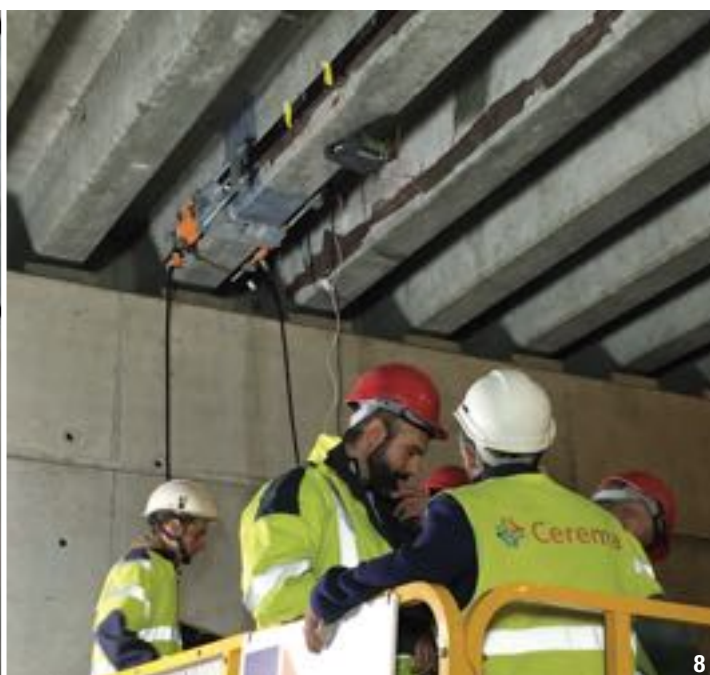
moyen d'extensomètres à fibre optique fixés sur les poutres par des goujons, en différents points (10 extensomètres au total), à partir desquels étaient tracés les diagrammes de Navier pour être comparés aux calculs théoriques.

Un contrôle de l'effet de la précontrainte additionnelle sur le tablier, de façon plus globale, a enfin été réalisé. Des fibres optiques distribuées ont en effet été placées dans des engravures réalisées non seulement dans la poutre renforcée (de part et d'autre) mais également dans la poutre adjacente P5 (2 fibres optiques sur P4 + 1 fibre optique sur P5). Cette instrumentation a permis de mesurer la diffusion de l'effort de précontrainte entre les poutres et le long des poutres, ainsi que de comparer les résultats aux valeurs déterminées préalablement au moyen de modélisations de l'ouvrage aux éléments finis.



7

© EVIA



8

© EVIA



9

© AEVA

Plusieurs hypothèses ont été simulées dans le but d'apprécier la transmission des efforts entre les poutres via le hourdis. L'exploitation des résultats a confirmé que la raideur transversale du tablier était importante et que les efforts introduits étaient rapidement diffusés de part et d'autre de la poutre P4. Via un système d'acquisition toujours en place, l'instrumentation permettra de suivre dans le temps le comportement de l'ouvrage.

#### LES PERSPECTIVES

Compte-tenu des résultats probants obtenus à l'occasion de ce modeste chantier, un dossier a été déposé au Cerema dans le cadre de l'appel à projets d'innovation "Routes et Rues" pour la session 2019. Ce dispositif de soutien à l'innovation, mis en place

par la Direction des Infrastructures de Transport (DIT) du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, permet l'expérimentation de procédés innovants, notamment dans le domaine de la réparation et du renforcement des ouvrages d'art. Sa concrétisation passe par l'intermédiaire d'une maîtrise d'ouvrage publique désireuse de tester un procédé innovant sur son patrimoine, sous le contrôle du Cerema.

Le projet présenté par Eiffage Génie-Civil, fruit de la collaboration avec ses partenaires Sika et Stresshead, a porté sur la réparation ou le renforcement durable des ponts au moyen de précontrainte additionnelle en matériau Polymère Renforcé de Fibres de Carbone (PRFC), avec ou sans collage sur le support, mettant en avant les principaux avantages du procédé : aussi résistant

**9- Derniers préparatifs avant mise en tension.**

**9- Final preparations before tensioning.**

que l'acier, plus léger, insensible à la corrosion, re-tendable et pouvant être instrumenté très facilement pour en suivre l'évolution dans le temps.

En juillet 2019 Eiffage Génie-Civil a été désigné lauréat de l'appel à projets d'innovation "Routes et Rues". □

## LES INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE / MAÎTRISE D'ŒUVRE : DIR Centre-Est**  
**DIAGNOSTIC / PROJET DE RÉPARATION : Cerema DT Centre-Est**  
**CONTRÔLE DES ÉTUDES D'EXÉCUTION : Cerema DT Centre-Est**  
**CONTRÔLE ET SUIVI DES TRAVAUX : Cerema Laboratoires de Lyon / Autun / Aix-en-Provence**  
**ENTREPRISE DE TRAVAUX : Ævia entité d'Eiffage Génie-Civil**  
**FOURNISSEURS DES PROCÉDÉS COMPOSITES : Sika - Stresshead**

#### ABSTRACT

### INNOVATIVE REPAIRS FOR PONTCHARRA-SUR-TURDINE BRIDGE

RAPHAËLLE SADONE, DIR CENTRE-EST - FRANÇOIS SPATARO, CEREMA - YVON GICQUEL, SIKA - MATHIAS KAMINSKI, EIFFAGE - ALAIN SIMON, EIFFAGE

**Following a shock caused by a non-standard vehicle, the Pontcharra-sur-Turdine Bridge, located northwest of Lyon, underwent a diagnosis by the Cerema, which showed that one of the deck's prestressed beams had been damaged. This beam was therefore repaired by means of additional prestressing, not in steel as with conventional repair operations, but in carbon fibre reinforced polymer material (CFRP). The process adopted for this project consists of pultruded thin plates with stayed ends. The implementation of this innovative technical solution was monitored and inspected by instrumentation of the structure and prestressing to verify its satisfactory behaviour and effectiveness. □**

### UNA REPARACIÓN INNOVADORA DEL PUENTE DE PONTCHARRA-SUR-TURDINE

RAPHAËLLE SADONE, DIR CENTRE-EST - FRANÇOIS SPATARO, CEREMA - YVON GICQUEL, SIKA - MATHIAS KAMINSKI, EIFFAGE - ALAIN SIMON, EIFFAGE

**Tras un choque provocado por un vehículo fuera de galíbo, el puente de Pontcharra-sur-Turdine, situado al noroeste de Lyon, fue objeto de un diagnóstico por parte del Cerema, que reveló que una de las vigas pretensadas del tablero había resultado dañada. Seguidamente, dicha viga se reparó aplicando un pretensado adicional, pero no con acero como en las operaciones clásicas de reparación, sino con un material Polímero Reforzado con Fibra de Carbono (PRFC). El procedimiento elegido para esta obra emplea láminas pultrusionadas con los extremos salientes. La aplicación de esta innovadora técnica ha sido objeto de seguimiento y control mediante una instrumentación de la obra y del pretensado para comprobar su correcto comportamiento y su eficacia. □**



# INNOVATION DANS L'AUSCULTATION DES OUVRAGES

AUTEUR : BERNARD PINCENT, CONSULTANT

L'INNOVATION DANS L'AUSCULTATION DES OUVRAGES N'EST PAS À RECHERCHER DANS LA CONCEPTION DE NOUVEAUX CAPTEURS QUI, POUR LA PLUPART, DATENT DE LA PREMIÈRE MOITIÉ DU 20<sup>e</sup> SIÈCLE, MAIS PLUTÔT DANS L'AUTOMATISATION DES MESURES, LEUR TÉLÉTRANSMISSION ET LEUR TÉLÉTRAITEMENT AVEC UNE SURABONDANCE DE DONNÉES QUI NÉCESSITE UNE ORGANISATION SANS FAILLE DANS LA SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES MESURES ET DANS LEUR INTERPRÉTATION.



1 © DYNACOPT

L'auscultation des ouvrages, des barrages particulièrement, a débuté dans les années 1920. La plupart des capteurs développés alors pour l'auscultation sont toujours présents, plus de 80 ans après leur invention. Les raisons ? Leur précision, leur robustesse, leur facilité de mise en œuvre et leur coût raisonnable. Plus récemment, grâce aux innovations de la technologie, ont émergé, avec des succès variables, l'imagerie numérique, l'imagerie radar, les mesures DGPS, celles à l'aide de capteurs à fibre optique, la mesure de déplacement

par topographie de précision automatisée et surtout l'automatisation généralisée. Stations totales de topographie (figure 1) et capteurs électriques sont aujourd'hui en réseau et reliés à des ordinateurs, eux-mêmes établis en réseau. Ces innovations ont fait naître un nouveau type d'auscultation des ouvrages. L'automatisation, la télésurveillance des ouvrages en quasi temps réel est aujourd'hui imposée dans les grands projets, faisant apparaître de nouvelles contraintes de traitement et de temps de réaction en cas d'avertissement/alarme qui modifient profon-

**1- Une station totale surveille un tunnel. Les lignes de points lumineux sont les prismes réflecteurs.**

**1- An electronic total station watches a tunnel. The light-spot lines are reflecting prisms.**

dément l'organisation de l'auscultation. Quelles sont les inventions et innovations marquantes de ces presque neuf décennies ?

## VISUALISATION ET IMAGERIE

Souvent oubliée, l'observation visuelle reste la colonne vertébrale de l'auscultation. L'œil est un capteur très imprécis, mais associé à un cerveau compétent, c'est un remarquable *détecteur global à intelligence naturelle*. Un exemple : quel capteur n'utilisant pas la vision, est capable de déceler l'apparition de fissures dans un bâtiment ?

Dans le domaine de la visualisation, la numérisation des images en haute résolution, les appareils photo et vidéo numériques (1981) et plus récemment les caméras-drones (figure 2) sont des outils faciles à manipuler. Et l'accès gratuit aux images satellite, aux photos aériennes, aux cartes topographiques, géologiques et à de nombreuses données scientifiques a transformé la représentation des données.

Plus récemment, les progrès du scanner 3D ont ouvert l'accès à l'imagerie dimensionnelle en 3D des ouvrages. Des essais sont réalisés pour la surveillance des glissements de terrain. Cependant, la précision des mesures et la durée des relevés ne permet pas encore d'utiliser le scanner comme moyen de surveillance des ouvrages.

### LES CAPTEURS, DE NOMBREUSES INNOVATIONS DU DÉBUT DU 20<sup>e</sup> SIÈCLE !

L'auscultation des ouvrages est récente ; elle se développe depuis les années 1930, privilégiant la topographie depuis l'origine. Les capteurs spécifiques de l'auscultation en génie civil, les fissuromètres, l'extensomètre et le piézomètre à corde vibrante, les capteurs pneumatiques à contre-pression (capteur de pression totale ou de pression interstitielle), le convergence-



2 © B.PINCENT

**2- Imagerie par micro-drone équipé d'une caméra.**

**3- Extensomètre à corde vibrante de 110 mm de longueur : le dessin a peu évolué depuis le brevet Coyne de 1931 (à droite).**

**2- Imaging by micro-drone fitted with a camera.**

**3- Vibrating wire extensometer 110 mm long: the design has changed little since Coyne's patent in 1931 (on the right).**

mètre à fil invar, les tassomètres mécaniques, les pendules ont été inventés pour les besoins spécifiques de l'auscultation dans cette première moitié du 20<sup>e</sup> siècle.

Avec le développement de l'électronique et de sa miniaturisation, l'inclinomètre de forage et le profilomètre ont amélioré leur précision. On constate aujourd'hui que la plupart de ces capteurs, légèrement modifiés, font toujours partie des programmes d'auscultation.

### UN EXEMPLE : L'EXTENSOMÈTRE À CORDE VIBRANTE, INVENTION DE 1931

L'extensomètre à corde vibrante (figure 3) est un des capteurs incontournables de l'auscultation des ouvrages en béton et des structures métalliques. Capteur électrique de mesure de déformation, il a été inventé

en 1931 pour l'analyse du comportement des barrages en béton (brevet INPI n° 721629.22), par André Coyne (1891-1960), fondateur du bureau d'ingénieurs-conseils Coyne et Bellier. Très robuste et précis, il est toujours utilisé.

### DES CAPTEURS EN VOIE DE DISPARITION ?

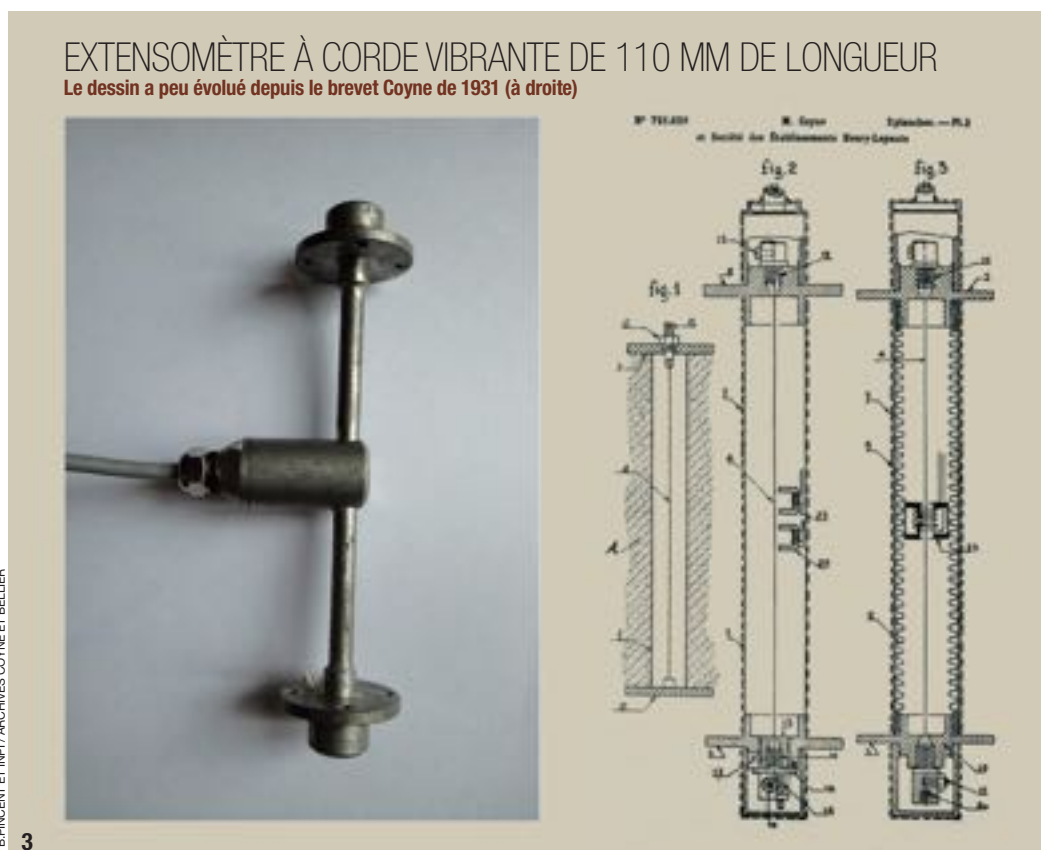
Les capteurs évoluent, comme par exemple, le petit fissuromètre à vernier Saugnac® (figures 4 et 5), qui depuis 1974, est un des capteurs de surveillance de l'ouverture/fermeture des fissures à mesure manuelle le plus vendu en France !

D'autres sont en voie de disparition :

→ Mesure de convergence en tunnel à l'aide d'un convergencemètre à ruban, peu précis ou à fil d'invar, de précision submillimétrique. Les raisons ? La lenteur de ces mesures non automatisables, la nécessité d'engins pour accéder aux repères les plus élevés et, le plus contraignant, l'arrêt des travaux là où on tend le fil du convergencemètre, en travers d'une section, bloquant le passage des engins. Ils sont remplacés par les mesures topographiques à l'aide de stations totales motorisées ou non et de prismes réflecteurs.

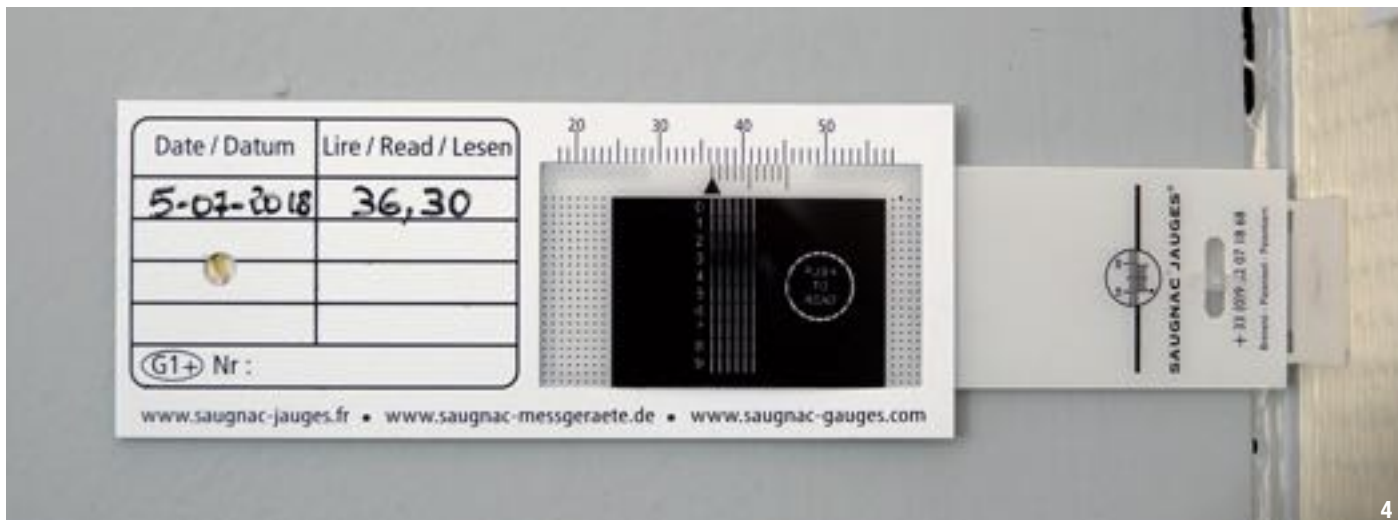
→ Mesures à l'aide de jauges de déformation à fil résistant (jauges de contrainte) : technique née en 1938, intégrées dans de nombreux capteurs industriels, les jauges sont peu adaptées aux mesures sur site. Les difficultés d'installation (collage) dans les conditions d'environnement difficiles des sites, la sensibilité de la chaîne de mesure aux variations d'humidité et le facteur de jauge qui varie avec la température ont éliminé les jauges de déformation de l'auscultation.

→ Mesures de contrainte : la mesure de l'évolution des contraintes dans le sol, chère au modélisateur, n'est possible qu'indirectement, et n'a fait, selon J. Dunicliff, un maître de l'instrumentation en géotechnique, aucun progrès depuis les premiers essais faits par de grands maîtres de la géotechnique, expérimentations qui datent de 1920 ! Les capteurs disponibles, très robustes, ne sont pas en cause ; c'est l'interaction capteur/sol ou capteur/roche, les contrastes de rigidité, qui perturbent très fortement la mesure, en plus ou en moins ! On ne dispose pas de capteur de contrainte précis. ▷



3 © B.PINCENT ET INPI // ARCHIVES COYNE ET BELLIER





4

© SAUGNAC JAUGES

### TOPOGRAPHIE AUTOMATISÉE

Les mesures topographiques ont fait longtemps appel au théodolite, qui a atteint une qualité et une précision remarquables. Elles nécessitaient une excellente pratique de la lecture des angles sur les cercles gradués !

Les relevés étaient longs et ne permettaient pas une surveillance qui réclame un temps de réaction court. Des progrès considérables ont été réalisés en 40 ans.

La première innovation a été la *lecture électronique et numérique* des cercles gradués. La seconde a été l'invention du distancemètre électro-optique à haute résolution et son intégration dans un théodolite pour constituer une *station totale* (1980).

Les cibles visées par l'opérateur ont été remplacées par des cibles optiques, des *prismes* qui ont la propriété de renvoyer la lumière exactement dans la direction de l'émission, vers la station totale, indépendamment de l'orientation du prisme. Il existe de nombreux modèles de prisme (figure 6). À l'origine assez volumineuse, la taille des prismes a considérablement diminué parallèlement à l'augmentation de la sensibilité des appareils, qui sont aujourd'hui capables de faire des mesures sans prisme par réflexion sur l'objet visé, mais au détriment de la précision.

La dernière innovation a été l'automatisation totale des mesures : des micro-moteurs asservis à des commandes numériques orientent la lunette de la station totale fixée sur un support stable (figures 1 et 7) vers les prismes en suivant un programme informatique qui assure, par exemple, un relevé toutes les heures des prismes visibles par la station. Le rôle de l'opérateur de terrain se réduit, voire disparaît. En revanche,

la gestion du système de mesure qui, pour les grands projets de travaux souterrains, comprend plusieurs dizaines de stations totales et des centaines de prismes, se complexifie et réclame des compétences pluri-disciplinaires peu courantes.

### NIVELLEMENT DE PRÉCISION

L'innovation dans les mesures des *déplacements verticaux par nivellement optique de précision* a été la lecture numérique de la mire graduée par un code barre. Les mesures sont rapides mais la précision n'a pas été améliorée ( $\pm 0,3$  mm) par rapport au niveau optique historique, le NA2 avec micromètre optique. Par ailleurs, le principe des mesures de nivellement, par cheminement, les rendent non automatisables.

### GPS

Le Global Positioning System est un système de positionnement, militaire à l'origine, qui repose sur des stations terrestres de référence et sur plusieurs constellations de 24 satellites GPS, Galileo, Glonass, qui tournent autour de la terre, et dont au moins cinq sont visibles à tout moment, en tout point de la terre.

Point remarquable : pour les mesures qui se déroulent sur plusieurs décennies, ce qui est fréquent sur les ouvrages, la précision et la pérennité du référentiel mondial adopté par le GPS, permet de garantir la qualité du référentiel local de ces mesures sur de très longues périodes.

Les récepteurs GPS calculent leur position avec une précision qui atteint aujourd'hui 4 mètres en X,Y avec les modèles les plus économiques et, quelques centimètres pour les mesures



5

© DYNAPOT

**4- Fissuromètre, avec lecture manuelle du vernier (0,1 mm) facilitée par une grille de points.**

**5- La gamme de mesure du fissuromètre 1D manuel a été dépassée : un fissuromètre 3D électrique à grand déplacement prend la relève.**

**4- Crack measurement apparatus, with manual reading of the Vernier scale (0.1 mm) facilitated by a dot grid.**

**5- The measuring range of the manual 1D crack measurement apparatus has been exceeded: a large-travel electric 3D crack measurement apparatus has taken its place.**

GPS différentiel ou DGPS (*Differential Global Positioning System*).

En DGPS, au moins deux récepteurs reçoivent au même moment les signaux des mêmes satellites. Le traitement élimine par simple différence la majeure partie des erreurs de propagation, à condition que les deux récepteurs soient à des distances récepteur-satellite peu différentes, à moins de 10 km. En construisant un réseau de récepteurs GPS incluant des récepteurs de référence dont la stabilité a été vérifiée (figure 8), et en réalisant des relevés de longue durée suivis d'un post-traitement, il est possible d'atteindre une précision de quelques millimètres en déplacement. Ce n'est plus vrai en site urbain où les bâtiments engendrent des réflexions multiples qui dégradent la précision.

Pour ces raisons, la mesure des déplacements du sol par DGPS est mise en œuvre en surveillance des glissements de terrain (Algérie : les glissements de Constantine, *Travaux* n°836 décembre 2006), ou plus spectaculaire, en tectonique des plaques, pour mesurer les déplacements des continents.

**6- Topographie.** Deux modèles de prismes dont un, orientable, avec support magnétique.

**7- Surveillance d'une plateforme ferroviaire :** la station totale, placée en hauteur, vise automatiquement des prismes fixés sur la plateforme.

**8- DGPS (Differential Global Positioning System) :** station de référence.

**6- Topography.** Two prism models including one, adjustable, with magnetic support.

**7- Surveillance of a rail transport platform: the electronic total station, placed at a height, automatically targets prisms fixed on the platform.**

**8- DGPS (Differential Global Positioning System): reference station.**



© DYNAOPT  
6

#### CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE

Si la technologie des capteurs à fibre optique a déjà de nombreuses années d'histoire, son application au génie civil est récente et le nombre des essais croît depuis 1995. Mais la révolution annoncée dans ce domaine n'a pas eu lieu.

Les capteurs à fibre optique fonctionnent soit en transmission, soit en réflexion/rétrodiffusion (voir tableau 1). Ils utilisent plusieurs principes de mesure avec des objectifs et précisions différentes.

Les capteurs à fibre optique présentent des avantages intéressants - insensibilité aux perturbations électromagnétiques et très faibles dimensions - mais aussi des difficultés d'application :

- La déformation mesurée est la déformation longitudinale, suivant l'axe de la fibre ;
- La sensibilité à la température souvent compensée par un capteur ou une fibre de référence inactive ;
- La difficulté de connexion et de multiplexage optique ;

→ La difficulté voire l'impossibilité d'étalonnage pour les capteurs de type "microcourbure" et "écrasement" ;

→ La difficulté d'installation et de protection dans des milieux très agressifs comme le béton frais car le type de matériau et l'épaisseur de la protection de la fibre modifient sa réponse en déformation ;

→ Le coût des éléments sensibles ;

→ Le coût et la très faible disponibilité (achat, remplacement) des appareils de mesure : un analyseur Brillouin coûte plus de 50 000 euros !

Il faut noter aussi que le traitement des mesures brutes nécessite, pour les effets Brillouin et Raman par exemple, un spectromètre spécifique, un ordinateur puissant embarqué et un logiciel de traitement complexe "propriétaire", ce qui rend très difficile la recherche de la cause de résultats jugés anormaux. Le traitement est plus simple pour les fibres à réseau de Bragg.

Les capteurs de déformation à fibre optique sont le plus souvent cités, vraisemblablement parce que la fibre optique est bien adaptée à la mesure des déplacements mécaniques de très faible amplitude, donc aux faibles déformations.

Ainsi la fibre à réseaux de Bragg est le capteur à fibre optique le plus utilisé dans l'industrie.

Dans l'auscultation des ouvrages, les domaines d'application des capteurs à fibre optique sont les mesures en espace restreint ou dans des champs électriques ou électromagnétiques puissants ou sur de très grandes longueurs. Des exemples :

Espace restreint : nappe de géotextile équipée de fibres optiques Brillouin qui mesurent la déformation et la température du géotextile (procédé TenCate GeoDetect®) utilisé dans la surveillance de dispositifs de renforcement du sol en cas de risque de fontis, entre autres. Ou l'intégration de fibres-capteurs à l'intérieur de haubans pour mesurer leur température en plusieurs points. Malheureusement, ces capteurs, même très bien protégés, ne résistent pas longtemps aux contraintes exercées par les déplacements relatifs des fils et torons du hauban.

Grande longueur : détecteur de fuite au travers des digues, développé par EDF, un capteur à fibre optique qui mesure les faibles variations de température le long de la fibre, variations induites par une fuite d'eau locale au travers de la digue de plusieurs kilomètres de longueur.



7  
© DYNAOPT

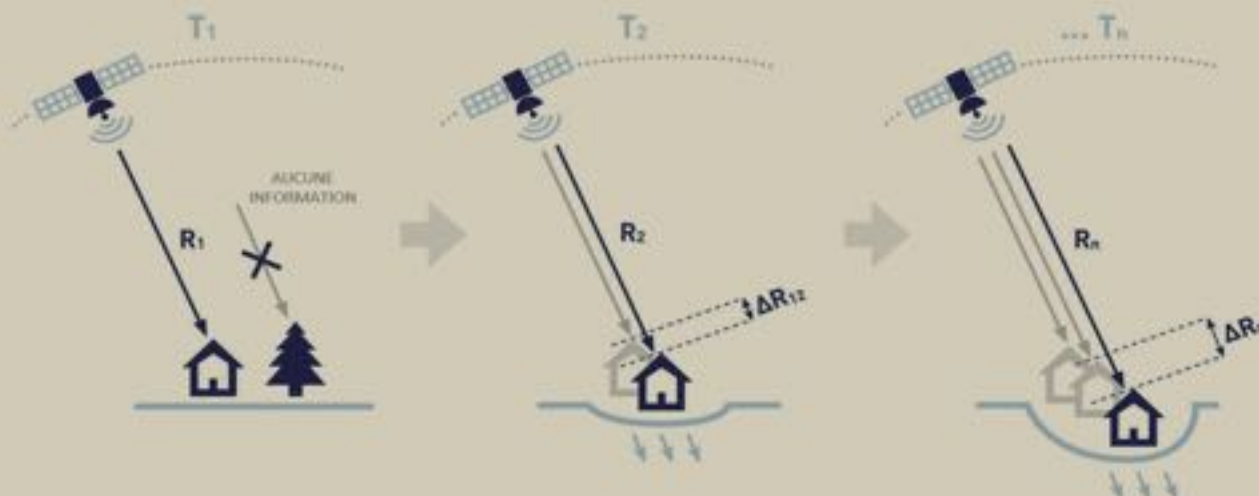


8  
© ARCADIS



## PRINCIPE DE LA MESURE D'INTERFÉROMÉTRIE RADAR

Le satellite mesure très précisément le temps de propagation aller-retour de l'onde radar.  
Le déplacement est calculé par différence des temps mesurés lors des passages consécutifs



9

© TRE ALTAMIRA

Et dans le futur, un nouveau domaine d'application : celui des mesures en milieu radioactif (stockage de déchets nucléaires) en raison de la résistance aux radiations du verre des fibres durcies et à l'emploi de capteurs capables de mesurer températures et déformations sur des longueurs de plusieurs centaines de mètres.

### IMAGERIE PAR INTERFÉROMÉTRIE SATELLITE RADAR (InSAR)

Les premières publications concernant l'InSAR remontent aux années 90 avec le lancement de la mission ERS de l'ESA en juillet 2011 suivie d'Envisat en 2000. Depuis, cette technologie n'a cessé d'évoluer et le lancement des missions Haute Résolution en 2008 a marqué un vrai virage pour le développement d'applications opérationnelles. Grâce à la résolution de 3 m et une revisite hebdomadaire au lieu des 35 jours pour les missions de moyenne résolution (20 m) de l'ESA, de nombreux projets ont vu le jour dans le secteur minier et pétrolier ainsi que dans le domaine des infrastructures (voir l'article Tre Altamira - Le Grand Paris Express ausculté depuis l'espace. Travaux n°950 mai 2019).

Les satellites radar enregistrent avec une très grande précision la distance parcourue par le signal radar entre l'émission et la réception de l'onde. Ainsi, en comparant l'évolution de la distance cible-capteur au cours du temps, la technologie InSAR fournit des informations très précises sur les déformations du sol, permettant ainsi de détecter des mouvements avec

### TABLEAU 1 : CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE -

Les fibres Bragg, Brillouin ou Raman possèdent plusieurs points de mesure sur une seule fibre.

Capteur à fibre optique - Principe de mesure	Effet optique - Nombre de points de mesure par fibre
Déformation - Microcourbures	Atténuation - Un point
Déformation - Écrasement	Polarisation - Un point
Déformation longitudinale d'un réseau optique	Modification du spectre de fréquence (réseau de Bragg) - Multipoints
Déformation - Longueur cavité	Modification de franges (interféromètre Fabry Perot) - Un point
Déformation - Longueur de trajet	Modification de franges (interféromètre Michelson ou Mach Zender) - Un point
Déformation et température - Rétrodiffusion Brillouin	Effet Brillouin. Modification de fréquence - Un point tous les mètres
Température - Rétrodiffusion Raman	Effet Raman. Modification de fréquence - Un point tous les mètres

une précision millimétrique (figure 9). Dans les environnements urbains, les bâtiments et infrastructures constituent de très bons réflecteurs naturels du signal radar. Ainsi, en utilisant les missions à 3 m de résolution, il est possible d'obtenir près de 10 000 points de mesure par km<sup>2</sup> sans qu'aucune instrumentation au sol ne soit nécessaire (figure 10).

De plus, grâce aux archives constituées par les différentes missions satellites, une analyse des mouvements passés pourra être réalisée. Ces études his-

toriques peuvent constituer les cartes "d'état zéro" des déplacements de surface sur de longues périodes de temps. Dans le cadre de travaux souterrains, l'analyse de l'impact en surface pourra couvrir la Zone d'Influence Géotechnique mais également les avoisinants plus éloignés grâce à la grande couverture de l'image satellite radar.

Il convient cependant de noter que les changements de surface ont un impact sur la densité de points de mesure obtenue par InSAR. Cette limitation concerne essentiellement les zones

9- Principe de la mesure d'interférométrie radar. Le satellite mesure très précisément le temps de propagation aller-retour de l'onde radar. Le déplacement est calculé par différence des temps mesurés lors des passages consécutifs.

9- Radar interferometry measurement technique. The satellite measures very precisely the radar wave's back-and-forth propagation time. Movement is calculated from the difference in the times measured during consecutive passages.

de végétation (parcs, forêts, zones agricoles...), les zones enneigées, les zones en travaux.

Avec un passage satellite tous les 11 jours pour la mission de Haute Résolution TerraSAR-X utilisée par exemple pour couvrir Paris et la petite couronne dans le cadre du Grand Paris Express, une surveillance "temps réel" des travaux est exclue. Les mises à jour des mesures InSAR fournies sur une base mensuelle viennent ainsi en complément des mesures topographiques automatisées.

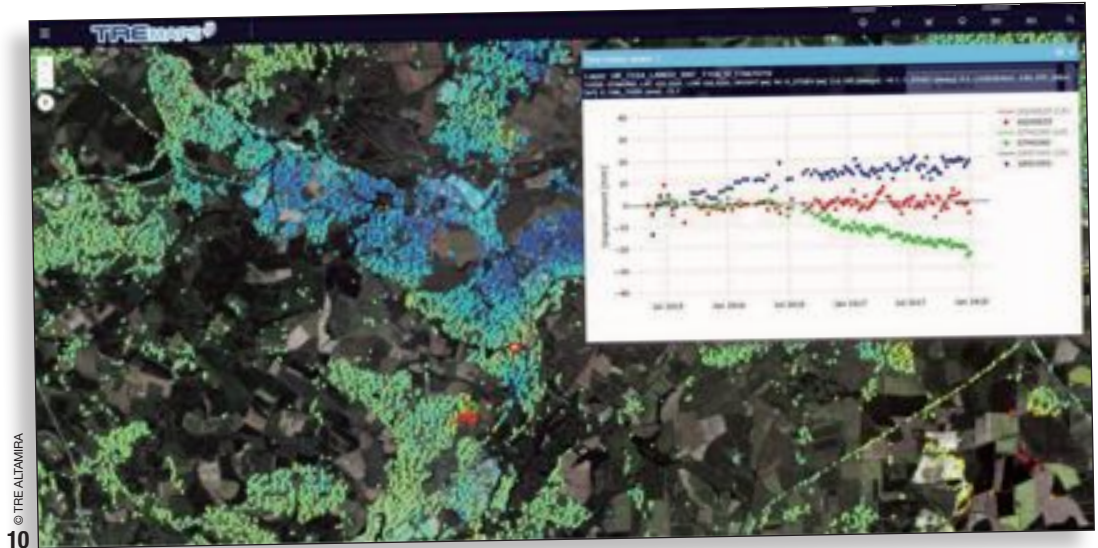
10- Séries temporelles montrant soulèvement et tassement de trois points de mesure détectés par le traitement interférométrique. La dispersion des mesures est de  $\pm 5$  mm maximum et les vitesses moyenne de déplacement peuvent être déterminées avec une précision millimétrique (source Tre Altamira).

11- Système d'acquisition "rapide" avec un des premiers ordinateurs portables à faible consommation, de 16 kbytes de mémoire vive et enregistrement sur micro-cassette (1994).

10- Time series showing heave and subsidence at three measuring points detected by interferometric processing.

The measurement dispersion is at most  $\pm 5$  mm and the average speeds of movement can be determined with millimetric precision (source: Tre Altamira).

11- "Fast" acquisition system with one of the first low-consumption laptop computers, with 16 kbytes of RAM and data saving to micro-cassette (1994).



© TRE ALTAMIRA  
10

### TÉLÉMESURE - RÉSEAUX DE CAPTEURS ET D'ORDINATEURS

Dans les années 1970, l'acquisition était manuelle ou analogique sur de lourds magnétophones Ampex !

Le développement de convertisseurs analogique-numérique de grande précision et leur miniaturisation a permis de passer en quelques années de chaînes d'acquisition lourdes et encombrantes pilotées par les premiers ordinateurs portables (figure 11) à des modules

numériques, basse consommation, configurables en réseau.

La télésurveillance devient possible, les mesures nombreuses relevées automatiquement réduisent les coûts de personnel et permettent des traitements et des éditions de résultats sophistiqués en quasi temps réel !

### DES PROGRÈS DANS L'ORGANISATION ?

La mise en œuvre de ces réseaux de capteurs, d'unités d'acquisition et

d'ordinateurs sur site, les techniques de télécommunication ont démontré l'intérêt de la télémessure et de la télésurveillance dans l'auscultation des ouvrages. Toutefois, ces progrès ne doivent pas faire oublier la complexité croissante des systèmes de mesure à mettre en œuvre dans le cadre de grands projets : très grand nombre de points de mesure, faible standardisation, accès multiples à distance, plannings serrés. Trop souvent, on n'intègre pas suffisamment, dans le projet d'auscultation, les tâches nouvelles à assurer par du personnel multi-qualifié : gestion des systèmes de mesure, administration de bases de données, de réseaux, enregistrement, transmission et archivage de grandes quantités de données, contrôles, maintenance, réparation des systèmes de mesure, traitements complexes et interprétations en liaison avec le concepteur et le maître d'œuvre. Toutes ces tâches ont un impact significatif sur le respect des délais contractuels de validation, de traitement et d'édition des résultats de mesures ainsi que sur la qualité des diagnostics et interprétations qui sont, rappelons-le, les objectifs de toute auscultation. □



© ARCADIS  
11

## ABSTRACT

### INNOVATION IN STRUCTURE MONITORING

BERNARD PINCENT, CONSULTANT

Most structure monitoring sensors were invented more than 80 years ago! Digital photography, satellite imaging, radar interferometry, and widespread measurement automation, even for topographic measurements, are transpositions of technologies developed for other applications. Innovative original inventions have enabled this technical progress in monitoring and the development of remote surveillance of structures; they are now radically changing the organisation of monitoring. □

### INNOVACIÓN EN LA AUSCULTACIÓN DE OBRAS

BERNARD PINCENT, CONSULTANT

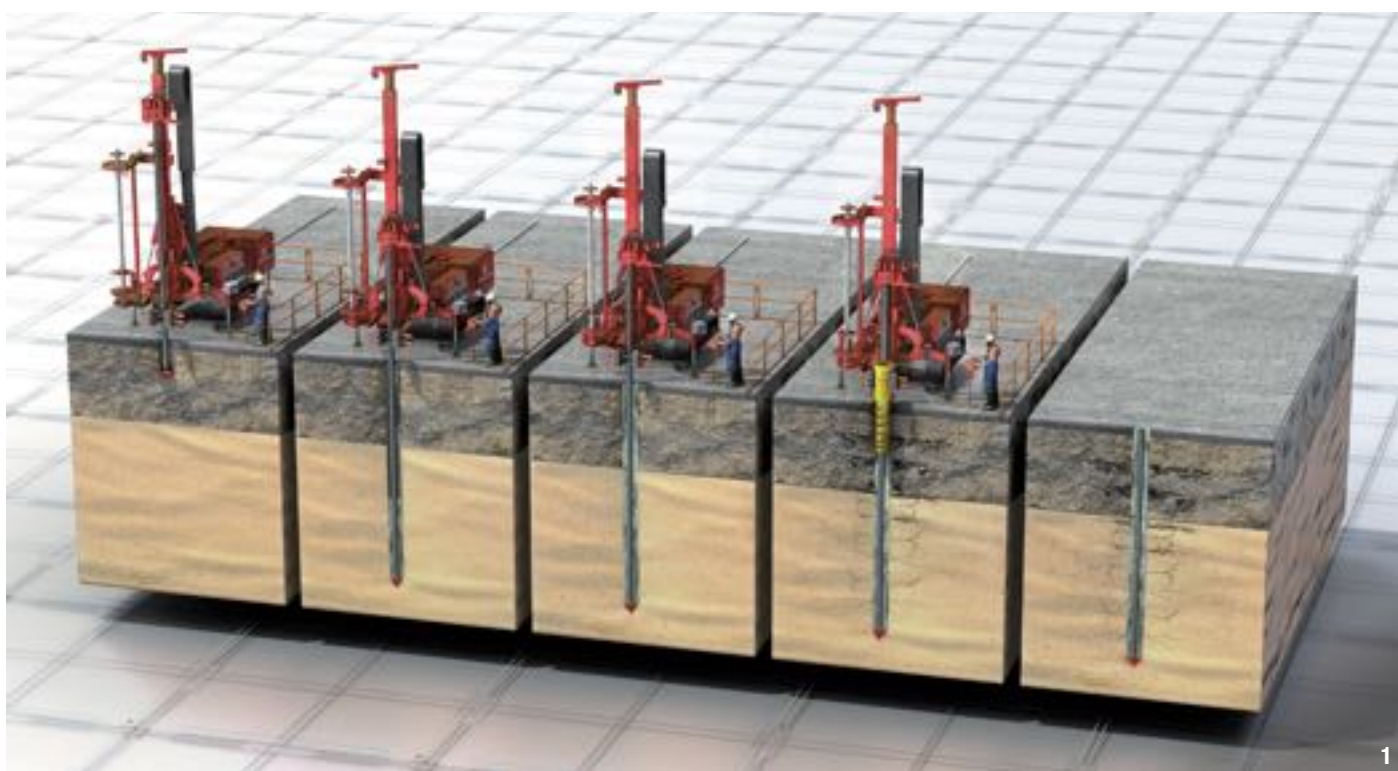
La mayoría de sensores de auscultación de obras fueron inventados hace más de 80 años. La fotografía digital, las imágenes por satélite, la interferometría por radar, la automatización generalizada de las mediciones, incluidas las topográficas, son trasposiciones de tecnologías desarrolladas para otras aplicaciones. Inventos originales e innovaciones han permitido estos progresos técnicos en la auscultación y el desarrollo de la televigilancia de las obras, y actualmente están revolucionando la organización de la auscultación. □



# COMMENT INNOVER AVEC DES MICROPIEUX ? L'INJECTION DE SERRAGE UNITAIRE

AUTEURS : PAUL VIDIL, DIRECTEUR ADJOINT DU BUREAU D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE -  
AURÉLIEN PRUGNAUD, INGÉNIEUR MÉTHODES EXPERT, SOLETANCHE BACHY FRANCE

INNOVER ENCORE EN TERMES DE MICROPIEUX, ALORS QUE TOUT EST DÉJÀ DÉFINI DANS LES NORMES ET LES GUIDES, POURRAIT SEMBLER UNE GAGEURE. C'EST POURTANT CE QUI A ÉTÉ FAIT AVEC LE PROCÉDÉ ISU, INJECTION DE SERRAGE UNITAIRE, QUI EST L'ABOUTISSEMENT D'UNE DÉMARCHÉ DE SOLETANCHE BACHY VISANT, D'UNE PART, À AMÉLIORER LA QUALITÉ D'EXÉCUTION DES MICROPIEUX INJECTÉS ET, D'AUTRE PART, À RENDRE PLUS EFFICACE LA RÉALISATION DES MICROPIEUX.



1 © SOLETANCHE BACHY

## INTRODUCTION

La norme d'application nationale de l'Eurocode 7 pour les fondations profondes, NF P94-262, définit quatre types de micropieux : les micropieux type I et II, les micropieux injectés mode IGU (type III) et mode IRS (type IV). Or, force est de constater que les micropieux type III sont ceux qui donnent les résultats d'essais les plus variables en ce qui concerne le frottement axial : ils sont en effet fortement tributaires du

temps d'attente entre le remplissage du coulis de gaine et l'injection d'un deuxième coulis sous pression dans le forage.

Le présent article traite d'un nouveau type de micropieu proposé par Soletanche Bachy, intitulé micropieu sous Injection de Serrage Unitaire, dit micropieu ISU, qui a pour conséquence la suppression de ce temps d'attente et l'amélioration de la résistance des micropieux injectés.

**1- Présentation schématique des différentes phases de réalisation du micropieu ISU.**

**1- Schematic overview of the various phases of execution of the "ISU" micropile.**

Ce nouveau procédé est particulièrement efficace en complément de techniques autoforées et Hi'Drill®.

Cette innovation fait l'objet d'un Cahier des Charges Particulier, initialement validé par Bureau Veritas, puis évalué et validé par l'Ifsttar et le Cerema.

Enfin, à noter que ce procédé a reçu le prix de l'innovation Vinci, région Île-de-France, lors de la dernière édition, dans la catégorie "procédés et techniques".

## RÉFÉRENTIEL DE L'INNOVATION

Dans l'article 9 du premier chapitre de la norme NF P94-262, il est indiqué : « Des procédés de fondations profondes non décrits dans le présent document, soit en termes d'exécution, soit en termes de matériaux constitutifs, pourront être utilisés à condition qu'ils aient fait l'objet d'un cahier des charges particulier comprenant les spécifications d'exécution bien précises, ainsi que les valeurs adéquates des paramètres de capacité portante et de résistance des matériaux. Ces valeurs devront être basées sur des justifications expérimentales. Notamment, en ce qui concerne la capacité portante, les valeurs des paramètres doivent être déduites d'un ensemble d'essais de chargement de pieux réalisés dans des contextes géotechniques comparables couvrant ceux prévalant pour le projet ». Le procédé de micropieux autoforés Hi'Drill® ISU décrit dans le présent article rentre tout à fait dans la catégorie de ces procédés non décrits dans la norme.

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROCÉDÉ

La particularité du système d'injection, en lieu et place du tube à manchettes utilisé pour les micropieux de types III et IV, est une virole en tête de forage, venant chapeauter l'armature et permettant l'injection du micropieu (figure 1).

L'amélioration de la qualité d'exécution se fait en supprimant le temps d'attente entre le remplissage du coulis de gaine et l'injection du deuxième coulis sous pression dans le forage. Cela permet de s'affranchir du risque d'une prise excessive de la gaine, ne permettant plus sa traversée radiale par le coulis injecté ensuite sous pression et, a contrario, d'une prise insuffisante de la gaine provoquant des fuites de coulis vers la surface.

L'efficacité se traduit par un gain global de temps. Le procédé permet ainsi d'optimiser chacune des phases nécessaires à la réalisation complète d'un micropieu :

- 1- Durant le forage, par le recours au Hi'Drill® ;
- 2- Pendant l'équipement, avec la méthode autoforée ;
- 3- Et lors de l'injection, avec le système ISU.

## DIFFÉRENTIANT TECHNIQUE

Le concept de micropieu autoforé Hi'Drill® avec Injection de Serrage Unitaire est détaillé ci-dessous :



2



3

© SOLETANCHE BACHY

**2- Mise en place de la virole.**

**3- Raccordement de la conduite d'injection.**

**2- Placing the casing.**

**3- Connecting the grouting pipe.**

→ La méthode de forage est Hi'Drill® ; c'est-à-dire qu'en plus de l'action traditionnelle de la tête sur les tiges de forages en translation et rotation, la pénétration dans le terrain peut être améliorée par l'entraînement des tiges de forage en vibration axiale, à une fréquence comprise entre 50 Hz et 200 Hz.

→ La méthode de mise en place de l'armature est "autoforée" ; l'outil de forage est perdu et les tubes ont pour fonction définitive l'armature du forage.

Or, un micropieu dont le forage a été fait en Hi'Drill®, ou un micropieu qui a été fait à l'outil perdu, se calculent usuellement en appliquant la norme NF P94-262. Le caractère innovant est clairement l'Injection de Serrage Unitaire ; les procédés Hi'Drill® et autoforé ont été ajoutés pour maximiser l'efficacité lors de la réalisation du micropieu. Il arrive néanmoins que le Hi'Drill® ne permette pas d'apporter un gain d'efficacité significatif dans la réalisation des micropieux ; il est alors remplacé par une autre méthode de forage plus adaptée.

## MISE EN ŒUVRE

Les tubes d'armature du micropieu sont utilisés comme tiges de forage, avec,

à leur extrémité, un outil de forage débordant de diamètre correspondant à celui du forage et adapté au terrain. La circulation du fluide de forage se fait au travers des tiges de forage jusqu'à l'ouverture au niveau de l'outil de forage. Le fluide remonte via l'espace annulaire entre les parois du forage et les tiges. Cette circulation permet l'évacuation des déblais générés par le forage. Le fluide utilisé peut également permettre, si nécessaire, de stabiliser les parois du forage et de maintenir le niveau hydrostatique.

L'avancement du forage jusqu'à la profondeur requise est permis par l'action de la tête de la foreuse sur les tiges de forage.

Au fur et à mesure de l'avancement du forage, des tiges de forage sont raboutées par vissage entre le train de tige déjà en place dans le forage et la tête de la foreuse. La longueur des tiges est déterminée en fonction de la longueur totale du forage et des limitations imposées par la foreuse ou par la configuration du site.

En cours de forage, le système d'acquisition de données de type Sirius® permet de visualiser les valeurs des paramètres de forage (circulation du fluide, translation, rotation, vibration). Une fois la profondeur requise atteinte, il est procédé à la substitution du fluide de forage par le coulis de scellement avec un C/E variant de 1,8 à 2,4. Ce coulis suit la même circulation que le fluide de forage au travers des tiges de forage jusqu'à l'ouverture au niveau de l'outil de forage, puis il remonte via l'espace annulaire entre les parois du forage et les tiges. L'opération est terminée lorsque le coulis de scellement s'est substitué au fluide de forage et a complètement rempli le forage jusqu'à la surface, en débordement. La tête de la foreuse est ensuite déconnectée du train de tige de forage. Le train de tige est laissé en place dans le forage et prend alors sa fonction définitive de tube d'armature du micropieu. Juste après l'opération précédente, et avant le début de la prise du coulis, le système de virole d'injection est mis en place entre les guillotines de la foreuse avec les moyens adaptés de levage disponibles sur site.

Le système est alors raccordé à la tête de rotation via le train de tige.

Une fois les guillotines ouvertes, le système vient coiffer le micropieu et il est entraîné en rotation (figure 2) jusqu'à s'ancre dans le terrain sur une profondeur de 1 m minimum, afin d'éviter la résurgence du coulis lors de l'injection. ▷



La conduite d'injection (figure 3) est ensuite raccordée à la tête de ce système, ce dernier étant toujours liaisonné à la tête de rotation, afin d'empêcher sa remontée du fait des sous-pressions liées à l'injection.

L'injection au coulis E/C de 0,42 à 0,55 est poursuivie jusqu'à l'obtention d'au moins l'un des deux critères suivant :

- Pression d'arrêt : 1 MPa.
- Volume d'arrêt : max (1,5 fois le volume théorique de la partie scellée définie par le calcul ; 0,5 fois le volume théorique du micropieu).

Une fois l'un des deux critères d'arrêt atteint, le micropieu ISU est terminé, la conduite d'injection peut être enlevée et le système dévissé du terrain et de la foreuse afin de réaliser le micropieu suivant.

#### ESSAIS RÉALISÉS

Différents essais de traction de ce procédé ISU (figure 4) ont été réalisés dans plusieurs types de terrains, sur 4 chantiers différents, et ont été comparés à des essais menés sur les mêmes sites, sur des micropieux traditionnels de type III.

À ce jour, des essais à la rupture ont ainsi été menés avec le système Hi'Drill® ISU dans les terrains suivants :

- Type de sol "sable grave" (dénomination géologique "Alluvions Anciennes") ;
- Type de sol "craie" (dénomination géologique "Craie") ;
- Type de sol "marne" et "calcaire-marneux" (dénomination géologique "Calcaire" et "Marnes et Caillasses").



© SOLETANCHE BACHY

Le tableau 1 donne la répartition de ces essais par terrain.

Sur le graphe (figure 5) sont superposés, pour chaque terrain d'ancrage, les frottements latéraux issus de la norme NF P94-262 pour des micropieux de type III ( $q_s$  et  $q_{s,max}$ ), et les  $q_s$  issus des essais (type III et ISU).

Les enseignements à tirer des 18 essais dans les alluvions anciennes, la craie, le calcaire, et les marnes et caillasses, sont les suivants :

- Les charges obtenues de fluage ou à la rupture sont comparables entre les micropieux type III et les micropieux ISU ;
- Les valeurs de frottement latéral sont quasiment les mêmes entre des micropieux type III et des micropieux ISU ;
- Les frottements latéraux limites  $q_s$  obtenus peuvent être d'ailleurs supérieurs pour certains terrains aux valeurs de  $q_{s,max}$  de la norme NF P94-262.

Le procédé Hi'Drill® autoforé ISU est par conséquent équivalent en termes de frottement latéral à des micropieux injectés mode IGU (type III).

#### 4- Dispositif d'essai à la rupture de micropieux en traction.

#### 5- Synthèse comparative des différents essais de micropieux.

#### 4- Micropile tensile strength test device.

#### 5- Comparative overview of the various micropile tests.

gressivement de constituer une base d'essais avec ce procédé, dans le but, à terme, de définir des abaques associés à un nouveau jeu de coefficients de modèle.

#### À PROPOS DU NOMBRE D'ESSAIS RÉALISÉS

À l'origine du Cahier des Charges Particulier, évalué et validé par l'Ifsttar et le Cerema, il y a donc un total de 18 essais : 9 essais de micropieux ISU et 9 essais de micropieux type III à titre comparatif.

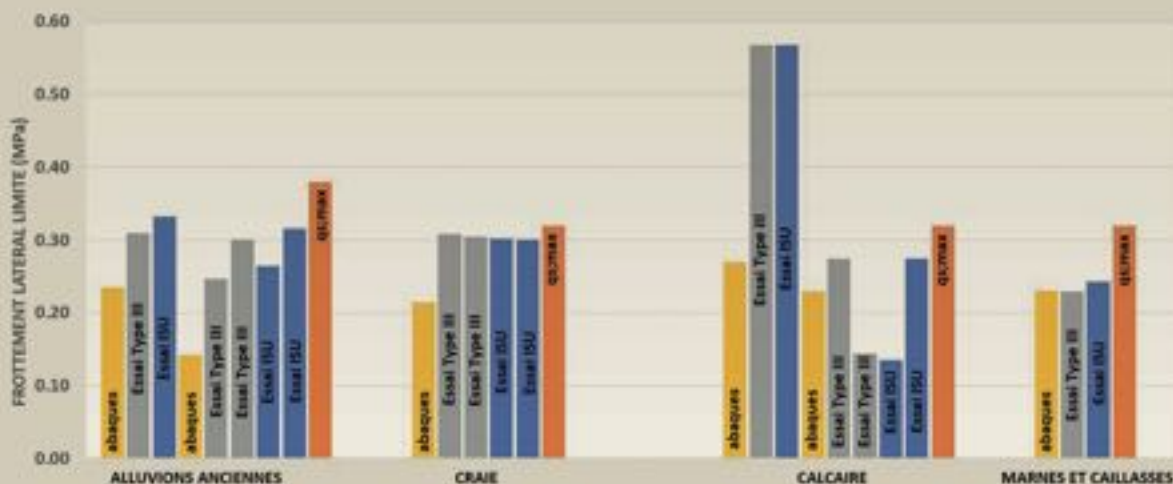
D'aucuns pourraient prétendre que le nombre d'essais avec ce nouveau procédé est pour l'instant relativement réduit.

Or, il est important de rappeler que les abaques de dimensionnement de la norme NF P94-262 reposent, eux aussi, sur un nombre réduit d'essais de micropieux.

F. Baguelin, S. Burlon, M. Bustamante, Roger Frank, L. Gianeselli, et al., dans leur article "Justification de la portance des pieux avec la norme Fondations profondes NF P94-262 et le pressiomètre", lors des Journées Nationales

Il est donc possible, dans les terrains cités ci-dessus, de ranger la technique de mise en œuvre "Micropieu Hi'Drill® autoforé ISU", en classe 8 et en catégorie 19 (au sens de l'annexe A de la norme NF P94-262), comme les micropieux type III. D'autres essais vont être menés prochainement. Cela permettra pro-

## SYNTHÈSE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS ESSAIS DE MICROPIEU



© SOLETANCHE BACHY

TABLEAU 1 : RÉPARTITION PAR TERRAIN DES ESSAIS RÉALISÉS

Nombre d'essai de micropieux	Type de sol de la NF P94-262					
	Argile CaCO <sub>3</sub> >30% Limon	Sols intermédiaires	Sable Grève	Craie	Marne Calcaire-marneux	Roche altérée ou fragmentée
Type ISU	-	-	3	2	4	-
Type III comparatif	-	-	3	2	4	-

de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG 2012 à Bordeaux, précisent les conditions d'établissement des abaques de la norme.

Les pieux testés dans la norme sont répartis, selon leur technologie de réalisation, en huit classes et vingt catégories qui sont présentées dans le tableau 1. Deux groupes complémentaires sont définis pour l'exploitation de la base de données : le groupe G1 regroupant tous les pieux, hormis les catégories 10 (Battu enrobé béton - mortier - coulis), 15 (Profilé H battu injecté) et 17 à 20 (micropieu type I

**6- Répartition des essais par type de sol et type de pieu.**

**7- Fonctions de répartition de R<sub>c,cal</sub>/R<sub>c,mes</sub> pour les pieux du groupe G1.**

**6- Breakdown of tests by soil type and pile type.**

**7- R<sub>c,cal</sub>/R<sub>c,mes</sub> distribution functions for group G1 piles.**

et II, pieu ou micropieu injecté mode IGU type III et mode IRS type IV) regroupées dans le groupe G2.

Les micropieux type III et IV font partie des catégories normatives 19 et 20, regroupées dans la classe 8.

Le tableau (figure 6), extrait de leur article, montre que le nombre d'essais de micropieux type III et IV utilisés dans la norme est de 10, pour l'ensemble des terrains testés. Cela est donc tout à fait comparable aux 9 essais de micropieux ISU et 9 essais de micropieux type III réalisés à titre comparatif.

**FIABILITÉ DU PROCÉDÉ**

La norme NF 94-282 inclut une certaine probabilité de mise en défaut. En pratique, cela signifie que la totalité des essais réalisés ne donne pas des valeurs de résistance au-dessus de l'abaque préconisé pour un terrain donné.

En considérant :

→ R<sub>c,cal</sub>, la charge limite calculée ;

→ R<sub>c,mes</sub>, la charge de rupture mesurée ou estimée ;

→ γ<sub>rd1</sub>, le coefficient de modèle lié à la dispersion du modèle de calcul, la fiabilité correspond au taux de fréquence cumulée d'essais ayant un rapport R<sub>c,cal</sub>/R<sub>c,mes</sub> inférieur ou égal à γ<sub>rd1</sub>.

Sur le premier graphique (figure 7), extrait de F. Baguelin et al., est porté en abscisse le rapport résistance calculée/résistance mesurée, et en ordonnée la fréquence cumulée de la base d'essais nationale pour les fondations de groupe 1. Le coefficient partiel γ<sub>rd1</sub> fixé à 1,15 pour les pieux non injectés dans la norme correspond à une mise en défaut de 83%.

Le graphique suivant (figure 8), extrait du même article, montre que le coefficient partiel à considérer pour les pieux injectés (groupe 2) doit être supérieur pour obtenir la même mise en défaut. Ce qui explique pourquoi, dans la norme, les coefficients γ<sub>rd1</sub> sont plus élevés pour les pieux injectés.

Enfin, le dernier graphique (figure 9) montre qu'en exploitant les essais ISU, la fiabilité est de 93%, en n'affectant les résultats que d'un facteur partiel de 1,15, inférieur à celui des micropieux de la base de données nationale qui varie de 1,4 à 2,0.

Le procédé ISU a ainsi une fiabilité bien plus importante que celle de la norme NF P94-262. Les prochains essais et chantiers permettront d'affiner ces données et potentiellement de définir de nouveaux coefficient partiels γ<sub>rd1</sub>.

**MICROPIEUX EN PRODUCTION**

Après la phase d'essais de micropieux ISU en marge des chantiers de production, commence petit à petit l'acquisition de chantiers où tout ou partie des micropieux de l'ouvrage sont réalisés avec le procédé ISU.

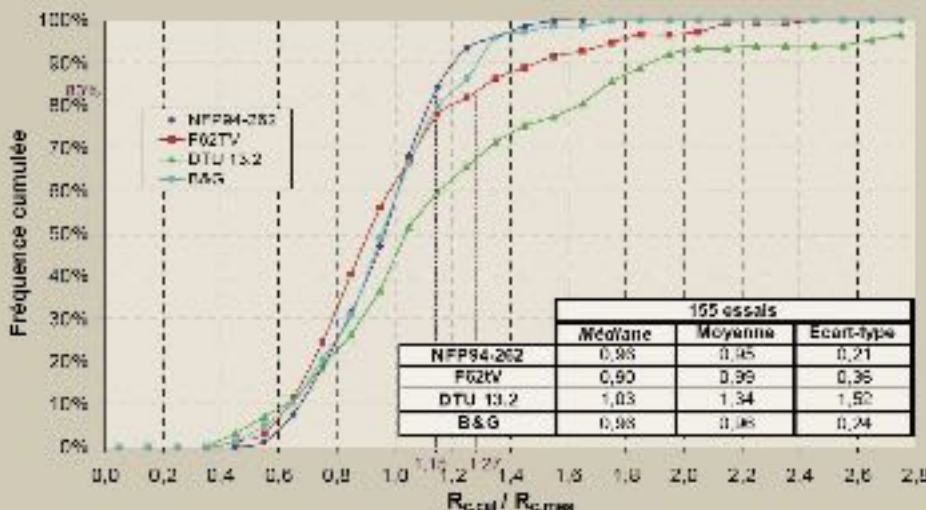
Tout d'abord, quelques micropieux ISU ont été réalisés en mars 2019 à Deauville, sur la presqu'île de la Touque, pour fonder 2 bâtiments entre le bassin des Yachts et le bassin Morny. C'est surtout avec le chantier SNCF de Luynes, près d'Aix en Provence, que le procédé va être mis en œuvre à grande échelle, ▷

RÉPARTITION DES ESSAIS PAR TYPE DE SOL ET TYPE DE PIEU

Type de sol	Classes du pieu										Groupe de pieux	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Argile limon	10	13	8	12	5	4	2	0	0	0	32	3
Sable Grève	4	8	14	14	5	1	4	3	4	3	48	5
Craie	4	0	4	5	1	2	4	0	0	0	21	3
Marne et Calcaire Marneux	8	1	3	11	0	1	3	4	1	1	35	5
Roche altérée ou fragmentée	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3
Total	30	22	29	41	15	8	13	10	10	10	155	19

6

FONCTIONS DE RÉPARTITION DE R<sub>c,CAL</sub>/R<sub>c,MES</sub> POUR LES PIEUX DU GROUPE G1



7



8- Fonctions de répartition de  $R_{c,cal}/R_{c,mes}$  pour les pieux des classes 1 et 4 et des groupes G1 et G2.

9- Fonction de répartition de  $R_{c,cal}/R_{c,mes}$  pour les micropieux ISU testés.

8-  $R_{c,cal}/R_{c,mes}$  distribution functions for piles of classes 1 and 4 and groups G1 and G2.

9-  $R_{c,cal}/R_{c,mes}$  distribution function for tested "ISU" micropiles.

puisqu'il est prévu près de 200 micropieux ISU pour fonder des écrans acoustiques.

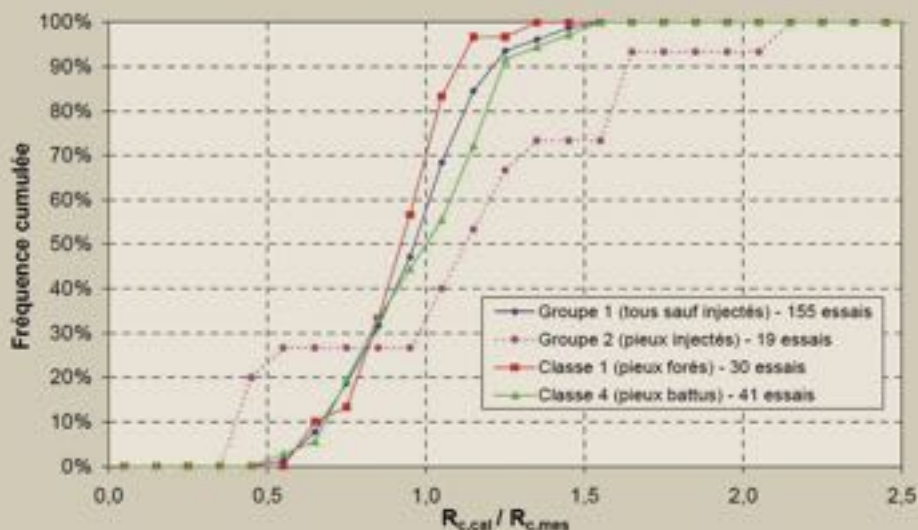
Le groupement Vinci Construction Terrassement/Soletanche Bachy a été retenu pour mener à bien la réalisation d'écrans acoustiques sur les secteurs "Luyne" et "Aix Schuman". Une variante d'injection des micropieux par le procédé d'Injection de Serrage Unitaire ISU a permis de remplacer les fondations qui étaient en solution de base en micropieux type III.

Les premiers micropieux ISU vont démarrer en janvier 2020, après les essais préalables en fin d'année 2019. Le programme de production prévoit 2 phases :

- De fin janvier à fin février 2020, avec une foreuse ;
- De mi-juillet à début septembre 2020, avec du matériel Rail-Route (pelle et glissière de forage).

À suivre donc ! □

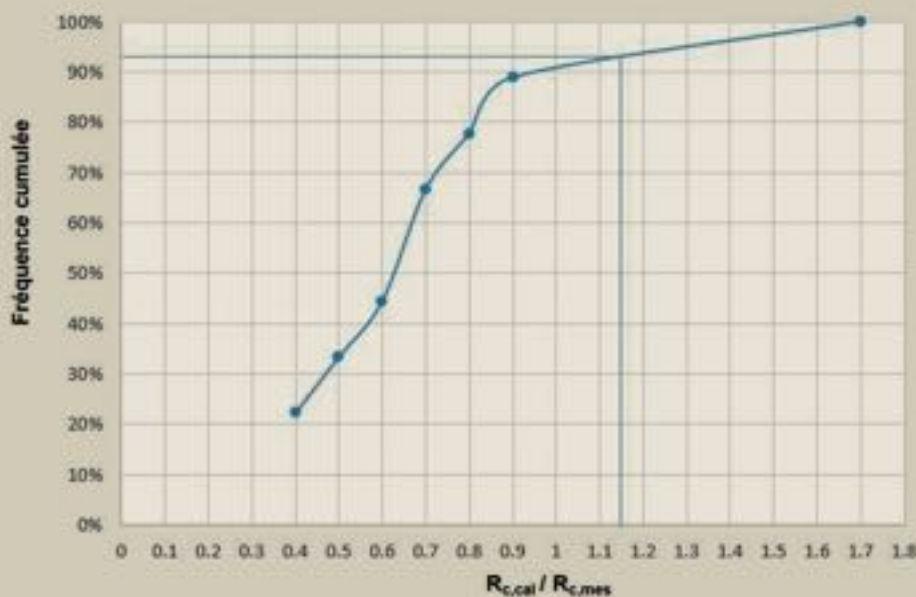
## FONCTIONS DE RÉPARTITION DE $R_{c,cal}/R_{c,mes}$ POUR LES PIEUX DES CLASSES 1 ET 4 ET DES GROUPES G1 ET G2



8

© F. BAGUELIN, S. BURLON, M. BUSTAMANTE, ROGER FRANK, L. GIANESSELLI, ET AL.

## FONCTION DE RÉPARTITION DE $R_{c,cal}/R_{c,mes}$ POUR LES MICROPIEUX ISU TESTÉS



9

© SOLETANCHE BACHY

### ABSTRACT

#### HOW TO INNOVATE WITH MICROPILES? SINGLE-STAGE IMMEDIATE POST GROUTING

PAUL VIDIL, SOLETANCHE BACHY - AURÉLIEN PRUGNAUD, SOLETANCHE BACHY

**A new micropile type**, under single-stage immediate post grouting, the "ISU" micropile, is the culmination of a Soletanche Bachy programme aiming to improve the quality of execution of grouted micropiles and, at the same time, improve the efficiency of execution. Numerous tests have been conducted, leading to the establishment of Particular Technical Specifications, initially validated by Bureau Veritas, then evaluated and validated by Ifsttar and Cerema. It has been demonstrated that the ISU process offers a load-bearing capacity identical to that of type III and a reliability exceeding that of the Eurocode 7 national application standard for deep foundations NF P94-262. □

#### ¿CÓMO INNOVAR CON MICROPILOTES? LA INYECCIÓN DE SUJECCIÓN UNITARIA

PAUL VIDIL, SOLETANCHE BACHY - AURÉLIEN PRUGNAUD, SOLETANCHE BACHY

**El nuevo tipo de micropilote** con Inyección de Sujeción Unitaria, llamado "micropilote ISU", es el resultado de un proyecto de Soletanche Bachy que pretendía, por una parte, mejorar la calidad de ejecución de los micropilotes inyectados y, por otra, mejorar la eficacia de su realización. Se llevaron a cabo numerosos ensayos, que condujeron a la redacción de un pliego de condiciones particular, inicialmente validado por Bureau Veritas, y seguidamente evaluado y validado por el Ifsttar y el Cerema. Ha quedado demostrado que el procedimiento ISU ofrece una capacidad de carga idéntica a la del tipo III y una fiabilidad superior a la de la norma de aplicación nacional del Eurocódigo 7 para cimentaciones profundas NF P94-262. □







1  
© AGGNEO

# LE PROJET NATIONAL FASTCARB : STOCKAGE DE CO<sub>2</sub> PAR CARBONATATION DU BÉTON RECYCLÉ

AUTEURS : XAVIER GUILLOT, RESPONSABLE CERTIFICATION PRODUITS ET VEILLE NORMATIVE, LAFARGEHOLCIM FRANCE - JEAN-MICHEL TORRENTI, DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT MATÉRIAUX ET STRUCTURES, IFSTTAR

CONSTRUIRE EN BÉTON NE SERA POSSIBLE DANS LE FUTUR QUE SI LES ÉMISSIONS DE GES RELATIVES À CE MATÉRIAU DIMINUENT. LE PROJET FASTCARB S'INSCRIT DANS CET OBJECTIF. IL VISE À STOCKER DU CO<sub>2</sub> DANS LES GRANULATS RECYCLÉS, EN AMÉLIORANT LEUR QUALITÉ PAR LE COLMATAGE DE LA POROSITÉ. IL A DEUX OBJECTIFS PRINCIPAUX : 1- OPTIMISER EN LABORATOIRE LE PROCESSUS DE CARBONATATION ACCÉLÉRÉE POUR LE TRANSPOSER EN MILIEU INDUSTRIEL, 2- PROPOSER DES DISPOSITIFS PILOTES À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE POUR PROUVER LA FAISABILITÉ À UN COÛT APPROPRIÉ. DES GRANULATS DE BÉTONS RECYCLÉS (GBR) SERONT CARBONATÉS SELON LES PROCÉDÉS INDUSTRIELS SÉLECTIONNÉS PUIS UTILISÉS DANS DIVERS ÉLÉMENTS EN BÉTON.

## INTRODUCTION

Le recyclage des déchets du bâtiment, dont les bétons de déconstruction, est un sujet très actuel et fait l'objet de plusieurs articles dans le Projet de Loi sur l'Économie Circulaire. Son intérêt est aujourd'hui renforcé par la volonté de la Commission Européenne d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Cet objectif très ambitieux implique la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans toutes les activités humaines mais elle ne pourra pas être atteinte sans le développement de puits de carbone. Or comme la biomasse ou l'enfouissement à grande profondeur, le béton

de déconstruction, peut en être un. En effet, la production d'un ciment Portland pur génère environ 500 kg/t de ciment de CO<sub>2</sub> lié à la décarbonation du calcaire utilisé comme matière première (une autre partie du CO<sub>2</sub> émis est due aux combustibles utilisés pour chauffer le four. Cette partie peut être réduite par l'utilisation comme combustible de déchets ou de matériaux renouvelables). Ce CO<sub>2</sub> émis peut être recapté par le béton : c'est la carbonatation. Celle-ci est naturelle ou bien, et c'est l'objet principal de FastCarb, accélérée en utilisant d'une part des granulats de béton recyclé (GBR) et d'autre

**1- Concasseur mobile et sable recyclé 0/4 - Plateforme de recyclage Aggneo® de Saint-Fons.**

**1- Mobile crusher and 0/4 recycled sand - Aggneo® recycling platform at Saint-Fons.**

part les gaz industriels enrichis en CO<sub>2</sub>. Ce projet s'inscrit dans le cadre de la loi sur la transition énergétique et a bénéficié à ce titre d'une aide du ministère de la transition écologique et solidaire. Il a démarré fin 2017.

Après avoir rappelé brièvement les phénomènes physiques mis en jeu, les premiers résultats du projet sont présentés en focalisant sur 3 aspects : la prise en compte de la carbonatation naturelle dans les bilans environnementaux des structures en béton, les paramètres optimisant le processus de carbonatation accélérée et enfin une présentation des démonstrateurs mis en place.

2- Influence de la teneur en eau sur le CO<sub>2</sub> stocké ; carbonatation pendant 24h sous 100% de CO<sub>2</sub> de deux types de granulats recyclés.

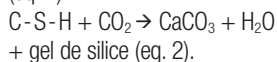
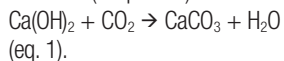
3- Effet de la carbonatation sur l'absorption d'eau en fonction du % en CO<sub>2</sub> du gaz. La référence correspond à des granulats recyclés non carbonatés.

2- Influence of water content on stored CO<sub>2</sub>; carbonation of two types of recycled aggregates for 24 hours under 100% CO<sub>2</sub>.

3- Effect of carbonation on the absorption of water as a function of the gas CO<sub>2</sub> percentage. The reference corresponds to non-carbonated recycled aggregates.

## CARBONATATION NATURELLE

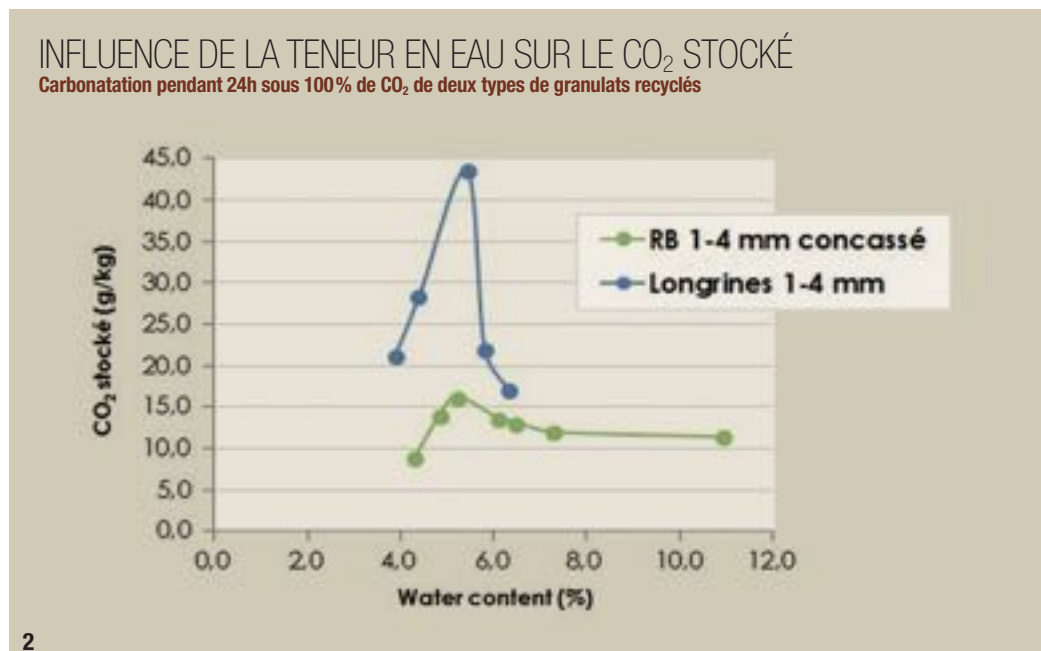
La carbonatation est la réaction du CO<sub>2</sub> avec les hydrates de la pâte de ciment hydratée (portlandite et C-S-H) selon les réactions (simplifiées) suivantes :



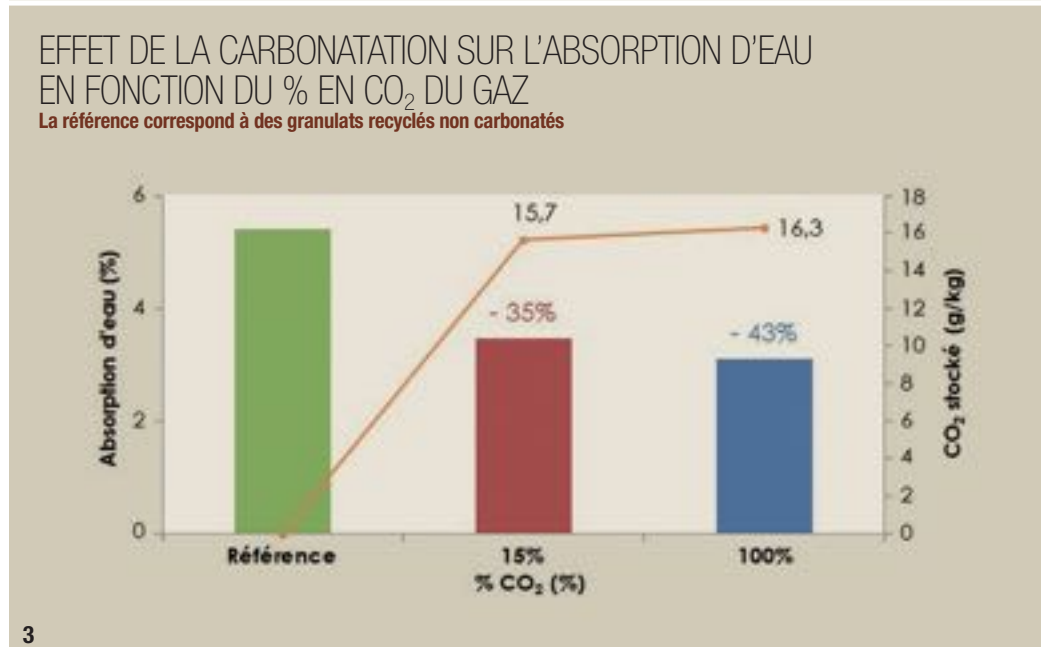
Les conséquences de ces réactions sont les suivantes :

→ La consommation des ions OH<sup>-</sup> qui entraîne un abaissement du pH de la solution interstitielle du béton, de 13 à 9 environ. Ce phénomène peut entraîner la corrosion des armatures et c'est pour cela que, dans les structures en béton armé, on essaye de le compenser par l'enrobage, couche de béton qui protège les armatures. Dans le cas des granulats recyclés traités, ils seront mélangés de nouveau à du ciment qui va apporter sa basicité, la carbonatation n'est pas vue comme un problème mais comme un puits de carbone.

→ Une prise de masse et une diminution de la porosité totale. Cette prise de masse correspond au piégeage du CO<sub>2</sub>.



2



3

© MARIE SERENG

Quand on fait le bilan environnemental d'une structure incluant du béton, il convient de tenir compte du fait que, naturellement, le béton recapture une partie du CO<sub>2</sub> émis lors de la décarbonatation du calcaire. Le fascicule de documentation CEN/TR 17310 "Carbonatation et absorption du CO<sub>2</sub> dans le béton", qui vient en complément de la norme NF EN 16757 "Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant la catégorie de produits pour le béton et les éléments en béton", donne les éléments permettant l'estimation du CO<sub>2</sub> repris pendant l'étape d'utilisation (module B) et pendant l'étape de fin de vie (module C).

Les applications de ces documents normatifs à des cas types (bâtiment avec des voiles et planchers en béton) ou à un cas réel (résidence étudiante préfabriquée à la Rochelle) montrent que la carbonatation naturelle conduit à la réabsorption de 10 à 15% du CO<sub>2</sub> émis par décarbonatation pendant la vie en service et 25 à 30% pendant la phase de déconstruction. On retrouve un total d'environ 40% ce qui est en accord avec les estimations proposées au niveau international.

## CARBONATATION ACCÉLÉRÉE EN LABORATOIRE

La carbonatation naturelle a, heureusement, une évolution très lente.

Pour optimiser la durée d'un traitement industriel, il convient donc d'accélérer ce phénomène, ce qui est possible par différentes techniques qui font en général intervenir une pression partielle de CO<sub>2</sub> largement plus élevée que dans la nature, une éventuelle surpression, un éventuel chauffage. Le fait d'appliquer le traitement à des granulats recyclés est aussi un avantage grâce à une plus grande surface d'échange.

Les premiers résultats en laboratoire montrent que l'on peut atteindre en un temps raisonnable une quantité importante de CO<sub>2</sub> stocké. Cette quantité varie entre 10 et 80 kg/t de granulats selon différents paramètres des essais. Les principaux paramètres influents sont les suivants :





4

© VICAT



5

© LAFARGEHOLCIM

- La teneur en eau des granulats. Comme pour la carbonatation naturelle, il existe un optimum de teneur en eau pour maximiser la carbonatation. Ce paramètre est crucial car une teneur en eau trop basse ou trop haute peut faire chuter très fortement le taux de carbonatation. La figure 2, issue des travaux de la thèse de Marie Sereng, illustre ce point (voir encadré).
- La nature des granulats, et notamment le type de ciment utilisé. En effet plus le ciment contient d'addition et moins il a de matière recarbonatable.
- La taille des granulats. Les granulats plus petits ont une surface d'échange plus grande et, en général, une quantité de pâte de ciment

plus importante que les granulats de grande taille.

- La température. Des essais de la littérature montrent que, si on augmente la température par rapport à l'ambiante jusqu'à 100°C, on favo-

rise la réaction. Ce point est très important car, dans les installations industrielles qui utiliseront des gaz issus de combustion la température sera naturellement plus élevée que l'ambiante.

**4- Sécheur à tambour rotatif sur le site de la cimenterie Vicat de Créchy.**

**5- Sécheur à lit fluidisé sur le site de la cimenterie LafargeHolcim de Val d'Azergues.**

**4- Rotary drum dryer on the site of Vicat's Créchy cement plant.**

**5- Fluidised-bed dryer on the site of LafargeHolcim's Val d'Azergues cement plant.**

## THÈSE DE MARIE SERENG

La thèse de Marie Sereng se déroule à l'Ifsttar et a pour titre provisoire "Amélioration des propriétés des granulats recyclés par carbonatation accélérée - Étude de la faisabilité pré-industrielle". Elle comprend deux volets principaux : d'une part le développement de protocoles de carbonatation accélérée de granulats de béton recyclé et l'étude des paramètres affectant le processus et, d'autre part, l'effet de la carbonatation sur les propriétés de ces granulats. La thèse est encadrée par Assia Djerbi, Othman Omikrine-Metalssi, Patrick Dangla et Jean Michel Torrenti.

Les premiers essais de FastCarb ont bien confirmé que la carbonatation accélérée permettait de réduire l'absorption d'eau des granulats recyclés. La figure 3 montre aussi que le gain apporté par une utilisation de CO<sub>2</sub> pur par rapport à un gaz concentré à 15 % de CO<sub>2</sub> n'est pas très important. Ceci est également un résultat majeur pour les installations industrielles comme les cimenteries où la concentration en CO<sub>2</sub> est voisine de 15 %. Des essais avec des compositions de gaz simulant celles de cimenteries (et contenant du NO<sub>2</sub> et du SO<sub>2</sub>) sont également lancés dans le cadre de FastCarb.

Les essais sont complétés par un travail de modélisation qui a aussi pour objectif de mieux cerner les paramètres influents sur le phénomène de carbonatation accélérée afin d'optimiser le passage à l'échelle industrielle.

### LES DÉMONSTRATEURS

Le projet FastCarb a pour objectif d'appliquer le procédé de carbonatation accélérée à une échelle industrielle sur des GBR (sables et gravillons) typiques (figure 1).

En coordination avec les expérimentations et la modélisation, des fabrications en conditions industrielles vont être réalisées afin de tester la faisabilité des méthodes. Ces fabrications combineront l'objectif du projet avec les gaz disponibles (par exemple récupérés en sortie d'un four de cimenterie) et les techniques pouvant être mises en œuvre. Les granulats ainsi traités seront caractérisés et les résultats seront comparés à ceux obtenus en laboratoire notamment afin de vérifier l'applicabilité des modèles développés. Trois démonstrateurs sont prêts à démarrer l'expérimentation à grande échelle :



6  
© CLAMENS

6- Conteneur sur le site Clamens.

6- Container on the Clamens site.

- Un sécheur à tambour rotatif sur le site de la cimenterie Vicat de Créchy (figure 4) ;
- Un sécheur à lit fluidisé sur le site de la cimenterie LafargeHolcim de Val d'Azergues (figure 5) ;

→ Un conteneur aménagé sur le site de la société de recyclage Clamens (figure 6).

À partir des matériaux traités dans ces installations, des bétons seront réalisés, y compris pour couler des éléments préfabriqués ou des parties d'ouvrages coulés in-situ. Cela permettra de mesurer l'impact du traitement sur la compacité des grains et leurs performances mécaniques dans les bétons dans lesquels ils sont recyclés pour, le cas échéant, préciser les conséquences en termes d'optimisation des formulations. L'objectif est aussi de caractériser les bétons incorporant les granulats recyclés carbonatés d'un point de vue mécanique mais aussi leurs propriétés de durabilité. Du point de vue durabilité, il sera vérifié notamment que le traitement des granulats n'impacte pas le risque de corrosion des armatures de béton armé.

### CONCLUSIONS

Les premiers résultats du projet national FastCarb montrent qu'il est possible de stocker dans les granulats de béton recyclé une partie significative des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production du ciment. Le projet continue d'investiguer en laboratoire les paramètres essentiels d'un procédé de carbonatation accélérée. Le passage à l'échelle industrielle va maintenant démarrer et permettre de fabriquer une quantité importante de granulats carbonatés. Ceux-ci seront ensuite utilisés pour caractériser les bétons dans lesquels ils seront inclus pour des applications en préfabrication et en béton coulé en place. Une étude économique et environnementale de ces procédés sera également menée. Les résultats du projet seront publiés au fur et à mesure de son avancée. □

## LES PARTENAIRES DU PROJET

Les 22 partenaires du projet national FastCarb représentent l'ensemble des acteurs de la construction en béton. Ce sont des industriels (ATILH (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques), CEMEX, Ciments Calcia, CLAMENS, EQIOM, LafargeHolcim France, SNBPE (Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi), UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats), VICAT, Weber (groupe Saint-Gobain)), la FFB (Fédération Française du Bâtiment), un centre de recherche privé (CERIB), des centres de recherche publics (CSTB (Centre Scientifique et Technique du bâtiment), IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux)), des laboratoires (Navier (École des Ponts ParisTech), ESTP (École Spéciale des Travaux Publics), GeM (Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique/Université de Nantes), ICube (Université de Strasbourg), LASIE (Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement/Université La Rochelle)), un maître d'ouvrage (EPAMARNE), un expert indépendant (Nicolas Jacquemet), l'IREX qui accueille le projet et le Ministère de la transition écologique et solidaire qui le soutient.

### ABSTRACT

#### THE FASTCARB NATIONAL PROJECT: CO<sub>2</sub> STORAGE BY CARBONATION OF RECYCLED CONCRETE

XAVIER GUILLOT, LAFARGEHOLCIM - JEAN-MICHEL TORRENTI, IFFSTTAR

The FastCarb national project aims to show that it is possible to store CO<sub>2</sub> by the carbonation of recycled concrete aggregates, thereby helping to limit the carbon impact of concrete in structures. Three aspects are developed in this project: allowance for natural carbonation in the environmental balances of concrete structures and, for accelerated carbonation, optimisation in laboratory conditions of the accelerated carbonation parameters which could then be transposed to an industrial scale for an appropriate cost. Recycled concrete aggregates will be carbonated by the selected industrial processes and then used in various concrete components. □

#### EL PROYECTO NACIONAL FASTCARB: ALMACENAMIENTO DE CO<sub>2</sub> POR CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN RECICLADO

XAVIER GUILLOT, LAFARGEHOLCIM - JEAN-MICHEL TORRENTI, IFFSTTAR

El proyecto nacional FastCarb tiene como objetivo demostrar que es posible almacenar CO<sub>2</sub> por carbonatación de granulos de hormigón reciclado, contribuyendo así a la limitación de la huella de carbono del hormigón en las estructuras. El proyecto se divide en tres capítulos: la consideración de la carbonatación natural en los balances medioambientales de las estructuras de hormigón y, para la carbonatación acelerada, la optimización en condiciones de laboratorio de los parámetros de carbonatación acelerada que, seguidamente, podrán trasponerse a escala industrial a un coste adecuado. Los granulos de hormigón reciclados (GHR) se carbonatarán aplicando los procesos industriales seleccionados y seguidamente se utilizarán en diversos elementos de hormigón. □





→ © NGE FONDATIONS - JEROME CHAUDARD



# L'INNOVATION AU SERVICE DE LA RESPONSABILITÉ SOCIÉTALE DES ENTREPRISES

AUTEURS : JULIE ARMENGAUD, INGÉNIEUR DOCTEUR R&I, NGE FONDATIONS - MARIE CHRÉTIEN, RESPONSABLE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE, NGE FONDATIONS - ANTHONY MARTENS, INGÉNIEUR R&I, NGE FONDATIONS - IGNACIO OLMEDO, INGÉNIEUR DOCTEUR R&I, NGE FONDATIONS - PHILIPPE ROBIT, DIRECTEUR R&I, NGE FONDATIONS

LE SERVICE RECHERCHE ET INNOVATION DE NGE FONDATIONS PRÉSENTE CINQ PROJETS AU SERVICE DE SA POLITIQUE FACE AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET DE SÉCURITÉ. QUELLES SONT LES CLÉS DE LA RÉUSSITE D'UN DÉVELOPPEMENT INNOVANT ?



© NGE FONDATIONS  
2

## L'ORGANISATION DE LE R&I AU SEIN DE NGE FONDATIONS

Depuis 12 ans, Nge Fondations a structuré ses activités de Recherche et Innovation en créant un service dédié avec un budget propre. Son objectif est de traiter les problématiques récurrentes des chantiers sans la contrainte du court terme, ce qui permet de mener des développements techniques nécessitant parfois plusieurs années. Composée aujourd'hui de cinq ingénieurs et docteurs, cette structure répond aux divers besoins d'évolution vis-à-vis de sujets portant sur les ouvrages, les matériaux, les méthodes et le matériel.

**1- Un atelier d'injection : consommation moyenne 30 t de ciment par jour.**

**2- Campagne d'essais de résistance de coulis avec métakaolin.**

**1- A grouting plant: average consumption 30 tonnes of cement per day.**

**2- Test campaign on grout strength with metakaolin.**

Le volet recherche s'est traduit à ce jour par six thèses CIFRE et une dizaine de partenariats avec des laboratoires académiques ou étatiques comme l'Insa, l'Ifsttar ou l'Irstea. Le volet innovation a permis la dépose de 12 brevets. Une structure connexe de 3 personnes a vu le jour cette année afin de développer la commercialisation des produits issus de la R&I, que ce soit en interne ou vers les autres entreprises du métier. Un système vertueux de royalties est mis en place afin de compléter les financements plus classiques tels le CIR, les fonds d'état FUI ou les crédits européens FEDER.

Le service R&I est doté de cinq bancs d'essais mécaniques développés et fabriqués en interne pour répondre à ses propres besoins spécifiques. Il a aussi la compétence pour exploiter et faire évoluer des codes de calcul MED et MEF développés conjointement avec ses partenaires de recherche.

## LA PAROI AD/OC

La paroi AD/OC est une paroi clouée classique servant à conforter les sols naturels. L'innovation provient de son parement composé d'éléments préfabriqués en béton en lieu et place du béton projeté traditionnel. Ce procédé a été imaginé il y a plus de dix ans pour réaliser des remblais cloués à l'aval de chaussées emportées par des glissements de terrain. Aujourd'hui, l'AD/OC est aussi compatible avec des parois réalisées en déblai par décaissement successif ainsi que pour des réparations de mur subissant des pathologies (figure 3). Ses possibilités infinies de matricage sont un atout majeur dans les zones urbaines ou touristiques où les contraintes architecturales sont fortes (figure 4).

Son acronyme signifie Auto Drainant et Optimisé en Carbone. Conçu avec la volonté de supprimer 100 % des surcharges hydriques, l'AD/OC a aussi été pensée pour lutter contre les importantes sur-consommations de matières premières inhérentes à la méthode du béton projeté. Entre les pertes liées au rebond et les hors profils du terrain remplis de béton par défaut, il peut arriver que les volumes de béton projeté livrés dépassent de 100 % le métré théorique prévu ! ▷



Quand on sait que le ciment est, avec l'acier, la plus grosse source d'émission de CO<sub>2</sub> lors de la construction d'un ouvrage de génie civil, on comprend qu'une économie de la moitié du béton a une réelle incidence sur le bilan carbone final. Cependant, le constat est fait que ces techniques innovantes qui savent réduire l'impact CO<sub>2</sub> des ouvrages sans forcément coûter plus cher sont rarement valorisées sur les marchés publics où le critère environnemental est trop peu pris en compte. La paroi AD/OC est régulièrement mise en œuvre par Nge Fondations avec plus de vingt chantiers de référence. Elle est également mise en vente pour les autres entreprises souhaitant bénéficier de sa rapidité de montage.

### LES FORMULATIONS TECHNIQUES À ÉMISSION CARBONE RÉDUITE

Nge Fondations s'est engagée depuis 2011 dans la réduction de son empreinte carbone en s'attaquant à l'une des matières premières centrales de nos métiers : le ciment et plus largement les matériaux cimentaires tels que bétons et coulis. L'axe principal de la démarche s'appuie sur l'emploi d'additions (au sens de la NF EN 206/CN) en substitution partielle des ciments traditionnels, afin de réduire le bilan CO<sub>2</sub> des formulations.

Au-delà de l'aspect environnemental, l'utilisation d'additions mène aussi à des améliorations de mise en œuvre et de durabilité. L'emploi de métakaolins, fillers et laitiers a été étudié sous ces différents angles pour s'adapter aux métiers de l'entreprise. Deux thèses ont été financées sur ces problématiques. La première a étudié l'utilisation du métakaolin par substitution partielle du ciment dans les applications géotechniques d'injection et de scellement d'ancrage (figure 2). Les coulis utilisés ayant des teneurs en liant atteignant facilement les 1200 kg/m<sup>3</sup>, ces matériaux sont prioritaires pour la réduction des émissions CO<sub>2</sub>.

La seconde thèse s'est concentrée sur la réduction des pertes en béton projeté par voie sèche via l'optimisation des formulations, toujours dans l'optique de substituer une partie du ciment par des additions.

L'apport de ces thèses ne s'est pas limité aux champs d'application initialement définis. Aujourd'hui la possibilité d'emploi des additions est étudiée dès les réponses aux appels d'offre, aussi bien pour les travaux de fondations que de confortement ou de génie civil spécifique (figure 1). Ainsi les approches de



3



4

**3- La paroi AD/OC, réparation du viaduc de Gennevilliers sur l'A15.**

**4- Paroi AD/OC matricée de la RN116 à Olette avec finition en pierres maçonnées.**

**3- The AD/OC wall, repair of Gennevilliers viaduct on the A15.**

**4- Die-cast AD/OC wall on national highway RN 116 at Olette with masonry stone finish.**

type performancielle ou BIPS tendent à se développer au sein de Nge Fondations, et plus largement au sein du groupe Nge.

Pour resituer les enjeux de ces substitutions, avec un béton courant, dosé à 350 kg/m<sup>3</sup> de CEM I, les émissions de CO<sub>2</sub>, de la part "liant", s'élèvent suivant l'Ademe à environ à 300 kg de CO<sub>2</sub> pour chaque mètre cube soit l'émission d'un aller/retour Toulouse-Paris en avion. Avec un BIPS (50% de laitier en substitution du ciment), on peut réduire ces émissions quasiment de moitié. En comptant plus de 90 000 m<sup>3</sup> de béton consommés chaque année, le potentiel de réduction de notre empreinte est donc de l'ordre de 13 500 t de CO<sub>2</sub> soit l'équivalent de 80 000 km en voiture par an et par salarié de Nge Fondations !

### RÉHABILITATION DES PIEUX BOIS

La technique des pieux en bois est l'un des plus anciens procédés de fondations profondes, largement éprouvé depuis l'Antiquité et très présent dans le patrimoine national. Ce procédé fait partie de la famille des pieux à refoulement de sol. Il a été ensuite abandonné en France après la 1<sup>re</sup> Guerre Mondiale, malgré ses qualités, suite à la perte du savoir-faire et à l'essor de nouveaux matériaux de construction plus simples d'emploi.

Face aux enjeux de maintenance des ouvrages, un premier projet de recherche national C2D2 a été lancé, intitulé projet "PieuxBois", coordonné par l'Ifsttar (2010-2013). Le projet a eu pour objectif de faire un état de l'art sur la technique et le dimensionnement des pieux bois en France, en Europe et





© NGE FONDATIONS - PHILIPPE ROY

5

à l'international, ainsi que de recenser les ouvrages d'art dont les fondations seraient en pieux bois. Des plots d'essais expérimentaux (figure 5) ont permis de remettre cette méthode au goût du jour des Eurocodes en la complétant par des technologies modernes de mise en œuvre et d'aboutage qui permettent d'atteindre 15 m de profondeur. Très rapidement, le problème de la durabilité s'est posé pour la prescription de pieux en bois avec des essences françaises dans des sols ayant un battement de nappe. Or, à l'étranger, les pieux bois sont autorisés pour la construction dans tous les types de sols, avec ou

**5- Campagne d'essais de pieux bois à Cubzac.**

**6- Pieux bois, fondations de 2 bâtiments recevant du public à Guedelon.**

**5- Test campaign on wooden piles at Cubzac.**

**6- Wooden piles, foundations of 2 public buildings at Guedelon.**

sans nappe, avec un bois traité au CCA (Chrome-Crésote-Arsenic) et des dispositions constructives pour garantir une durée de service de 50 ans. À ce jour, l'équivalent technologique et réglementaire n'existe pas en France pour prescrire des pieux en bois français durables, avec un traitement "propre" ou des dispositions constructives adaptées, sans imposer du bois exotique. Seul matériau de construction renouvelable alliant résistance mécanique et esthétique, le bois représente une alternative réaliste à faible empreinte carbone (stockage de CO<sub>2</sub>). La seule contrainte est de bien choisir l'essence

de bois dès la conception du projet, en fonction de son environnement, de son utilisation et de la durée de service envisagée. Se rappeler aussi que le meilleur agent conservateur du pieu en bois dans le sol est l'eau. Une seconde phase de recherche va être lancée pour trouver une solution de traitement écologique, afin de valoriser les essences françaises. Cette technique a été mise en œuvre en 2019 pour la construction de locaux sur le site du château médiéval de Guedelon (89) (figure 6).

**ÉCRAN FORESTIER**

Nge Fondations développe depuis 20 ans une large gamme d'ouvrages pare-pierres et paravalanches. L'entreprise pilote aujourd'hui le projet FUI PRIDYN, cofinancé par l'union européenne, qui explore des solutions innovantes pour concilier protection et respect du milieu naturel.

Il n'est pas rare que l'urgence des travaux de sécurisation impose des interventions légères et une optimisation des moyens mécaniques. Dans ces contextes, l'utilisation du peuplement forestier comme élément structurel des dispositifs de protection apparaît comme une solution rapide, économique et permettant la réduction de l'impact sur le milieu naturel (pas d'élagage, pas de forage, pas de ciment). Ces types d'ouvrage sont appelés écrans forestiers.

Les développements réalisés sur les écrans forestiers se sont focalisés sur les performances des ouvrages (capacité d'arrêt), sur les techniques d'installation et sur les tests de capacité et de durabilité des arbres mis à contribution. ▷



© NGE FONDATIONS - CHRISTIAN NANCEY

6



Une campagne d'essais à échelle réelle a complété une série d'essais en laboratoire sur les composants.

Des impacts sur différentes configurations ont permis d'optimiser la conception des dispositifs, notamment au niveau des technologies de fixation aux arbres. Un premier modèle d'écran de capacité 100 kJ a été validé (figure 7).

La forte variabilité des propriétés mécaniques des arbres vivants (bois vert et modes de fixation au sol) impose un contrôle en début de chaque chantier afin d'assurer la stabilité à long terme des arbres sélectionnés. De nouveaux protocoles d'essais (cisaillement en pied d'arbre, flexion à hauteur d'accroche) ont été mis au point spécifiquement pour ce type d'ouvrages.

Actuellement Nge Fondations est le seul acteur proposant des conceptions testées et validées.

EDF a choisi cette solution pour son site de La Palisse (figure 8). L'écran mis en place est un exemple d'intégration paysagère : sa capacité d'adaptation au terrain a permis d'éviter toutes les coupes et élagages traditionnels. Des campagnes expérimentales sont en cours avec comme objectif d'augmenter les capacités de la gamme de produits.

## LA GIRAFE

Cette adaptation du matériel de Nge Fondations vise à systématiser la sécurisation du travail en hauteur sur les chantiers de pieux où certaines opérations de montage de la foreuse et de ses tarières s'effectuent à plusieurs mètres de hauteur.

Pour effectuer ces opérations en sécurité, une nacelle est nécessaire. Mais le constat est fait qu'elles ne sont pas toujours utilisées pour diverses raisons : disponibilité, logistique, temps d'usage très court, chantier exigu etc.

L'idée qui a germé pour résoudre ce problème consiste à intégrer la nacelle sur un engin stable, adapté à l'environnement et toujours présent sur les chantiers de pieux : la pompe à béton, donnant ainsi naissance au projet "Girafe". En combinant ces deux engins, on mutualise la gestion de leur logistique ainsi que l'espace qu'ils occupent au sol.

Deux versions de la Girafe ont été réalisées (figures 9 et 10).

La première était constituée de deux niveaux de plateformes installés au-dessus de la pompe à béton, permettant de travailler à 3 m puis 5 m du sol avec un accès par échelle.



7  
© NGE FONDATIONS

Afin de réduire la hauteur de transport, l'ensemble était escamotable par un système hydraulique utilisant l'énergie de la pompe à béton. Cette solution comportait deux défauts : la hauteur des plateformes était fixe et le travail de chaudronnerie était important et coûteux. Malgré son avancement, il a été choisi de l'abandonner.

Une seconde idée est venue : greffer une nacelle existante à l'avant de la pompe à béton. La solution est simple puisque seule une pièce d'interface est à concevoir et souple d'utilisation car la hauteur est ajustable à volonté.

**7- Écran forestiers, Test 100 kJ en grandeur réelle.**

**8- Écran forestier EDF de la Palisse sans aucun forage.**

**7- Forest screen, 100 kJ test at full scale.**

**8- EDF forest screen at La Palisse without any drilling.**

La nacelle utilisée est manuelle ce qui limite les risques de pannes. Pour s'élever, l'utilisateur tourne une manivelle tandis que des ressorts à gaz compensent son poids.

Afin de répondre aux exigences de la réglementation en matière de levage de personnel, le montage d'un dossier d'homologation est en cours. Il doit permettre de justifier la résistance de l'interface et la stabilité de l'ensemble. Tous ces points seront vérifiés par calcul puis par essais.

## PINCE ARMATURE

Le 13 juillet 2017, Nge Fondations est frappée par un accident mortel ayant pour origine la chute d'une cage d'armature de pieu lors de sa mise en place dans la fondation. Pour ne plus revivre cette situation, un groupe de travail constitué de l'Oppbtp, la Carsat, l'Inrs. Le CSSCT de l'entreprise est constitué. Il fait les constats suivants :

- Une cause de l'accident serait liée à la méthode de levage usuelle : le crochet d'élingage vient solliciter les soudures des armatures de la cage qui ne sont pas prévues pour cet usage.
- Il n'existe pas de norme ou texte réglementaire gérant le nombre, la qualité des soudures et tout autre paramètre en vue du levage des cages d'armature.



8





© NGE FONDATIONS  
9

→ Il n'existe pas dans le commerce de pince de levage dédiée aux cages d'armature comme c'est le cas pour de nombreux produits (tôles et profilés métalliques, bordures et buses béton, baril métallique, etc.). Face à ce constat, le service R&I est missionné pour développer une pince spécifique pour le levage des cages d'armature de pieux. Huit prototypes différents ont été conçus, fabriqués, testés et disqualifiés avant d'aboutir au

**9- La girafe, première version abandonnée.**  
**10- La Giraffe en version finale sur chantier.**

**9- The Giraffe, abandoned first version.**  
**10- The Giraffe, final version on site.**

produit final. Le principe, aujourd'hui breveté, s'appuie sur une double came qui, actionnée par le crochet d'élingage, vient pincer l'armature ce qui empêche tout glissement quelle que soit la direction de la traction. Cette pince (figure 11) d'une CMU de 1,2 t, compatible avec des armatures de 14 mm à 20 mm, permet de lever la cage depuis l'horizontale jusqu'à la verticale. Elle est conforme à la norme NF EN 13155 "Appareils de levage à charge suspen-

due". Elle a été rapidement acceptée par les équipes de chantier qui, au-delà du gain de sécurité, constatent la facilité d'emploi et l'absence de perturbation de la productivité (figure 12). 200 pinces sont actuellement en service sur les chantiers de Nge Fondations et une déclinaison pour les armatures de 20 mm à 32 mm est en cours. De plus, un partenariat avec un fabricant/distributeur est en cours de signature afin que ce produit puisse être mis à la disposition de toute la profession. Notons que cette solution innovante reconnue par la profession vient d'être primée par les Trophées TP 2019 de la Fntp dans la catégorie santé sécurité.

### CONCLUSION

L'innovation est un outil efficace pour accompagner une démarche RSE dans l'entreprise. Les deux ont ce point commun basé sur la remise en question des vieilles habitudes. En adoptant le principe de changement, on peut organiser sa mise en pratique et lui donner les moyens de nos ambitions. La réussite de cette démarche est directement conditionnée par la volonté et la conviction de l'équipe dirigeante. Une fois lancée, l'innovation est entravée par l'intervention d'un facteur humain : la résistance au changement. Elle se manifeste chez les clients dont on perturbe les processus de comparaison des offres et les méthodes de contrôle de dimensionnement ou d'exécution. Mais cette résistance existe aussi en interne, chez les équipes de chantier à qui l'on va demander de changer certaines méthodologies dont la maîtrise est au cœur de leur savoir-faire précieux. Il n'est donc pas facile de décréter le changement même s'il est nécessaire voire inéluctable. Une autre condition indispensable pour innover sera d'avoir des idées ! La phase créatrice reste le cœur de l'innovation bien qu'elle ne représente qu'une part infime du temps nécessaire pour un développement qui inclut les phases expérimentales, les justifications dans un monde très normé, la commercialisation puis l'accompagnement jusqu'au chantier qui doit se l'approprier. Être inventif n'est pas une qualité que l'on développe à l'école. En corolaire, tout le monde depuis l'ouvrier jusqu'au dirigeant peut avoir une bonne idée. Certaines conditions permettent de favoriser leur émergence comme le droit à l'erreur qui libère de la crainte de l'échec ou le mixage des savoir-faire entre deux mondes qui ne sont pas forcément fait pour se rencontrer. ▷



© NGE FONDATIONS  
10





11

Enfin, une innovation doit aussi être en cohérence avec la réalité économique : elle doit apporter une plus-value technique certaine tout en restant à des prix compatibles avec des budgets souvent contraints. Il est cependant important de valoriser les atouts de ces développements techniques à la hauteur des enjeux sociétaux majeurs auxquels ils s'attaquent, ce qui n'est pas toujours compatible avec la règle du moins disant encore bien ancrée dans nos habitudes. □

**11- Détail de la pince montée sur une armature à béton.**

**12- Utilisation de pinces sur un chantier de pieux.**

**11- Detail of gripper mounted on concrete reinforcing bars.**

**12- Use of grippers on a pile construction site.**



12

© NGE FONDATIONS

## ABSTRACT

### INNOVATION FOR IMPROVED CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY

JULIE ARMENGAUD, NGE FONDATIONS - MARIE CHRÉTIEN, NGE FONDATIONS - ANTHONY MARTENS, NGE FONDATIONS - IGNACIO OLMEDO, NGE FONDATIONS - PHILIPPE ROBIT, NGE FONDATIONS

**The primary objective of R&I is to meet the operational requirements of customers and Production. Today, innovation has also become a tool which supports the firm's CSR policy, whether in the environmental area faced with the challenges of climate change, or in the area of safety, with the aim of reducing incidence rates which are still too high in the building and construction sector. By deploying principles such as a break with habits, the transposition of technologies from other sectors, or also the acceptance of errors, innovation makes it possible to carry out tangible projects which are a response to societal issues and contribute to changing mindsets in the firm. □**

### LA INNOVACIÓN AL SERVICIO DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL DE LAS EMPRESAS (RSE)

JULIE ARMENGAUD, NGE FONDATIONS - MARIE CHRÉTIEN, NGE FONDATIONS - ANTHONY MARTENS, NGE FONDATIONS - IGNACIO OLMEDO, NGE FONDATIONS - PHILIPPE ROBIT, NGE FONDATIONS

**El principal objetivo de la I+D es responder a las expectativas operativas de los clientes y de la producción. Actualmente, la innovación también se ha convertido en una herramienta que acompaña las políticas corporativas de RSE, ya sea en el ámbito medioambiental frente a los desafíos del calentamiento climático o en el ámbito de la seguridad, con la voluntad de reducir unas tasas de accidentes todavía excesivas en las actividades de construcción y obras públicas. Desplegando principios como la ruptura con los hábitos, la trasposición de las tecnologías de otras actividades o la aceptación del error, la innovación permite llevar a cabo proyectos concretos que responden a los desafíos sociales y contribuyen a cambiar las mentalidades en el seno de las empresas. □**



**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier  
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)





© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

# INNOVATIONS CHEZ SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS : DES DESSINS DE CAGES D'ARMATURES À LA LOCALISATION GPS DES MACHINES

AUTEURS : SÉBASTIEN SCHOLL, CHEF DE PROJET DÉVELOPPEMENT INFORMATIQUE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ROMAIN SARAFIAN, INGÉNIEUR BUREAU D'ÉTUDES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ALI KOSSARI, RESPONSABLE BUREAU D'ÉTUDES, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ÉRIC GASTINE, DIRECTEUR EUROPE, ITMSOL - RICHARD LOHIER, RESPONSABLE MATÉRIEL, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

**LE CALCUL D'UNE PAROI MOULÉE SE DÉROULE EN 3 PHASES : DU CALCUL DES SOLLICITATIONS JUSQU'AU PLAN D'ARMATURES EN PASSANT PAR LE CALCUL DE FERRAILLAGE. UN PROCESSUS INTERNE, MÊLANT LOGICIELS DU COMMERCE ET DÉVELOPPEMENTS PROPRES PERMET D'OPTIMISER LA CHAÎNE DE PRODUCTION DES DOCUMENTS. DANS UN DOMAINE DIFFÉRENT, LE SERVICE MATÉRIEL DE SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS ET ITMSOL FILIALE SPÉCIALISÉE DANS L'AUSCULTATION DES OUVRAGES S'ASSOCIENT AFIN DE MIEUX SUIVRE ET ENTRETENIR LES MACHINES DE FORAGE.**

Dans les études d'exécution des parois moulées, une partie du processus amenant à la production de documents et permettant la réalisation de l'ouvrage consiste en trois phases principales.

La première phase est le calcul des sollicitations de flexion appliquées sur l'ouvrage, particulièrement les moments fléchissants et les efforts

tranchants. Ceci passe par la détermination des efforts appliqués sur le soutènement tels que la poussée des terres, la poussée hydrostatique, l'effet de la variation thermique sur les appuis, etc.

En utilisant les logiciels du marché du type Rido, K-Rea ou Plaxis, les sollicitations sont alors déterminées suivant un phasage défini (figure 2).

**1 - Cube GPS millimétrique.**

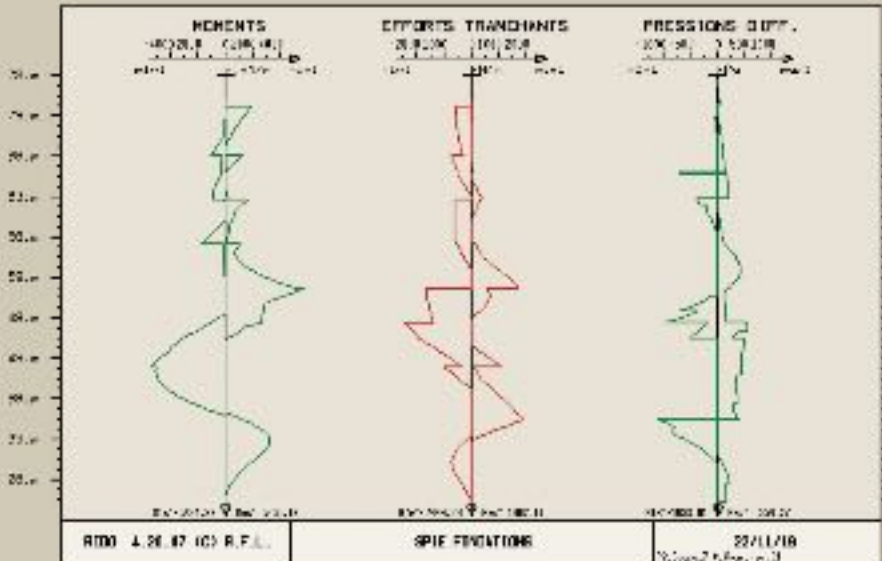
**1 - Millimetric GPS cube.**

## LOGICIEL FER®

La deuxième phase est le dimensionnement du ferrailage (aciers longitudinaux, transversaux et renforts divers) à mettre en place dans une cage d'armatures de paroi moulée.

Pour ce faire, Spie Batignolles Fondations s'était doté d'un pôle développement logiciels au sein de son service informatique, ceci dans le but de

## SOLLICITATIONS ISSUES DU LOGICIEL RIDO



La deuxième étape est la définition des hypothèses de dimensionnement. Ces hypothèses sont fixées en conformité avec le marché via le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) par exemple, dans le respect des normes en vigueur. Cela se traduit par la définition : des limitations particulières des contraintes dans les aciers, du type de béton et de l'acier mis en place, des limitations d'ouverture de fissures, de la géométrie issue du plan de panneautage, de la descente de charges, du type d'appui, ... Certaines des données sont communes (par exemple les caractéristiques des matériaux), et d'autres spécifiques à une ou plusieurs enveloppes de phases (par exemple la limitation des contraintes) (figure 3). Pour un projet donné, ceci permet le respect des critères liés aux différentes phases de la vie de l'ouvrage.

Le logiciel calcule ensuite l'épure d'arrêt des barres (sections longitudinales et transversales minimales) et l'utilisateur choisit alors les aciers à mettre en place en adéquation avec les sections requises et les spécificités de construction des cages d'armatures de paroi moulée (figure 4).

Les points forts de Fer<sup>®</sup> sont les différentes vérifications et sorties exploitables pour les rédactions des notes de calculs comme : le dimensionnement de renforts horizontaux pour des appuis du type buton ou tirant, la vérification des contraintes (acier et béton) pour une ou plusieurs altimétries choisies (figure 5) en flexion simple ou composée, la vérification de l'ouverture de fissures (figure 6) sur la hauteur du soutènement et la limitation particulière des contraintes dans les aciers vis-à-vis de l'étanchéité (DTU 14.1).

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

2

répondre au déficit de produits du commerce. L'objectif était de pouvoir disposer d'outils plus en adéquation avec les spécificités techniques des fondations spéciales. Dans un premier temps, ce service a principalement œuvré à optimiser et sécuriser certains des process chantiers (pilotage des presses d'injections, enregistrement des paramètres de forages, ...). Plus récemment, il a été envisagé de développer des outils pour le bureau d'études.

Afin de répondre aux besoins des ingénieurs d'études et pour faciliter la conception des cages d'armatures, un logiciel de calcul de béton armé baptisé Fer<sup>®</sup> a été développé en interne. Tout d'abord né sous Microsoft Excel,

### 2- Sollicitations issues du logiciel Rido.

### 3- Hypothèses de calcul.

### 2- Stresses based on the Rido software.

### 3- Calculation assumptions.

Fer<sup>®</sup> est par la suite entièrement réécrit en C# (langage de programmation de Microsoft) en s'appuyant sur la technologie Windows Forms pour l'interface graphique.

Il est alors basé sur le fascicule 62 titre 1 du CCTG (les règles dites BAEL91 modifiées 99). Le développement modulaire de Fer<sup>®</sup> a permis ensuite de le faire évoluer pour s'adapter aux différentes exigences des normes et de ses utilisateurs. Il permet aujourd'hui de dimensionner des cages d'armatures en répondant autant au BAEL91 qu'à l'Eurocode 2. La première étape dans l'utilisation du logiciel est l'intégration des sollicitations appliquées au soutènement. Elles peuvent être récupérées directement en important soit des fichiers Microsoft Excel (données provenant des logiciels K-Rea ou Plaxis) soit des fichiers LST (provenant du logiciel Rido).



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS



### LOGICIEL AUTOCAGE®

Il était d'usage une fois la cage d'armatures dimensionnée que l'ingénieur d'études transmette les informations nécessaires au projeteur afin qu'il puisse la dessiner sous AutoCad ; une opération fastidieuse et chronophage. Il a donc été mis en place une macro qui s'appuyait sur AutoDesk Structural Detailing (ASD), notre logiciel de ferrailage 2D. Cette macro permettait de dessiner l'ébauche de la cage sous AutoCad ; le projeteur finalisait ensuite le dessin en rajoutant des coupes et des détails de la cage nécessaire à la fabrication de cette dernière. Malheureusement ASD ayant

**4- Visualisation des aciers longitudinaux - Épure d'arrêts de barres.**

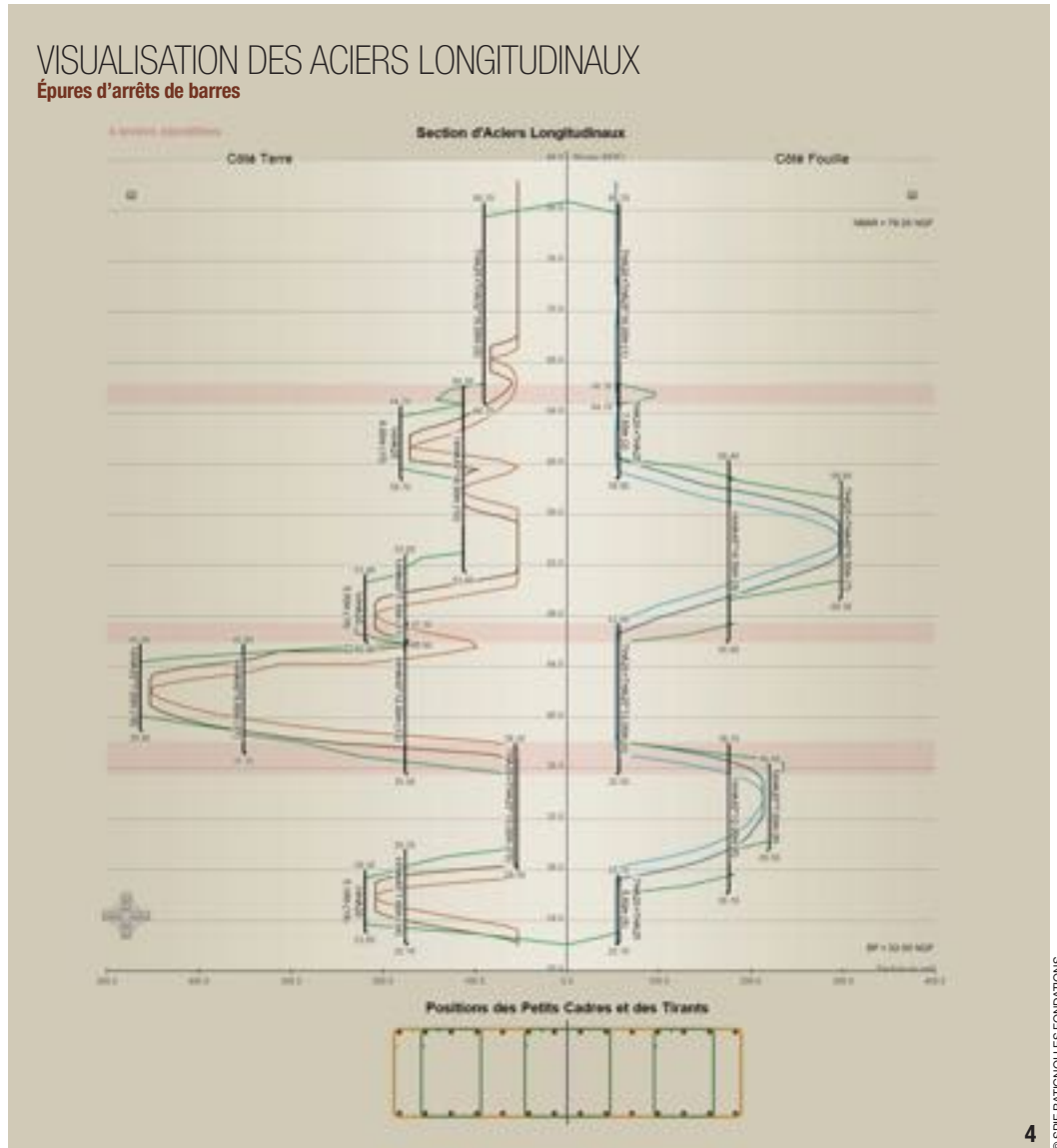
**5- Vérification des contraintes à l'ELS - Interaction ELU.**

**4- View of longitudinal rebars - Sketches of bar curtailments.**

**5- Verification of stresses at the SLS - Interaction with ULS.**

## VISUALISATION DES ACIERS LONGITUDINAUX

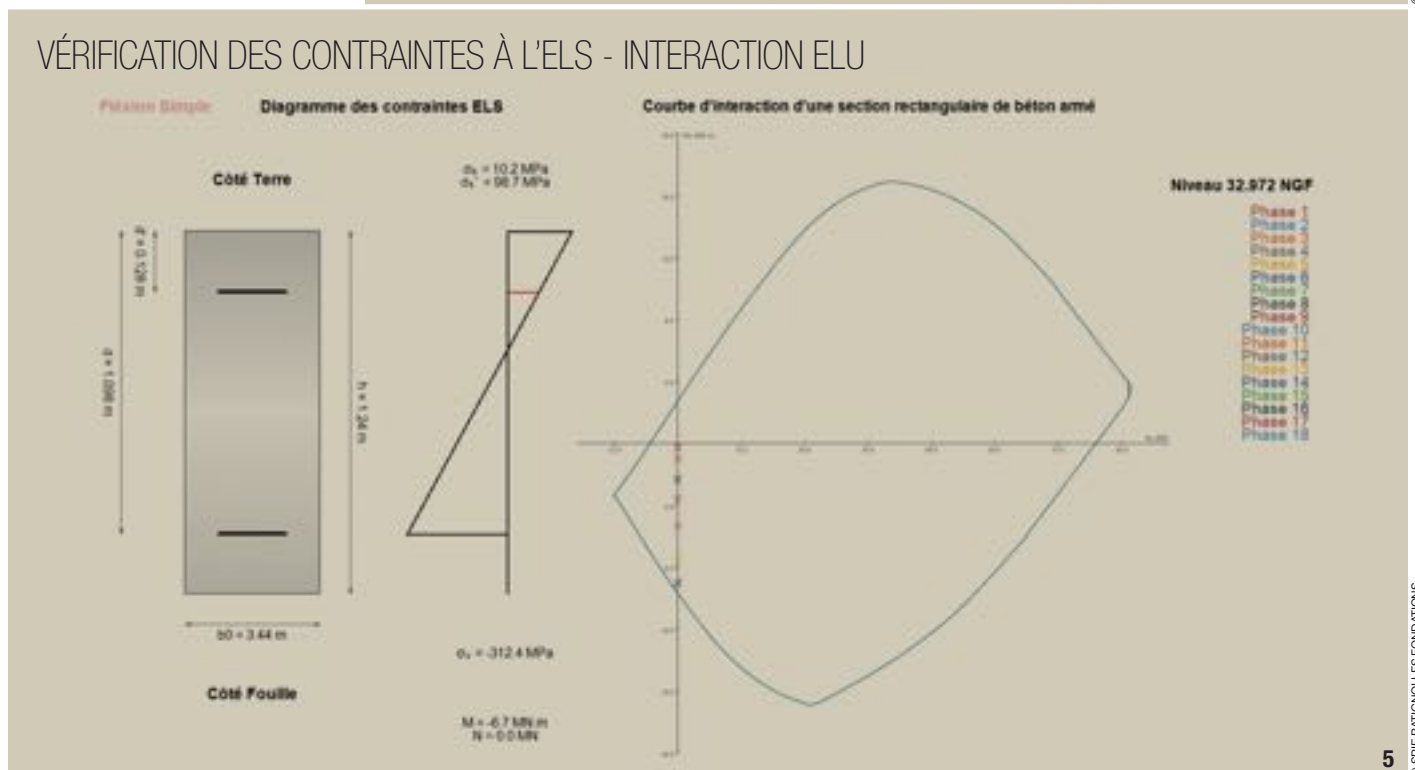
### Épures d'arrêts de barres



4

© SPIE BATHONOLLES FONDATIONS

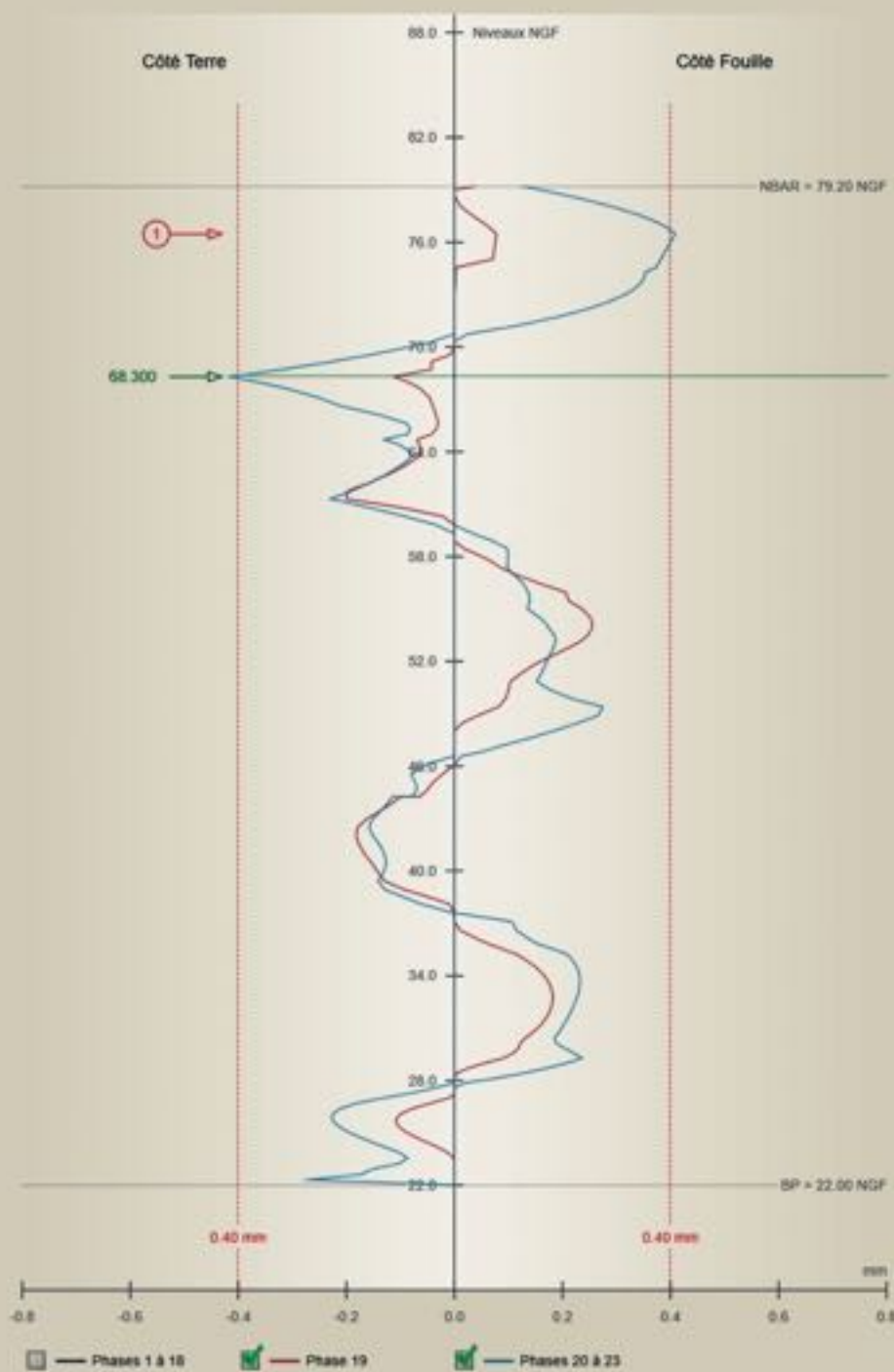
## VÉRIFICATION DES CONTRAINTES À L'ELS - INTERACTION ELU



5

© SPIE BATHONOLLES FONDATIONS

## VÉRIFICATION DES OUVERTURES DE FISSURES



© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

6

été abandonné par Autodesk en 2015, la macro ne pouvant plus évoluer, une solution alternative devait être trouvée. Il a été décidé de développer en interne une application indépendante qui pourrait exploiter directement les résultats de notre logiciel de dimensionnement Fer<sup>®</sup>. C'est ainsi qu'AutoCage<sup>®</sup> est né. Pour ce nouveau développement, le cahier des charges était simple : l'ap-

**6- Vérification des ouvertures de fissures.**

**6- Verification of crack widths.**

plication ne devait s'appuyer sur aucun produit du commerce, elle devait être simple et intuitive tout en produisant des plans d'aspect similaire à ceux que pouvaient produire les projeteurs. Ce programme, tout comme Fer<sup>®</sup>, a été écrit en C# mais en utilisant la technologie WPF (Windows Presentation Foundation) de Microsoft associé à l'architecture MVVM (Model - View -

View Model). L'architecture MVVM permet de développer une application modulaire avec une séparation claire entre le code métier et sa représentation graphique. La maintenance et les tests s'en trouvent facilités. L'utilisation des mécanismes de WPF rend les liaisons entre les données (Model) et l'interface (View) plus simples et efficaces. Également, l'emploi de WPF a permis de concevoir une application agréable à utiliser, à l'interface fluide, et de produire des dessins de cages d'armatures similaires aux plans produits avec AutoCad. L'application est WYSIWYG (What You See Is What You Get) : la page imprimée sera l'exact reflet de ce que l'on visualise à l'écran. La création d'un plan de cages d'armatures avec AutoCage<sup>®</sup> débute par la création d'un fichier au format propriétaire depuis Fer<sup>®</sup>. Il suffit ensuite d'ouvrir ce fichier d'extension CPM dans AutoCage<sup>®</sup> pour finaliser le plan en ajoutant les notes et les croquis de détails spécifiques au chantier. L'essentiel de l'écran est occupé par la visualisation de la page du plan qui a été sélectionné. Par convention, tout ce qui est modifiable par l'utilisateur apparaît en bleu (figure 7).

Lorsque l'on ouvre un plan dans AutoCage<sup>®</sup> pour la première fois, le plan se compose des pages suivantes : une élévation de la cage, une page dédiée à l'implantation des tubes d'auscultations et des anses de levage et de réglage, une page par levée (6 levées maximum) représentant les élévations côté fouille, côté terre et de profil, et une page de nomenclature.

Sur l'élévation de la cage, il est possible de modifier les niveaux de coupe proposés ; ensuite, libre à l'utilisateur d'ajouter des pages pouvant contenir de 1 à 4 coupes (figure 8). Il est également possible d'ajouter ou de modifier des tirants, des barres de renforts horizontales (ou de liaisonnement entre cages) ainsi que des coupleurs de formes diverses (figure 9). Chaque ajout d'un niveau de coupleur aura pour conséquence d'ajouter une page détaillant l'implantation de ce dernier. Le positionnement des tubes d'auscultation sonique, de carottage, des anses de levage et de réglage, des coupleurs et de la colonne de bétonnage se fait à la souris (figure 10). Enfin, sur toutes les pages, il est possible d'ajouter des images (extrait du plan de panneau-tage, détails de soudure, etc.) et des zones de textes (annotations diverses à destination du client, de l'armaturier ou du chantier) facilitant la lecture du plan. ▷



## RETOMBÉES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES DU PROJET

Du point de vue technique, le dessin automatique des épures dans le logiciel Fer® permet à l'ingénieur d'études techniques de gagner un temps considérable dans la gestion des calculs. La mise à jour des sollicitations et la vérification de l'impact sur les ferrillages se font instantanément.

7- Visualisation des tirants.

8- Page de coupes, il est ici possible de déplacer, réduire ou agrandir les petits cadres.

9- Visualisation des coupleurs.

7- View of tie anchors.

8- Cross-sections page: here it is possible to move, reduce or enlarge the small frames.

9- View of couplers.

## VISUALISATION DES TIRANTS

**Tirants et paramètres**

Commentaire: Tirant

Niveau	Ep.	Di.	Requin	Tube	Commentaire
56.40 NGF	25.0°	0.0°	400x400x20	200x3.0	Tirant
42.80 NGF	28.0°	0.0°	400x400x20	200x3.0	Tirant

**Renforts horizontaux et paramètres**

Commentaire: Renforts horizontaux

Niveau	Series	Ep.	Di.	Cote	Commentaire
56.40 NGF	S1A.32	2800	0	Terre	Renforts HorizontauxA...
42.80 NGF	S1A.32	2800	0	Terre	Renforts HorizontauxA...

**Configuration et disposition des coupleurs**

Commentaire: Coupleurs poutre

Niveau	Ep.	Di.	Designation	Commentaire
76.40 NGF	500	25	8 x 2 coupleurs BARTEC Stat...	Coupleurs poutre



7

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS

## PAGE DE COUPES

Il est ici possible de déplacer, réduire ou agrandir les petits cadres

**42.80 NGF - Coupe OC (levée 2)**

**56.350 NGF - Coupe DD (levée 3)**

8

## VISUALISATION DES COUPLEURS

**Tirants et paramètres**

56.40 NGF	25.0°	0.0°	400x400x20	200x3.0	Tirant
42.80 NGF	28.0°	0.0°	400x400x20	200x3.0	Tirant

**Renforts horizontaux et paramètres**

56.40 NGF	S1A.32	2800	0	Terre	Renforts HorizontauxA...
42.80 NGF	S1A.32	2800	0	Terre	Renforts HorizontauxA...

**Configuration et disposition des coupleurs**

Diamètre barres renforcées: 25

Type de manchon: BARTEC Statique

Commentaire: Coupleurs poutre

Niveau	Ep.	Diam.	Designation	Commentaire
76.40 NGF	500	25	8 x 2 coupleurs [BARTEC Stat...	Coupleurs poutre

9

© SPIE BATHIGNOLLES FONDATIONS

# PAGE TUBES D'AUSCULTATION SONIQUE ET DE CAROTTAGE, ET ANSES DE LEVAGE ET DE RÉGLAGE



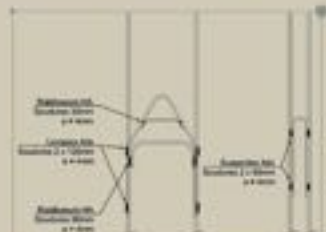
Répartition des Tubes Soniques et de Carottage

Pos.	Niveau Z'axe	Spécies	Niveau	Espacement (mm)	Longueur (mm)	Longueur totale (m)	Schéma	Commentaire
101	HA	T2	11	1402	301	14 108		Alésage tubes 102/101
102	HA	T2	10	1402	311	13 311		Alésage tubes 102/104

HA 100	HA 10
Espace interne (kg)	5,59
Longueur totale (m)	30,41
Espace interne (kg)	30,75

Colonne de bétonnage diamètre 220cm  
La tuberie en position est optionnelle

Les tubes (soniques et de carottage) ont une longueur totale de 30m avec une anse inférieure de 22,20 MGF et une anse supérieure de 31,20 MGF



Les anses de levage et de réglages seront soudées sur site en fonction des impératifs chantier  
- anses 4 et 1 : 4 anses de levage + 4 anses de réglages  
- anses 2 et 3 : 2 anses de levage + 4 anses de réglages



Position des Anses de Levage et de Réglages



Pos.	Niveau Z'axe	Spécies	Niveau	Espacement (mm)	Longueur (mm)	Longueur totale (m)	Schéma
44	HA	T2	10	1074	30,30		
44	HA	T2	10	2002	24,74		
55	HA	T2	10	551	9,94		
56	HA	T2	10	1402	18,34		
57	HA	T2	10	3000	12,50		

HA 10	HA 10	HA 10	HA 10	
Espace interne (kg)	1,50	5,21	9,95	9,21
Longueur totale (m)	23,47	24,74	32,50	30,30
Espace interne (kg)	37,65	150,22	303,55	100,00
Espace interne (kg)	322,94			

10



11

**10- Page Tubes d'Auscultation Sonique et de Carottage, et Anses de Levage et de Réglage.**  
**11- Cube GPS millimétrique installé sur l'outil de forage.**

**10- Page on Sonic Monitoring and Core Sampling Tubes, and Lifting and Control Handles.**  
**11- Millimetric GPS cube installed on the drilling tool.**

Le gain de temps obtenu permet de laisser la place à la réflexion sur une conception plus fine des cages et donc aux optimisations envisageables des ferrailages. En ce qui concerne le logiciel AutoCage®, le dessin des cages d'armatures se fait quasi instantanément. Le gain de temps obtenu permet aux dessinateurs/projeteurs de se focaliser sur des plans plus complexes comme

des cages avec des formes spéciales (L ou T) ou encore des cages comportant des armatures en fibres de verre. Enfin, la perte éventuelle d'informations entre le calcul et le dessin est notablement réduite car le dessin est issu directement des calculs de ferrailage Fer®.

Du point de vue économique, le développement des deux programmes Fer® et AutoCage® permet d'avoir une autonomie entière sur ces produits sans contraintes liées aux éditeurs de logiciels. Il n'existe pas d'équivalent sur le marché car il répond directement aux besoins propres du Bureau d'études et des Travaux de Spie Batignolles Fondations. Toutes modifications ou améliorations de ces logiciels se traitent en interne. Fer® et AutoCage® ne sont que des exemples de développements internes qui devront évoluer selon la normalisation.

Le monde du BTP vit en ce moment une évolution majeure des méthodes de réalisation avec le BIM, et Spie Batignolles Fondations travaille d'ores et déjà à faire évoluer ses programmes (et en créer de nouveaux) pour s'insérer dans cette démarche innovante qu'est le BIM.



## LES CUBES GPS MILLIMÉTRIQUES

Depuis plusieurs années, il est apparu nécessaire d'assurer un suivi par géolocalisation ainsi que d'anticiper et de faciliter l'entretien des machines de forage grâce à la collecte des informations mesurées par les capteurs embarqués. En association avec le dépôt matériel de Bernes-sur-Oise, Itmsol a conçu un GPS de grande précision et développe des logiciels capables de restituer ces données. Le Cube GPS millimétrique (figure 1) développé par Itmsol pour surveiller avec une grande précision les mouvements de structures isolées (bâtiments, ponts, viaducs, barrages, glissements de terrain etc.) a trouvé une application inattendue. Les cubes montés sur les machines de Spie Batignolles Fondations permettent de géolocaliser avec précision les engins et de suivre les phasages de production. Le Cube GPS millimétrique est le fruit de plusieurs années de recherche et de développement des équipes d'Itmsol. Cet instrument de mesure robuste et compact permet de surveiller en temps réel des points isolés. La précision exceptionnelle obtenue provient d'un travail approfondi sur le matériel et sur les algorithmes de traitement qui permettent de tirer le meilleur parti des constellations de GALLILEO, BEIDOU, GPS et GLONASS. Montés par paire en tête de flèche (figure 11), les cubes calculent en permanence la position de l'outil de forage pendulaire ainsi que l'orientation de la machine. Ces données renseignent l'opérateur via une interface embarquée en cabine sur la position de son outil par rapport à son implantation théorique. C'est une aide précieuse pour contrôler la bonne exécution des

ouvrages et un gage de qualité d'exécution. Ce dispositif est actuellement en phase de tests sur chantier (figure 11).

## LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE CENTRALISÉE DE MACHINES

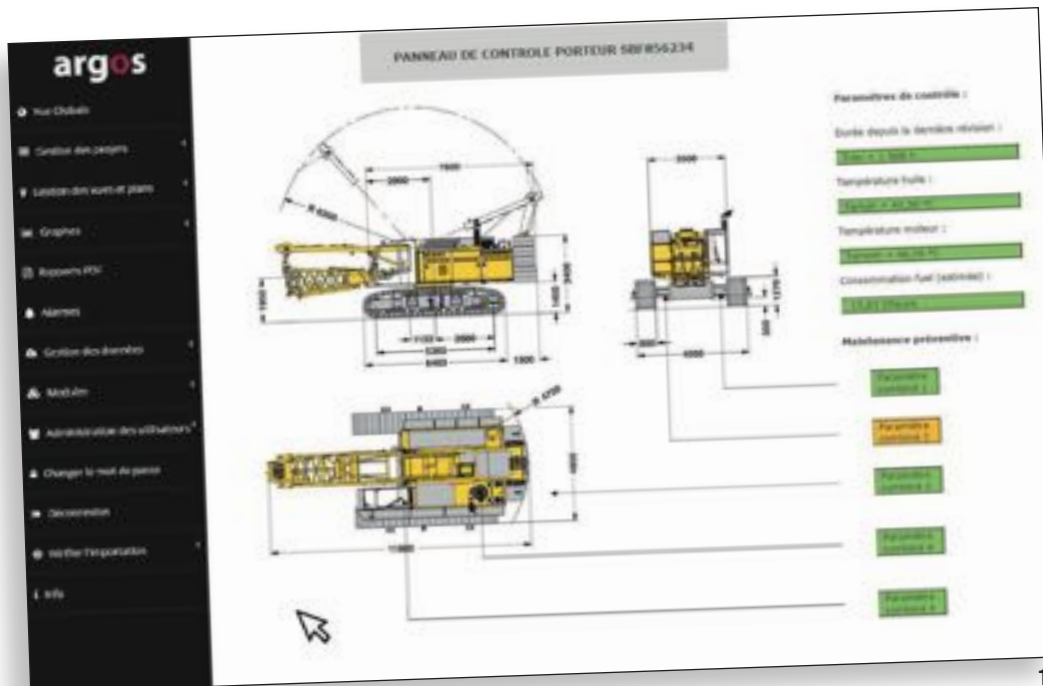
Les pannes matérielles dans les travaux publics impactent fortement la productivité et les résultats des chantiers. Par nature, l'exécution de fondations profondes ne permet pas d'observer facilement le comportement des outils de forage. Pour comprendre et anticiper les aléas, les machines sont équipées d'un grand nombre de capteurs restituant des informations sur l'état de santé de chaque organe. Ces informations n'étant pas indépendantes, il est nécessaire de les interpréter simultanément. C'est pourquoi en association avec le service matériel

## 12- Suivi multicritères des machines.

## 12- Multiple-criterion management of equipments.

de Spie Batignolles Fondations, Itmsol a développé la solution Argos Matériel qui permet de centraliser en temps réel les données de plus de 200 engins (grues, porteurs, foreuses, hydrohaveuses, machine de pieux ...). Les données recueillies sur les machines comprennent des informations mécaniques, hydrauliques et thermiques provenant des porteurs ainsi que celles des outils métier conçus et construits par Spie Batignolles Fondations.

Les données télétransmises et combinées en temps réel ouvrent un champ large d'application. Elles permettent de suivre les rendements des outillages, de mieux connaître le comportement de chaque fonction d'une machine, de mesurer l'usure de certains composants, de détecter la dégradation des pièces, d'établir un historique des facteurs ayant conduit à une panne ou de mesurer rapidement l'efficacité d'une évolution technique. L'état d'une machine est alors évalué sur son comportement dynamique multicritères (figure 12). La donnée passe du statut de *big data* à celui de *smart data*. Argos Matériel est ainsi un outil précieux qui conduit à améliorer significativement les actions de maintenance préventive et réduit les aléas de chantier. □



12

© SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

## ABSTRACT

### INNOVATIONS AT SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS: FROM REINFORCEMENT CAGE DESIGNS TO GPS LOCATION OF EQUIPMENTS

SÉBASTIEN SCHOLL, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ROMAIN SARAFIAN, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ALI KOSSARI, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ÉRIC GASTINE, ITMSOL - RICHARD LOHIER, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

**Specification of the reinforcing bars for a diaphragm wall requires three stages:** calculation of bending stress, resulting reinforcing bars and the design of reinforcements for manufacturing. To optimise this process, Spie Batignolles Fondations has set up a software development unit in its IT Department. Two interdependent software programs have been created: a dimensioning application, *Fer*®, and *AutoCage*®, a software program for automatic design of reinforcements. Other developments are millimetric GPS cubes allowing precise relocation of equipments, while Itmsol's *Argos Matériel* software performs preventive maintenance of machinery. □

### INNOVACIONES EN SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS: DEL DISEÑO DE JAULAS DE ARMADURA A LA LOCALIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS POR GPS

SÉBASTIEN SCHOLL, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ROMAIN SARAFIAN, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ALI KOSSARI, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - ÉRIC GASTINE, ITMSOL - RICHARD LOHIER, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS

**La definición del armado de una pantalla de hormigón requiere 3 etapas:** el cálculo de los esfuerzos de flexión, de los armados resultantes y el diseño de las armaduras para su fabricación. Para optimizar este proceso, Spie Batignolles Fondations ha creado un centro de desarrollo de software dentro de su departamento informático. De él han nacido dos programas interdependientes: *Fer*®, una aplicación de dimensionamiento, y *AutoCage*®, un programa de diseño automático de las armaduras. Asimismo, ha desarrollado los cubos GPS milimétricos, que permiten la localización precisa de las máquinas, mientras que *Argos Matériel*, un programa del Itmsol, se encarga de su mantenimiento preventivo. □

# PRO BTP LE MEILLEUR DE LA PROTECTION SOCIALE

SANTÉ  
PRÉVOYANCE  
ASSURANCES  
RETRAITE  
ACTION SOCIALE  
VACANCES



**PRO BTP**  
GROUPE



# Engineering a Better Solution

Depuis 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

## MACCAFERRI

[www.maccaferri.com/fr](http://www.maccaferri.com/fr)



RN19 Déviation de  
Port-sur-Saône (70)

Renforcement de base de remblai sur  
cavités par géogrilles de renforcement.

Produit : ParaGrid® 120

