

Travaux

n° 799

• LA RECHERCHE
ET L'ÉTAT

• LA RECHERCHE
UNIVERSITAIRE

• LA RECHERCHE
PARTAGÉE

• LA RECHERCHE
PROFESSIONNELLE

• LA RECHERCHE
DANS LES
ENTREPRISES

• LA RECHERCHE
DANS L'INGÉNIERIE

Recherche et innovation



Sommaire

Travaux
numéro 799

juillet-août 2003

Recherche et innovation



Notre couverture

Le pont de Rion Antirion

© VINCI

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

RÉDACTION

Roland Girardot et Henry Thonier
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 44 13 31 44

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 02 41 18 11 41
Fax : (33) 02 41 18 11 51
Francoise.Godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABONNEMENTS

Agnès Petolon
10, rue Clément Marot - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 40 73 80 05
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 163 € TTC
Etranger (11 numéros) : 200 €
Etudiants (11 numéros) : 56 €
Prix du numéro : 20 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
Isabelle Duflos
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

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).

Editions Science et Industrie S.A.
3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

6

matériels

12

PRÉFACE

Michel Ray

19

LA RECHERCHE ET L'ÉTAT

◆ Le RGC&U : un instrument de recherche pour la profession

- RGC&U : a research instrument for the industry

A. Colson

◆ Vingt-cinq innovations labellisées par le comité IVOR

- Twenty-five innovations labelled by the IVOR Committee

H. Thuillier

◆ La recherche au LCPC par des exemples

- Examples of research at French road and bridge research institute LCPC

J. Roudier, L. Delattre

◆ De pont à bridge par OA_Express. Vers un standard international d'échange de données de projets de ponts
- From "pont" to "bridge" via OA_Express. Towards an international standard for data interchange on bridge projects

Ph. Brehmer, J. Gual, Cl. Simon, G. Veylon

LA RECHERCHE UNIVERSITAIRE

◆ Contribution des universitaires à la recherche, au développement et à l'innovation en génie civil.

Organisation de la recherche universitaire et partenariats avec les entreprises

- Contribution of university staff to civil engineering research, development and innovation. Organisation of university research and partnerships with companies

Divers auteurs

LA RECHERCHE PARTAGÉE

◆ Le Projet National CRITERRE

- Le Projet National CRITERRE

G. Verrier, P. Le Tirant

LA RECHERCHE PROFESSIONNELLE

◆ L'innovation, les entreprises françaises et les initiatives européennes

- Innovation, French companies and European initiatives

V. Cousin

◆ Recherche et innovation dans la profession routière

20

24

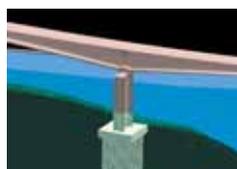
32

38

43

51

58



Sommaire

juillet-août 2003

Recherche et innovation

Dans les prochains numéros

- Environnement
- Travaux urbains
- Réhabilitation d'ouvrages
- Ponts
- International
- Routes
- Sols et fondations
- Eau
- Terrassements



- *Research and innovation in the highway engineering industry*

Ph. Gresset, L. Maison

65



LA RECHERCHE DANS LES ENTREPRISES

◆ Appia fait rimer recherche et développement durable

- *Appia performs research for sustainable development*

J.-P. Antoine, J. Marcilloux

69



◆ Le Concours international de l'Innovation du groupe Colas

- *The International Innovation Contest of Colas Group*

J.-P. Reymonet

72

◆ L'exploitation du Prix de l'innovation VINCI 2001 chez Eurovia

- *Exploitation of the VINCI 2001 Prize for Innovation at Eurovia*

M. Cyna

76



◆ Recherche, développement et innovation, moteurs du développement international

- *Research, development and innovation, driving forces for international development*

D. Gouvenot, J.-P. Hamelin

80



◆ L'innovation chez Spie au cours des cinq dernières années

- *Innovation at Spie over the last five years*

P. Chassagnette

84



◆ Prix de l'Innovation VINCI 2003. Sa nouvelle formule stimule et favorise la créativité

- *VINCI 2003 Prize for Innovation. Its new formula stimulates and encourages creativity*

P. Coppey

88



LA RECHERCHE DANS L'INGÉNIERIE

◆ Egis : toujours plus d'innovation, pour les maîtres d'ouvrages, avec les entreprises

- *Egis : ever more innovation, for the contracting authorities, with the contractors*

M. Ray, J.-M. Morin, M. Croc, S. Ghobad

94



◆ La recherche appliquée et l'innovation au LERM

- *Applied research and innovation at the LERM*

A. Ammouche

98

ABONNEMENT TRAVAUX

Encart après p. 48

répertoire des fournisseurs

102

INDEX DES ANNONCEURS

APPIA.....	2	OTUA	3È DE COUVERTURE
CNETP	13	SIKA SA	2È DE COUVERTURE
EGIS GROUPE.....	18	SMA BTP.....	15
IDETEC	4	SOLETANCHE BACHY	9
IHC	11	SPIE FONDATIONS	87
JEAN D'HUART.....	7	SYNDICAT DES MATÉRIaux ÉRUPTIFS	79
JMB MÉTHODES	31	VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS	4È DE COUVERTURE
LERM.....	4		

L'innovation, une mobilisation collective

Une tradition française créatrice de valeur pour tous

Pour beaucoup de responsables routiers étrangers, la France a été durant plusieurs décades un leader du dynamisme pour l'innovation dans nos secteurs d'activité. Un haut responsable de la recherche routière américaine ajoutait récemment que les procédures françaises de soutien à l'innovation, avec cette notion de "réseau" maître d'ouvrage-entreprise-laboratoire, étaient très intéressantes pour que chaque projet soit pleinement pertinent.

Les articles de ce numéro de la revue *Travaux* illustrent bien cette richesse sur le fond et sur les formes d'innovation.

Tout ceci est le fruit d'un dynamisme concerté de nombreux acteurs incluant divers maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre, toutes les grandes entreprises, des PME spécialisées très innovantes, le réseau technique, des laboratoires universitaires, etc. Ce courant d'innovation a modernisé et amélioré les ouvrages construits en France. Il a aussi contribué à l'image des entreprises françaises à l'export.

Certaines fragilités à regarder en face

L'écoute attentive de nombreux acteurs attire cependant l'attention :

- la proportion de maîtres d'ouvrage locaux motivés pour développer ou pour accueillir des innovations diminue, et ceci pour de multiples causes. Cela est d'autant plus paradoxal que globalement les innovations dans nos secteurs bénéficient *in fine* pour l'essentiel aux maîtres d'ouvrage ;
- sous la pression d'autres contraintes, une proportion significative de responsables de divers horizons pense que comme "ça a bien marché", ils peuvent diminuer sans risque l'effort d'innovation ;
- la solidité historique du lien entre la recherche et l'opérationnel risque dans certains lieux de se fragiliser ;
- sur le long terme, l'image des métiers du génie civil dans la société attire moins les jeunes.

Des priorités émergentes qui invitent à manager des changements parfois profonds

Les demandes sociétales fortes sur des sujets transversaux comme la sécurité routière ou le développement durable sont plus complexes à satisfaire vraiment que les sujets d'améliorations spécialisés plus classiques touchant par exemple aux chaussées, aux ouvrages d'art, à la géotechnique, etc. qui gardent néanmoins toute leur importance et qui ne sont pas forcément sans lien avec les demandes précédentes.

La gestion systématique et professionnelle des connaissances (Knowledge Management) monte en priorité comme un outil clé de performance et de compétitivité, mais le "créneau pour réussir" est étroit lorsque la pression opérationnelle des gens du terrain s'accroît.

L'analyse historique des vraies innovations de nos secteurs montre qu'elles ont "des constantes de temps" assez longues pour se développer. La tendance à l'accélération des mutations des personnels, liée à plusieurs facteurs dont par exemple les urgences des besoins des chantiers, rend la vraie capitalisation de haut niveau de plus en plus difficile.

D'autres évolutions, institutionnelles, comme la décentralisation ou le poids croissant de l'Europe sont fondamentales mais très exigeantes en terme d'adaptabilité.

Des enjeux qui justifient une mobilisation collective

Conscient de cette évolution, le ministère de l'Équipement a lancé en 2002 une évaluation de la politique de soutien à l'innovation routière. Un rapport sera présenté à l'été. L'observation du processus d'innovation dans nos secteurs montre clairement que les différents acteurs le long de la "chaîne" sont en réalité beaucoup plus dépendants les uns des autres, en comparaison de la perception qu'ils ont de cette solidarité. La véritable re-mobilisation, que de nombreux acteurs ressentent comme indispensable maintenant, doit donc être collective pour être vraiment efficace.



■ MICHEL RAY

Président du Comité d'orientation du Réseau Génie Civil et Urbain

Directeur Scientifique et Technique - Egis

Le RGC&U : un instrument pour la profession

La création du réseau est présentée dans la continuité du Plan Génie civil et dans le cadre national des réseaux de recherche et d'innovation technologiques mis en place à partir de 1999. Le mécanisme de labellisation des projets, qui représente une part importante de l'activité du Comité d'orientation, est décrit. Une attention particulière est consacrée à la seconde part importante de l'activité du Comité qui consiste à mener une réflexion prospective sur les futures thématiques de recherche à soutenir par le réseau et les enjeux qui y sont associés pour la profession. L'article se termine par un bilan chiffré de l'activité du réseau qui démontre tout l'intérêt de cette procédure incitative qui se traduit par un réel engagement de la profession, tant sur le plan financier que sur celui de la définition des thèmes de recherche. Il reste à amplifier largement ce dispositif, notamment son budget, pour atteindre un volume d'activité en rapport avec l'importance du secteur économique du bâtiment et des travaux publics et ainsi maintenir une capacité d'innovation indispensable à la compétitivité des entreprises.

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU RÉSEAU

Le Réseau Génie Civil et Urbain (RGC&U) a été créé en avril 1999 dans la continuité du Plan génie civil. C'est l'un des seize réseaux de recherche et d'innovation technologiques mis en place conjointement par le ministère de la recherche et les ministères spécialisés pour développer et intensifier le couplage entre la recherche publique et les entreprises. C'est naturellement le ministère de l'Équipement qui est associé au ministère de la Recherche pour assurer la tutelle du RGC&U.

L'organe "fort" de pilotage du réseau est son comité d'orientation, sur lequel nous reviendrons ultérieurement, composé pour 75 % de personnalités du monde des entreprises et des secteurs économiques et professionnels concernés et pour 25 % par des personnalités du monde "académique". Ainsi à côté d'établissements ou d'organismes publics ou semi-publics – Laboratoire central des Ponts et Chaussées, laboratoires universitaires et d'écoles d'ingénieurs, Centre scientifique et technique du Bâtiment, centres techniques spécialisés, ... – qui définissent et conduisent leur politique de recherche, la profession dispose-t-elle d'un instrument de pilotage direct, sur une masse financière certes limitée mais quand même significative, des aides publiques à la recherche.

Le principe fondamental de fonctionnement des réseaux de recherche et d'innovation technologiques est la procédure dite "bottom-up" qui est une forme d'appel à propositions permanent sur une (ou des) thématique(s) déterminée(s) et reconnues prioritaires (cf. encadré "Liste des huit thèmes actuels"). Ainsi toute entreprise ou groupement de partenaires

peut à tout moment proposer ou suggérer une action ou un programme de recherche. Le comité d'orientation, après examen approfondi conduit par des rapporteurs et délibération en composition plénière, peut accorder son label au projet de recherche s'il estime le projet pertinent et réaliste tant dans sa thématique que dans son organisation et sa faisabilité.

L'un des critères les plus importants examiné en vue de la "labellisation" est la composition du partenariat qui doit être le plus ouvert et le plus représentatif possible, tout en se limitant à un chiffre garant de la faisabilité. Les partenaires potentiels sont les "grands acteurs" de la profession : maîtres d'ouvrage publics et privés, maîtres d'œuvre, ingénierie, architectes, entreprises, industriels, laboratoires publics et privés. Pour être labellisé un projet doit rassembler un nombre suffisamment significatif de ces partenaires potentiels. A ce jour on peut distinguer deux catégories de projets : les projets nationaux essentiellement gérés par l'IREX (Institut de Recherche appliquée et d'Expérimentation en génie civil) qui comportent de 20 à 40 partenaires émanant pratiquement de toutes les catégories ci-dessus, et les projets RGCU "standards" de taille plus réduite, trois à huit partenaires représentant trois ou quatre des catégories ci-dessus.

A partir du moment où un projet est labellisé, il peut faire l'objet d'une aide financière de l'État, dans la limite des possibilités budgétaires annuelles, qui est fixée à un maximum de 20 % du coût global du projet pour les projets nationaux et 20 à 40 % pour les projets "dits" standards.

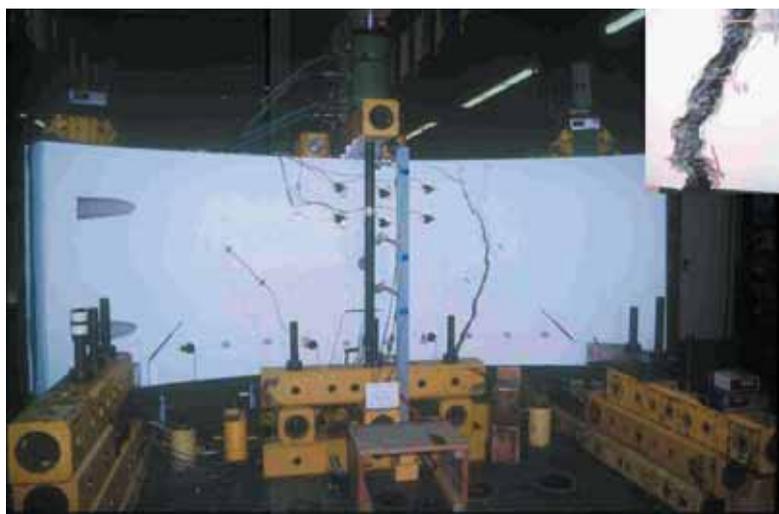
Au-delà de l'activité de labellisation des projets, le RGC&U organise ou contribue à l'organisation de diverses manifestations de communication et de promotion comme "Les entretiens du RGC&U" ou les journées techniques de l'IREX. Les Entretiens, organisés conjointement avec la FNTF, la FFB, l'IREX et le Réseau doctoral génie civil, se tiennent systématiquement au mois de janvier de chaque année et sont destinés à approfondir les contacts entre les professionnels et les doctorants.

■ LE COMITÉ D'ORIENTATION DU RGC&U : SON RÔLE ET SON FONCTIONNEMENT

Il est composé de 23 personnes venant du panel représentatif des "grands acteurs" de la profession évoqué précédemment et présentant des profils de compétences scientifiques complémentaires afin

Essai sur la plate-forme du LCPC d'un voussoir préfabriqué de tunnel en béton de fibre. Projet National BEFIM (Béton armé de fibres métalliques), terminé en 2002

Testing, on the LCPC platform, of a prefabricated fibre-reinforced concrete tunnel segment. National BEFIM project (metallic fibre reinforced concrete), completed in 2002



© LCPC



de couvrir au mieux les différentes facettes de la profession. Il est actuellement présidé par Michel Ray, directeur scientifique du groupe EGIS.

Le comité se réunit quatre fois par an en session plénière et est doté d'un bureau qui prépare les travaux du comité. La cellule d'animation composée de deux représentants du ministère de l'Équipement et d'un représentant du ministère de la Recherche assure une double fonction : les relations avec les administrations concernées pour le montage financier des projets et surtout les relations avec les porteurs de projets, tant dans les phases de montage pour des conseils et des orientations, que dans le suivi de la réalisation et la phase finale de clôture et réception des rapports. Toutes les informations et coordonnées détaillées sont sur le site du réseau à l'adresse suivante : <http://www.rgc.prd.fr>. Le lecteur y trouvera également des conseils pour préparer une proposition et la liste des projets en cours. Afin de "démultiplier" son action, le comité dispose de relais en régions – Lyon, Nancy, Lille, Nantes, Toulouse – qui assurent le transfert d'informations dans les deux sens : de et vers le comité, pour les entreprises et les laboratoires situés en province.

Le comité travaille prioritairement dans deux directions :

- ◆ une réflexion prospective sur les thématiques à développer ou à renforcer, sur les enjeux majeurs pour la profession et ses acteurs ;
- ◆ l'examen détaillé des projets qui lui sont proposés en vue de la labellisation puis le suivi de ceux-ci.

■ LA RÉFLEXION PROSPECTIVE ET LES ENJEUX DE LA PROFESSION

Sur la lancée du Plan génie civil, le RGC&U a œuvré pour une recherche disciplinaire structurée autour des matériaux, de la géotechnique et de l'assainissement, conformément à ses huit thèmes de base. En 2001, deux ans après sa création le comité a entrepris une réflexion sur quatre sujets à caractère transversal et d'intérêt commun à l'ensemble de la profession :

- ◆ la coopération européenne ;
- ◆ l'attractivité des métiers du BTP en direction des jeunes ;
- ◆ l'aspect urbain, tant pour les travaux que pour les recherches ;
- ◆ l'environnement.



© Solélanche Bachy

Sur le premier point les différents outils de coopération "créés par l'Europe" ont été identifiés et investigués, puis présentés et discutés avec la profession, notamment avec la FNTF dans le cadre du 6^e PCRD. La cellule d'animation peut aussi conseiller les porteurs de projets sur d'autres outils tels qu'Eureka ou COST... Le comité a encouragé une initiative française de projet intégré qui, bien que n'ayant pas abouti dans sa première phase, est le signe d'une ouverture et d'une volonté nouvelle de collaboration élargie. Il est clair cependant que ce terrain est très complexe puisque se mêlent des intérêts "attractifs" et "répulsifs" en termes culturels et concurrentiels. Le comité continuera d'explorer toutes les voies de progrès sur ce sujet, si minces soient-elles.

Concernant l'attractivité de la profession en direction des jeunes, le comité ne prétend pas avoir découvert un problème dont tout le monde est bien conscient maintenant, mais il compte apporter "sa pierre à la construction de l'édifice" en s'attachant d'abord, et tout récemment, la présence en son sein du seul Inspecteur général de l'Éducation Nationale de la spécialité génie civil. Il convient de remarquer que cette question est liée très directement

Projet RGC&U : fraise de nouvelle génération. Vue des essais sur le chantier de Monaco Roc Azur

RGC&U project : new generation cutter. View of tests on the Monaco Roc Azur project

Etude de la réponse dynamique de poutres en béton armé atteintes d'alcali-réaction : projet RGC&U "Evaluation dynamique des ponts"

Study of the dynamic response of reinforced concrete girders affected by alkali-aggregate reaction : RGC&U project on "Dynamic assessment of bridges"



© LCPC

► à un problème plus général de communication. Le secteur du BTP souffre du caractère peu médiatique de son activité et malgré la bonne volonté de ses acteurs ne parvient pas à "remonter la pente". Le comité entreprend en 2003, avec l'aide d'un professionnel de la communication, une action de valorisation des résultats des recherches qu'il soutient, tant en direction des utilisateurs potentiels qu'en direction des milieux éducatifs espérant ainsi toucher de manière pérenne les familles et le grand public au niveau de l'image de la profession. Sur le thème de l'urbain, c'est une action plus directe qui a été choisie puisque le comité a lancé dès le printemps 2002 un appel à propositions sur la thématique : "Technologie des infrastructures urbaines". Cet appel à propositions vient compléter la procédure "bottom-up" d'appel permanent. Quatre projets ont été labellisés dès l'été 2002 sur un total de 13 propositions. D'autres pourront l'être car la thématique reste "ouverte". Pour ce qui est de l'environnement, aujourd'hui on utiliserait plus volontiers le terme développement durable (ou mieux soutenable), il a fallu un peu plus de temps pour faire émerger un enjeu très fort sur lequel il y a maintenant un réel consensus : "la vulnérabilité des infrastructures vis-à-vis du changement climatique". L'appel à propositions correspondant a donné lieu à 18 propositions parmi lesquelles trois ont été labellisées rapidement. Là aussi d'autres projets pourront être réexaminés après prise en compte des avis du comité émis lors du premier examen.

Le caractère transversal, et systémique, de ces deux appels à propositions traduit l'évolution de la recherche en génie civil évoquée par François Perdrizet dans une récente préface de la revue *Travaux* [1]. Cette évolution est rendue nécessaire par la complexité des problèmes qui sont à résoudre maintenant, dans un contexte de compétitivité accrue et dans une situation économique pour le moins "fluctuante". Afin de se donner de nouveaux repères

et dans le but d'être plus pertinent dans ses conseils et recommandations le comité entreprend une re-définition de ses huit thèmes de départ, en vue, aussi, d'une meilleure lisibilité et d'une meilleure attractivité. Les toutes premières réflexions suggèrent de regrouper certains thèmes, pour en simplifier la présentation, tout en distinguant les enjeux socio-économiques d'une part et les enjeux technologiques d'autre part car les "leviers d'action" vis-à-vis de ces deux types d'enjeux sont certainement différents. Les conclusions de ces travaux seront sur le site électronique du réseau dès l'été 2003.

■ LE BILAN DES PROJETS LABELLISÉS

Actuellement 49 projets sont en cours de réalisation, dont 39 ont reçu le label RGC&U. Les dix autres avaient débuté sous l'égide du Plan génie civil et ont été repris pour leur suivi. La liste exhaustive, avec cinq à dix lignes de présentation de chaque projet, figure sur le site électronique du réseau et accompagne le bilan des Entretiens 2003 [2].

En moyenne le comité labellise chaque année une dizaine de projets : 7 en 1999 et 2001, 12 en 2000 et 13 en 2002. Les financements publics annuels, qui ne sont pas "synchrones" des labellisations car les délais de montage administratifs introduisent des décalages, sont en moyenne de 3,6 M€ pour un financement privé correspondant de 11,2 M€. Ainsi la part du financement public s'établit à 25 % du coût total de la recherche. En d'autres termes le financement incitatif de l'Etat génère "un effet de levier" de 4, ce qui est un résultat qualitativement positif en regard de l'objectif premier des réseaux de recherche et d'innovation technologique qui est d'assurer "le couplage" de la recherche publique et des entreprises.

Ainsi la profession peut être "satisfaite" de son résultat et considérer que le RGC&U est un "instrument" qu'elle utilise avec pertinence tant de son propre point de vue que de celui de l'Etat. Cependant cette satisfaction qualitative ne doit pas masquer le problème quantitatif qui est celui du montant total des financements dédiés à la recherche en génie civil par rapport à d'autres secteurs professionnels. Le comité se fixe comme objectif à 3 ans de passer d'un financement public de 3,6 M€ à 6 M€, ce qui, sur la base des ratios ci-dessus correspondrait à un montant total de recherche de 24 M€. Ce chiffre apparaît comme tout à fait réaliste compte tenu du nombre de projets qui sont dans les "cartons" et de l'intérêt croissant des partenaires potentiels pour cette recherche collaborative. C'est par ailleurs un taux de croissance essentiel pour maintenir et développer l'innovation, au sens large, dans les métiers du bâtiment et des travaux publics.

■ BIBLIOGRAPHIE

[1] François Perdrizet : Génie civil et urbain : une nécessaire rupture conceptuelle. Préface de la revue *Travaux*, n° 790, octobre 2002.

[2] André Colson et Daniel Boissier : Les entretiens du RGC&U 2003. *Revue française de génie civil*. Volume 7, n° 1/2003.

LES HUIT THÈMES ACTUELS DU RGC&U

- Matériaux et méthodes constructives.
- Risques liés aux sols et à l'hydrologie.
- Suivi, diagnostic et entretien des constructions.
- Construction et environnement : réduction des déchets et des pollutions.
- Réduction des nuisances sonores et des vibrations.
- Suivi, diagnostic et entretien des réseaux urbains.
- Conception et entretien des voiries et des aménagements urbains.
- Instrumentation et outils informatiques.

ABSTRACT

RGC&U : a research instrument for the industry

A. Colson

The creation of the RGC&U (civil and urban works) network is described, following on from the Civil Engineering Plan and within the national framework of the technological research and innovation networks set up from 1999 on. The project labelling system, which represents a major proportion of the Steering Committee's activity, is described. Special attention is devoted to the second major part of the Committee's activity which is to conduct long-term planning on the future research themes to be supported by the network and the issues involved therein for the industry. The article ends with a quantified review of the network's activity demonstrating all the benefits of these incentives which are materialised by a real commitment by the industry, from both the financial viewpoint and with regard to the definition of research themes. This system, and in particular its budget, still has to be expanded greatly to achieve a volume of activity in line with the economic importance of the building and construction sector and thus maintain a capability for innovation that is essential to corporate competitiveness.

RESUMEN ESPAÑOL

El RGC&U : instrumento de investigación para la profesión

A. Colson

La creación de la red se presenta en la continuidad del Plan Ingeniería Civil y en el marco nacional de las redes de investigación y de innovación tecnológicas implantadas a partir de 1999. Se describe el mecanismo de labelización de los proyectos, que representa una parte importante de la actividad del Comité de orientación. Se pone particular atención en cuanto a la segunda parte de la actividad del Comité, que consiste en emprender una reflexión prospectiva acerca de los futuros sistemas de investigación a apoyar por la red y aquello que está en juego y su influencia para la profesión. El artículo finaliza por un balance cifrado de la actividad de la red, que demuestra el

gran interés de este procedimiento incitativo que se refleja por un compromiso real y efectivo de la profesión, tanto desde el punto de vista financiero como para aquel de la definición de los temas de investigación. Queda por ampliar en mayor escala este dispositivo, y fundamentalmente por lo que se refiere al presupuesto, para alcanzar un volumen de actividad que guarde relación con la importancia del sector económico de la edificación y obras públicas y, de este modo, mantener una capacidad de innovación indispensable para la competitividad de las empresas.

Vingt-cinq innovations par le comité IVOR

Qu'y a-t-il de commun entre les panneaux KLH, le coulis Ecosol®, la technique des âmes plissées, le collage de TFC, le PIMM®, les fusibles de la couverture PSD et la chasse automatique pour drains siphons ?

Ces matériaux et ces procédés de construction ont, parmi 25 autres, reçu le label délivré par le comité IVOR (Innovations Validées sur Ouvrages de Référence).

■ LE COMITÉ IVOR

Créé en 1994 par les ministres chargés de l'Équipement et de la Recherche, le comité IVOR (ou comité des ouvrages de référence) est à l'heure actuelle présidé par M. Georges Mercadal, vice-président de la Commission nationale du débat public. Il est composé de onze personnalités de compétence et d'impartialité reconnues et se réunit au moins deux fois par an pour décider des labellisations. La Mission génie civil de la DRAST (Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques) assure le secrétariat du comité.

Les éléments techniques de validation des innovations, sont publiés par la DRAST et diffusés à 8000 exemplaires aux acteurs du génie civil (maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre publics et privés, architectes, entreprises, bureaux d'études, industries).

Une appréciation sur l'innovation et un dossier technique de validation sont associés au label et constituent le dossier de référence, mis à disposition des maîtres d'ouvrage publics ou privés.

■ LES LABELS IVOR

Les réponses à l'enquête de satisfaction, menée en 1997-98 par le secrétaire du comité, attribuaient au label IVOR une forte image "TP/ouvrages d'art/grandes entreprises".

Depuis 1999, les domaines d'application des innovations labellisées se sont diversifiés. A ce jour, le "bâtiment" compte deux ouvrages de référence, de même que le domaine fluvio-maritime ; huit labels sur 25 concernent la géotechnique et dix concernent la construction, la réparation ou la déconstruction des ponts. D'autre part, sur les 14 labels attribués depuis 1999, neuf innovations sont portées par des PME ou des TPE.

Les 25 labels en bref

Dans le domaine du bâtiment

◆ **L'application de la technique de la précontrainte par post-tension à un dallage industriel** sollicité par des charges lourdes et variables.

L'ouvrage de référence est un dallage de l'usine du groupe O.C.G. Cacao S.A. à Grand Quevilly (Seine-Maritime), pour lequel le maître d'ouvrage ne tolérait aucune fissuration pour des raisons sanitaires. Innovation de VSL France, cette technique exige, pour être efficace, que les forces de précontrainte mises en œuvre soient établies dans l'épaisseur de la dalle, celle-ci étant par-là comprimée préalablement à sa mise en service. L'interface dalle-sol a donc été rendue glissante pour limiter les pertes par frottement de la précontrainte dans le sol lui-même.

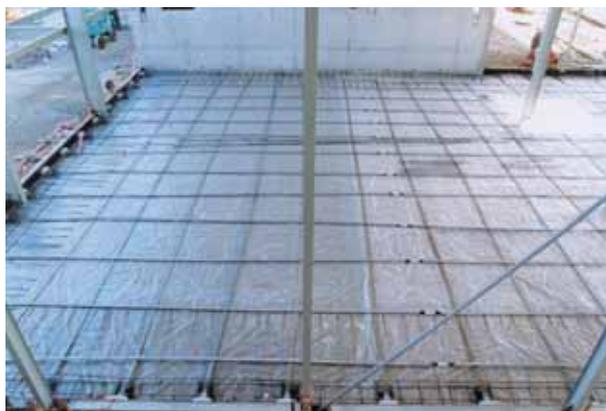
Les avantages de l'innovation sont :

- une absence totale de fissures en surface de dallage,
- une dalle monolithique sans joint,
- une diminution de l'épaisseur par rapport à une solution traditionnelle.

◆ **Les panneaux structurels en bois massif contre-**

L'application de la technique de la précontrainte par post-tension à un dallage industriel

Application of the post-tension prestressing technique to industrial slabbing



Panneaux structurels en bois massif contrecollés KLH

Structural panels of glue-backed massive wood, KLH



Le comité IVOR a pour objet de faciliter la validation des innovations techniques mises en œuvre avec succès dans des ouvrages de référence, et d'en encourager la diffusion. A cette fin, il attribue son label aux innovations jugées intéressantes sur la base d'une expertise réalisée majoritairement par le réseau scientifique et technique du ministère de l'équipement. Tous les types d'innovations (matériaux, procédé, méthode de calcul...) intéressant le génie civil sont concernés par cette labellisation.

A l'appui de ces labels, les fiches IVOR, qui contiennent

labellisées

Hervé Thuillier



SECRÉTAIRE DU COMITÉ
IVOR
METLTM - DRAST Mission Génie
Civil

collés KLH, commercialisés par la SAS Lignatec, ont été utilisés par l'architecte, M. Paillard, en tant que murs extérieurs et panneaux supports de couverture assurant le contreventement du bâtiment et, pour la zone de bureaux, en tant que plancher. L'ouvrage de référence est un bâtiment industriel construit par l'entreprise Claudet pour la société Pro Lignum, à Frasnay (Doubs).

Les panneaux KLH sont constitués de planches en bois massif, empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface, au moyen d'une colle à base de résine polyuréthane. A l'échelle et au domaine d'emploi près, ces panneaux peuvent être assimilés à des panneaux de contreplaqué, avec les avantages suivants :

- utilisation des produits connexes de scierie,
- rapidité de mise en œuvre (panneaux de grande dimension, qui peuvent être prédécoupés et munis des ouvertures (portes, fenêtres, trémies...) du futur ouvrage),
- amélioration des performances mécaniques liée à l'effet "système".

Pour la construction des ouvrages fluviaux et la protection des ouvrages maritimes

◆ **L'utilisation de matériau composite pour la construction de portes d'écluse** n'a pas seulement consisté à remplacer l'acier par du composite verre-résine : la conception architecturale de la porte a été entièrement repensée en fonction des caractéristiques de ce matériau afin de tirer pleinement parti de ses propriétés intrinsèques. Le produit final annonce une nouvelle génération de portes d'écluse.

Après une étape de pré qualification sur modèle réel, cette innovation a été validée par l'installation et la mise en service des nouvelles portes sur l'écluse n° 14 de la chaîne d'écluses de Golbey, sur le canal de l'Est, branche sud (Vosges), qui constitue l'ouvrage de référence pour ce label IVOR 97.5.

Cette réalisation démontre l'intérêt, pour un processus d'innovation, des techniques dites "duales" puisqu'il a permis de faire bénéficier le domaine "civil" Voies Navigables de France (VNF) de l'expertise en matériaux composites acquise depuis des années par la Direction des constructions navales DCN-Lorient dans le domaine "militaire".

◆ **Le système duplex de protection anticorrosion des ouvrages maritimes a reçu le 25° label**, en octobre 2002. Ce système a été mis en œuvre dans le cadre d'une politique de prévention préconisée par le Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF), sur les pieux-tubes supports du

quai de l'Anse Gerbal à Port-Vendres (Pyrénées Orientales), par l'entreprise Chagnaud, sous maîtrise d'ouvrage du département des Pyrénées-Orientales et maîtrise d'œuvre du Service Maritime Navigation du Languedoc Roussillon.



Le système duplex de protection anticorrosion des ouvrages maritimes

The duplex system for structure corrosion protection

Exemple innovant en terme de prolongation de la durée de vie d'un ouvrage et en terme de diminution de frais et d'interventions ultérieures, la solution conservatrice retenue consiste à stopper les attaques dues au milieu agressif en abaissant le potentiel électrochimique des pieux et en les isolant de l'électrolyte (eau de mer) sur leurs parties hautes :

- les parties immergées des pieux sont protégées par des anodes sacrificielles,
- les parties hors d'eau et la zone d'éclaboussures sont protégées par mise en place d'un chemisage, constitué d'un tube polyéthylène (PE) destiné à éviter tout contact entre les têtes de pieux et l'électrolyte. L'espace annulaire entre le pieu métallique et le tube PE est rempli d'un mortier de calage à retrait compensé. Le tube PE protège le pieu sur une hauteur de 1,30 m dont 0,65 m hors d'eau et 0,65 m sous l'eau.

Cette technique est limitée aux mers à faible marée.

Dans le domaine de la géotechnique

◆ Le troisième label IVOR, décerné en 1995, concernait **l'utilisation du clouage pour réaliser un mur de soutènement**. Cette technique consiste à renforcer un sol en déblai, au fur et à mesure de l'excavation, par la mise en place de barres passives peu inclinées sur l'horizontale, parallèles les unes aux autres et travaillant essentiellement à la traction.

LE LABEL IVOR

Le label IVOR constitue une référence pour les rapports entre inventeurs et maîtres d'ouvrage, en France mais aussi à l'exportation. En effet, grâce au dossier technique de validation et à l'appréciation du comité sur l'innovation, qui accompagne le label, l'utilisateur futur dispose d'éléments de jugement indépendants du concepteur de l'ouvrage et de l'inventeur de l'innovation.

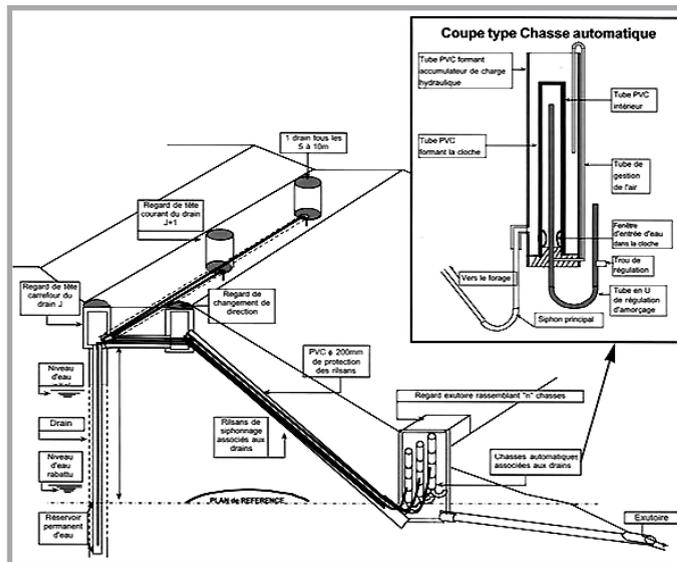
Le label IVOR est ainsi un outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage, en leur donnant des informations utiles à l'exercice de leur responsabilité quant à l'acceptation d'une innovation dans un ouvrage à construire.

Regard équipé de chasses automatiques
Manhole fitted with automatic flushes



Le remblai léger Plastbloc®
Plastbloc® light backfill

L'amélioration du drainage par application de la chasse automatique aux drains siphons
Improvement of drainage by application of automatic flushing to siphon drains



► L'ouvrage de référence, long de plus de 400 m pour une hauteur maximale de 11 m, a été construit par Bouygues, à Bois d'Arcy (Yvelines), sur l'autoroute A12 (l'entreprise STIPS étant sous-traitante pour les forages et le béton projeté). Il est constitué de deux murs superposés ; une risberme de 1 m séparant les deux murs. Le parement a été réalisé en béton projeté, la dernière passe étant teinte dans la masse.

Les règles de l'art relatives au procédé de construction de murs en sol cloué ont fait l'objet des "Recommandations Clouterre 1991".

◆ **Le traitement d'une pollution in situ par un écran poreux** (une tranchée remplie d'un matériau obtenu en malaxant des gravillons calibrés avec un coulis spécial de la gamme Ecosol®). La granulométrie du gravillon et l'épaisseur du film de coulis enrobant sont déterminées pour donner à la tranchée une perméabilité analogue à celle du sol, afin de ne pas perturber le régime hydraulique du site. Lors de la percolation, les espèces chimiques polluantes

sont fixées, par des réactions physico-chimiques d'adsorption et de précipitation, sur la pellicule de coulis Ecosol® durci qui adhère aux granulats.

L'ouvrage de référence est la tranchée drainante construite par Soletanche au pied de l'autoroute A22 à Neuville-en-Ferrain (Nord), sous maîtrise d'ouvrage Etat (DDE 59), avec le conseil technique du Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC).

◆ **Le remblai léger Plastbloc®** a été labellisé en septembre 2000. Ce dossier avait été présenté en septembre 1999 au comité IVOR, mais celui-ci avait demandé un complément d'instruction.

Cette innovation est couverte par un brevet (IUT A de Villeurbanne, société Ingéval, société Trivalor). Elle porte sur l'utilisation de déchets de matières plastiques propres compressés en blocs pour constituer des remblais légers. Placé derrière un rideau de palplanches comme dans le cas de l'ouvrage de référence, le remblai en Plastbloc® diminue les efforts de poussée sur ce rideau.

L'ouvrage de référence est un élargissement en remblai du Lacet du Cudret sur la route départementale 99 à Montaimont (Savoie).

◆ **L'amélioration du drainage par application de la chasse automatique aux drains siphons.**

L'ouvrage de référence est le drainage profond gravitaire par drains siphons régulés par chasses automatiques, construit à Oingt (Rhône) pour stabiliser un glissement de terrain sous la route départementale 96, le département du Rhône étant maître d'ouvrage.

La simple technique des drains siphons permet de rabattre la nappe à 10 m de profondeur environ, sans pompage. Lorsque le débit est faible, le fonctionnement des drains siphons est amélioré en utilisant le procédé de chasse automatique mis au point par M. Gress : stockage de l'eau dans un réservoir, puis vidange rapide déclenchée automatiquement par la mise en pression d'une bulle d'air. Les avantages principaux du procédé sont : rusticité (pas de pièce mécanique), coûts d'investissement et d'entretien faibles.

◆ **Le procédé de construction EPI/PB** de mur de soutènement de déchetterie par éléments préfabriqués et clavetage bénéficie d'atouts économiques, notamment une durée réduite d'intervention sur site, un transport et une manutention facilités, et permet d'obtenir des parements de qualité.

L'innovation de M. Dutel consiste à supprimer la traditionnelle semelle du mur en L et à assurer l'équilibre du mur en reliant entre eux les différents éléments de base d'une déchetterie : dallage bas, garde-roues et voiles perpendiculaires se sollicitant les uns les autres.

L'ouvrage de référence est la déchetterie de Bressuire (Deux-Sèvres), réalisée par l'entreprise Préfa Bressuirais avec les conseils techniques de ABAC (Activités Béton Armé Constructions) et de Coulais Consultant pour le compte du Syndicat du Val de Loire.

◆ Le procédé de "paroi moulée à armatures continues" permet la création d'une véritable liaison mécanique entre les armatures des panneaux adjacents d'une paroi moulée dans le sol, par l'intermédiaire d'éléments de palplanches métalliques plates de type Rombas, enclenchés les uns aux autres. L'ouvrage de référence a été construit par Solétanche Bachy pour la dénivellation du carrefour de la RN 20 et de la RN 186, dans le cadre de l'opération de l'autoroute A86 à Antony, au lieu-dit "La Croix de Berny" (Hauts-de-Seine). Dans le cadre de la **Charte "innovation ouvrage d'art" mise en place par le ministère de l'Équipement et la FNTP**, la société Solétanche Bachy a réalisé une partie de paroi moulée dont les armatures sont continues. Cette innovation permet de répondre aux exigences liées aux préoccupations parasismiques (assurer une continuité mécanique au droit des joints). Elle trouvera également des applications dans des projets spécifiques : parois circulaires, ouvrages pour lesquels, localement, la réalisation de tirants précontraints s'avère impossible, parois ancrées par tirants plans...

Deux procédés de soutènement ont été labellisés en 2002

◆ Le procédé **Pro'link**® est un procédé de construction d'un ouvrage de soutènement adossé à une paroi, dans laquelle sont prévus des points d'ancrage répartis : un nouveau parement (un treillis métallique dans le cas de cet ouvrage) est mis en œuvre à une certaine distance de la paroi et maintenu par un lien souple sur les ancrages, ce qui permet le remblaiement de l'espace intermédiaire. L'ouvrage de référence a été construit par l'entreprise M.C.C.F. pour renforcer un talus sur la RD 514, à Bitry (Nièvre), sous la maîtrise d'œuvre de la CDOA-DDE de la Nièvre. Le procédé Pro'link®, conçu par le bureau d'études Profractal SARL, présente une solution innovante pour l'élargissement de plate-forme, bien adapté au cas de sols de fondation médiocres avec emprise au sol limitée.

◆ Le caractère nouveau du **procédé Tervoile**® réside dans son principe de fonctionnement qui est la mobilisation de la butée du sol par les étriers (plats métalliques en forme de U placés sur chant) noyés au sein du massif de sol rapporté et attachés à leurs deux extrémités au parement par l'intermédiaire d'amorces d'encastrement. Ces éléments sont considérés comme des éléments de renforcement agissant par confinement du sol. Ce mécanisme conduit à le différencier des autres procédés connus comme la Terre Armée ou les remblais renforcés par géosynthétiques pour lesquels les éléments de renforcement sont mobilisés par le frottement entre le sol et les armatures. L'ouvrage de référence est le mur de soutènement provisoire de la plate-forme de la pile P3 du viaduc de l'autoroute A75 à Millau (Aveyron), construit par



Murs de soutènement par éléments préfabriqués

Retaining wall with prefabricated elements



Le procédé de paroi moulée à armatures continues

The continuous armoring diaphragm wall process

la société SATS pour la Compagnie Eiffage du Viaduc de Millau. D'une hauteur de 10,50 m, le plus haut réalisé jusqu'à présent, cet ouvrage est le premier ouvrage Tervoile® treillis véritablement instrumenté (essais d'arrachement des étriers, mesure de déformation des éléments d'étriers par jauges de déformation et mesure des déplacements du parement par mesure topographique).

Le label 01.1 se situe à la limite entre la géotechnique et les structures

◆ La **couverture pare-pierres à forte capacité de dissipation énergétique** a été construite par Campenon Bernard sur la RN 212, dans les gorges de l'Arly, au lieu-dit "Les Essariaux" (Savoie).

La structure mise au point par Tonello Ingénieurs Conseils présente deux caractéristiques innovantes :

- la contribution (par plastification des aciers passifs) de la dalle de couverture à la dissipation de l'énergie des blocs,
- l'utilisation d'appareils d'appui métalliques fusibles, disposés tous les 3 m ; leur rôle est d'écrêter les efforts atteignant les fondations pendant les chutes de très gros blocs sur la dalle de couverture, ce qui est essentiel puisque ces parties ne peuvent pas être réparées ; ils limitent également les efforts dans la dalle, en autorisant, à l'ELU (état limite ultime), des déplacements supplémentaires.

Pour la construction, la réparation ou la déconstruction des ponts

◆ Le premier label IVOR a été attribué en 1995 à l'**emploi d'aciers thermomécaniques** dans la construction du pont de Remoulins sur le Gardon (Gard). Le laminage thermomécanique, mis au point par GTS-Industries, est un procédé de laminage à température faible et contrôlée, qui permet d'éviter la recristallisation de l'austénite : on obtient ainsi des



Le procédé Pro'link®

The Pro'link® process

La technique des âmes
métalliques plissées
*The pleated metallic
web technique*



toiles ayant des propriétés mécaniques plus élevées, avec peu de carbone dans l'acier, ce qui favorise sa soudabilité.

Le pont de Remoulins, dont la conception, la réalisation et le comportement en service permettent de témoigner de la maîtrise scientifique, technique et économique de l'emploi de ce nouveau type d'aciers, constitue **l'ouvrage de référence IVOR** pour cette innovation.

◆ Le procédé **Modulopont-2 de construction industrialisée de pont de type courant** autorise la construction d'ouvrages en béton, droits ou biais, de type portique (avec une portée pouvant atteindre 16 m) ou de type dalle continue (avec des portées pouvant atteindre 25 m). En 1995, l'ouvrage de référence (P.I. n° 16 sur l'autoroute A28, en Seine-Maritime) a ainsi été entièrement préfabriqué (piédroits et tablier) par l'entreprise Quille, avec une durée très réduite d'intervention sur site (19 jours), ce qui a facilité l'exécution des travaux de terrassement.

◆ Présentée au comité IVOR par le Conseil général du Puy-de-Dôme, maître d'ouvrage, l'innovation que représente **l'utilisation du bois dans la structure d'un pont routier** (le premier pont en bois sans limitation de charge), a fait l'objet d'une expertise confiée au Centre technique du bois et de l'ameublement (CTBA). Le suivi du comportement dans le temps de cet ouvrage, construit sur la Dore, à Saint-Gervais-sous-Meymont (Puy-de-Dôme), par l'entreprise Tarentaise-Maintenance-Bâtiment, est effectué par le Laboratoire régional des ponts et chaussées de Clermont-Ferrand et le laboratoire pour la rhéologie du bois de Bordeaux (LRBB).

Sur la base du rapport d'expertise, le comité IVOR a décidé, en mars 1996, d'attribuer le label IVOR à cette innovation.

◆ L'**"extradosage" de la précontrainte dans un pont** permet de réduire les quantités de précontrainte, ainsi que, dans la plupart des cas, des gains sur le volume du béton. Un tablier aussi élancé que celui de l'ouvrage de référence qui franchit la rivière l'Arc et l'autoroute A43 à Saint-Rémy-de-Maurienne (Savoie), n'aurait pas été envisageable dans le cadre d'une solution à précontrainte traditionnelle. Sa réalisation s'appuie sur l'ensemble très riche des essais effectués sur le comportement des ouvrages à précontrainte extérieure au centre d'essai des structures du CEBTP dans le cadre d'un contrat Setra-FNB-CEBTP. Conçu par l'architecte Charles Lavigne et le Bureau Tonello, ce pont a été construit par Fougerolle Ballot sous maîtrise d'ouvrage de la Société Française du Tunnel Routier du

Fréjus, la SETEC étant conducteur d'opération et la DDE 73 maître d'œuvre.

◆ Le **pont provisoire rapide à construire** : un exemplaire du **PIMM®** (pont industriel métallique modulable) a été mis en place en deux semaines par le Centre national des ponts de secours (CNPS) pour le compte du département de l'Oise. Il permet ainsi à la RD 418 de franchir l'Oise à Précy-sur-Oise. La pièce de pont du PIMM® forme un seul élément, comprenant, à ses deux extrémités, les noeuds d'assemblage, et recevant les diagonales et la membrure horizontale des poutres latérales. Cette disposition constructive minimise le nombre d'éléments standard.

Conçu par le CNPS, le PIMM® est fabriqué par Baudin-Châteauneuf.

◆ En 1999, la **technique des âmes métalliques plissées** a reçu le label IVOR.

L'ouvrage de référence est le pont de la Corniche, franchissant le Doubs et le canal du Rhône au Rhin, à Dôle (Jura). La ligne générale du pont se rapproche des ouvrages classiques en béton précontraint, mais les parties latérales du caisson en béton (les âmes) sont remplacées par du métal plissé. Cette technique, développée par la société Campenon Bernard, permet de réduire l'épaisseur des âmes, de supprimer tous les raidisseurs, mais également les entretoises transversales courantes. **La labellisation IVOR a contribué à la rédaction d'un document de référence pour le dimensionnement des âmes plissées.**

◆ La **technique de l'Autoripage®**, développée par JMB Méthodes, permet de déplacer un ouvrage d'art complet depuis son aire de fabrication à côté des voies à franchir jusqu'à son emplacement définitif, limitant la coupure du trafic à la durée d'un week-end au lieu de plusieurs mois.

Les deux dernières innovations apportées à cette technique originale concernent :

- d'une part le passage des câbles de traction entre le radier du cadre qui avance et le radier de guidage fixe. Il est ainsi possible de riper des ouvrages nettement plus lourds et pouvant présenter un biais important,

- d'autre part le remplacement des perrés traditionnels par des bracons inclinés à 45° supportant des travées de rive. Ceci évite le remblaiement aux abords de l'ouvrage et permet de supprimer la dalle de transition dont la réalisation est sur le chemin critique pour le rétablissement de la circulation. L'ouvrage de référence correspond au passage de l'autoroute A77 sous les voies ferrées Paris/Clermont-Ferrand à Boismorand (Loiret). Son poids est de 5 600 t.

◆ Le dernier label concernant la construction de pont a été attribué en 2001 au **procédé Rapido-pont** (une gamme de ponts mixtes à hourdis préfabriqué en BHP), élaboré par la société GTM-Construction, dans le cadre de la charte **"innovation ouvrage d'art" passée entre la Direction**

des Routes et Cofiroute. L'ouvrage de référence est le passage supérieur n° 13, de l'autoroute A85, sur la section Villefranche-sur-Cher/Teillay (Loir-et-Cher).

Ce concept de pont mixte se distingue des procédés existants par :

- l'utilisation du procédé de connexion différée qui consiste à assembler un hourdis préfabriqué sur une charpente métallique, en venant souder, à travers des réservations du tablier, des goujons de type Nelson,

- l'assemblage des éléments préfabriqués par joints conjugués collés munis de clés de cisaillement, puis par précontrainte longitudinale intérieure au béton.

- l'utilisation du béton à hautes performances (BHP) aux fumées de silice, notamment pour limiter les pertes de précontrainte par fluage, gagner du poids et améliorer la compacité du béton.

◆ **La réparation d'ouvrage d'art par collage de tissu à base de fibres de carbone (TFC)**, labellisée en 1997, constitue une alternative très intéressante aux techniques de renforcement par tôles collées. Cette technique, mise au point par les sociétés Freyssinet et Soficar, présente de nombreux avantages dont la simplicité de pose liée à l'acceptation d'un support irrégulier, à une maintenance et un découpage aisés du TFC, à sa souplesse et à l'absence d'effort extérieur pour appliquer le tissu contre le support. L'économie sur les temps de main d'œuvre et sur la mobilisation du matériel permet d'obtenir un coût avantageux.

L'ouvrage de référence IVOR est un pont : le franchissement de l'autoroute A10 par la route départementale 142 entre Allainville et Allaines (Eure-et-Loir), mais cette technique, qui permet de prolonger la vie d'un ouvrage sans l'inconvénient d'une interruption du service rendu, est applicable à tous les types de construction, par exemple à un bâtiment.

◆ **Le démantèlement contrôlé de ponts à poutres isostatiques** a fait l'objet du second label IVOR, en mars 1995. Mis au point par l'entreprise S.N.P. et la société Saunan-Dallemagne Etudes, ce procédé peut être étendu aux ouvrages à nombre quelconque de travées. Il offre l'intérêt d'être applicable aux structures endommagées qui présentent des faiblesses susceptibles d'accroître les risques de ruine inopinée liés aux opérations de démolition.

Un label a été attribué dans le domaine des chaussées routières, en 1996

◆ Présentée par le Conseil général de Gironde, maître d'ouvrage, l'innovation que représente **l'utilisation de béton de sable pour la réalisation de la couche de base** de la route départementale entre La Teste et Le Pyla, a fait l'objet d'une expertise confiée au LCPC. Le suivi du comportement dans le temps de cet ouvrage est effectué par le Centre d'études techniques de l'équipement de Bordeaux. Associée à une couche de forme-fondation en sable



Le procédé Rapidopont
The Rapidopont process



Le revêtement des piédroits d'un tunnel par des coques en composite ciment-verre (CCV)

Surfacing of tunnel side walls with cement-glass composite shells

traité au ciment, cette utilisation d'un béton de sable en couche principale a permis à la Compagnie Moderne de la Route de réaliser cette chaussée, destinée à un trafic poids lourds faible, presque entièrement en matériaux locaux.

La route entre La Teste et Le Pyla constitue un ouvrage de référence pour le développement de la technique des chaussées en béton de sable. Dans certains pays où les sables sont les seuls granulats disponibles, son intérêt peut être considérable.

Si le béton et l'acier se retrouvent dans la majorité des innovations labellisées, l'utilisation du bois (pour la construction de bâtiment ou de pont) et celle des matériaux composites ont fait leur apparition. Ils concernent respectivement deux et quatre labels IVOR, déjà cités à l'exception du label n° 00.4.

◆ **Le revêtement des piédroits d'un tunnel par des coques en composite ciment-verre (CCV)**, revêtu d'un film de résine de méthacrylate, a été mis au point par la société Betsinor, dans le cadre de la **charte "innovation ouvrage d'art" mise en place par le ministère de l'Équipement et la FNTP.**

L'application d'une protection de "résine polymère" (méthacrylate) sur le CCV représente le caractère le plus innovant vis-à-vis du comportement à long terme des coques (tenue aux gaz d'échappement, aux sels de déverglaçage, aux U.V., réduction du coût de maintenance). La pose des coques en CCV n'a nécessité que des moyens de levage légers (chaque élément pèse environ 500 kg) et le système d'accrochage à l'ouvrage actuel permet l'inspection de la structure sous-jacente par simple rotation des coques autour de leur axe.

L'ouvrage de référence correspond à l'extrémité ouest du tunnel de Saint-Cloud (Hauts-de-Seine) situé sur l'autoroute A13 dans le sens Paris-Provence.

► ■ L'INSTRUCTION DES CANDIDATURES

Elles sont le plus souvent déposées à l'initiative de l'inventeur du procédé, ou du maître d'œuvre. Cependant, la dernière candidature, reçue en 2003, est présentée par le Conseil général du Maine-et-Loire, maître d'ouvrage, qui avait demandé à l'inventeur de se renseigner sur le label IVOR.

Le secrétaire du Comité reçoit les candidatures à n'importe quel stade de réalisation de l'ouvrage contenant l'innovation :

- si les travaux n'ont pas encore commencé (mais il faut que le maître d'ouvrage soit connu), l'expert nommé par le secrétaire peut intervenir, le cas échéant, dans l'instrumentation à mettre en place. Ceci lui permet de cerner encore plus complètement les paramètres liés à l'innovation,

- si les travaux sont en cours, les contrôles ou des mesures complémentaires sont encore possibles, mais souvent plus difficiles à obtenir !

- après la réception des travaux, l'expert utilise les documents disponibles et demande au candidat les informations nécessaires à son expertise.

Mais le dossier de candidature et le rapport de validation sont toujours présentés au comité **après réalisation complète et mise en service de l'ouvrage de référence.**

Toutes les candidatures n'aboutissent pas automatiquement à un label. Il arrive en effet que le comité refuse de délivrer son label ou reporte sa décision à une réunion ultérieure en demandant un complément d'instruction.

Pour en savoir plus, consultez la rubrique LABEL IVOR de la page Recherche et Innovation :

➔ www.equipement.gouv.fr/recherche

Les fiches IVOR et la fiche de candidature sont téléchargeables sur ce site.

■ LES PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DU LABEL IVOR

Les contacts établis par le secrétaire avec les responsables des CRIT (Centres de ressources et d'informations techniques) et la présentation par le PUCA (Plan urbanisme, construction et architecture) de ses actions menées en faveur de l'innovation (1) ont facilité l'ouverture du label aux innovations structurelles du bâtiment.

Le comité IVOR étudie aujourd'hui la possibilité que les candidats puissent présenter comme ouvrage de référence un ouvrage européen et pas seulement français...

(1) : En particulier, le "Palmarès de l'Innovation" qui s'adresse aux artisans et PME du bâtiment (et même aux filiales des groupes) et concerne les innovations qu'ils mettent en œuvre sur leurs chantiers.

ABSTRACT

Twenty-five innovations labelled by the IVOR Committee

H. Thuillier

25 construction materials and processes have received the label awarded by the IVOR Committee ("Innovations Validées sur Ouvrages de Référence"). This committee, chaired by Mr. Georges Mercadal, aims to facilitate the validation of technical innovations implemented successfully in reference structures, and encourage their dissemination.

The IVOR label constitutes a reference for relations between inventors and contracting authorities, in France but also in export markets. Thanks to the technical validation documents and the committee's assessment of the innovation, which goes along with the label, the future user has a basis for judgement independent of the structure's designer and the innovation's inventor. The secretariat of the committee (civil engineering mission of the DRAST in the French Ministry of Equipment) receives candidacies at any stage of construction of the structure containing the innovation.

RESUMEN ESPAÑOL

Veinticinco innovaciones labelizadas por el Comité IVOR

H. Thuillier

Veinticinco materiales y procedimientos de construcción han obtenido el label - o marca de calidad - atribuido por el Comité IVOR (Innovaciones convalidadas acerca de estructuras de referencia).

Este Comité, presidido por el Sr. Georges Mercadal, tiene por objeto facilitar la convalidación de las innovaciones técnicas implementadas con éxito en estructuras de referencia, y consecuentemente, alentar su difusión.

El label IVOR constituye una referencia para las relaciones entre inventores y entidades propietarias, en Francia, pero también para la exportación. Efectivamente, debido al expediente técnico de convalidación y a la apreciación del Comité para la innovación, que acompaña al label, el futuro utilizador dispone de sendos elementos de apreciación independientes del diseñador de

la estructura y del inventor de la innovación.

El secretariado del Comité (la misión ingeniería civil de la DRAST del Ministerio de fomento) recibe las candidaturas cualesquiera que fueren su etapa de ejecución de la estructura objeto de la innovación.

La recherche au LCPC

La réflexion stratégique qui a été menée par le LCPC à l'issue de sa transformation en établissement public à caractère scientifique et technologique et qui a abouti à la signature d'un contrat avec l'Etat à la fin 2000 l'a amené à mettre à jour et expliciter ses priorités en matière de recherche. Les grandes orientations stratégiques déterminent les principales caractéristiques des activités du LCPC au moins jusqu'en 2004 (LCPC, 2000).

Ces grandes orientations stratégiques touchent aussi bien aux axes de recherche auxquels le LCPC entend contribuer, qu'à la façon de mener les recherches. Elles ont été présentées dans *Travaux* (n° 772, février 2001) et nous n'entendons donc pas revenir en détail sur ces orientations, mais davantage, après un bref rappel, illustrer leur mise en œuvre au travers d'exemples.

■ RAPPEL SUR LES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES DU LCPC

Des orientations prioritaires de la recherche

Le programme de recherche du LCPC touche à six axes de recherche (tableau I) du domaine du génie civil, des infrastructures et de leur environnement et des risques naturels. Parmi ces six axes de recherche, les cinq premiers constituent les orientations prioritaires énoncées en 1999 par le schéma directeur de l'organisme au terme d'une démarche impliquant largement la profession, les institutions et le laboratoire. Ces orientations prioritaires traduisent la volonté du LCPC de davantage contribuer, dans son domaine de compétence, à la résolution des problèmes pour lesquels la demande de la société est en croissance, comme c'est à l'évidence le cas en matière de sécurité routière, mais aussi en matière d'interaction des questions d'aménagement avec l'environnement ou de génie civil urbain.

Orientations prioritaires	Valoriser le patrimoine d'infrastructures et d'ouvrages existants
	Maîtriser le rôle de l'infrastructure dans la sécurité de la route
	Maîtriser les impacts des infrastructures sur l'environnement tout au long de leur cycle de vie ; sécuriser les ouvrages et les sites par une meilleure connaissance et maîtrise des risques
	Optimiser les ouvrages de génie civil en zones urbaines en prenant en compte leur caractère multi-usage
	Favoriser l'introduction de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies dans le génie civil et l'exploitation des infrastructures routières
Programmes sectoriels	Conception et construction des routes, des ouvrages d'art et des ouvrages géotechniques

Tableau I
Les axes de recherche du LCPC
Main areas of research at the LCPC

Tableau II
Les réseaux du LCPC
The LCPC networks

Réseau scientifique et technique de l'Équipement (dont le réseau des Laboratoire régionaux des Ponts et Chaussées)
Etablissements publics de recherche : INRETS, ENPC, CNRS ; mais aussi CSTB, ENS Cachan, ENTPE, CEMAGREF ou BRGM
Laboratoires universitaires, notamment ceux existant à proximité des localisations du LCPC de Paris, Nantes, Marne-la-Vallée mais aussi Grenoble
Monde professionnel : Entreprises productrices de matériaux du génie civil, entreprises de travaux, exploitants d'infrastructures, et de services de transport, bureaux d'étude ou d'ingénierie

Une ouverture croissante aux partenariats

Le programme de recherche mis en œuvre au LCPC est constitué d'environ 50 opérations de recherche touchant à ces six axes de recherche. La recherche menée dans ces opérations est menée en partenariats au sein des différents réseaux auxquels le LCPC prend part (tableau II). Parmi ces réseaux, celui des CETE est au premier rang des partenaires du LCPC, les programmes de recherche du LCPC et des CETE, dans le champ de compétence du LCPC, étant totalement intégrés. Au-delà de ce premier cercle, le LCPC poursuit le développement de partenariats engagé avec les autres établissements publics de recherche, mais aussi avec les universités, par le biais notamment d'unités mixtes, mais aussi d'autres formes de partenariats comme l'institut Navier fédérant les unités mixtes du LCPC et de l'ENPC, un laboratoire de l'université de Marne-la-Vallée ainsi que la division de géotechnique du site parisien du LCPC.

Enfin, le LCPC se trouve associé au monde professionnel, soit dans le cadre général des programmes et réseaux de recherche nationaux, tels que le Réseau génie civil et urbain (RGC&U), ou européens, PCRD en particulier, cadre dans lequel le LCPC affirme une présence croissante, soit lorsqu'il est fait appel à lui pour mener des recherches particulières, dans le cadre de contrats.

Une recherche finalisée

Le LCPC dispose pour la conduite de ses recherches d'une combinaison de moyens unique constituée de moyens d'expérimentation à différentes échelles, d'outils de modélisation avancés et d'un accès au terrain pour la validation des produits de la recherche, au travers des laboratoires régionaux et plus largement du réseau de l'équipement en particulier, mais aussi des partenariats avec les entreprises. Cette combinaison de moyens permet de mener des recherches finalisées, bénéficiant de différents niveaux de validation, en particulier auprès des utilisateurs finaux.

Ainsi, si les actions de recherche du LCPC font l'objet d'une valorisation scientifique soutenue, sous la forme de publications dans les revues scientifiques et dans les actes des colloques, elles se veulent également aussi finalisées que possible en conduisant à des produits utilisables par les acteurs économiques. Ces produits finaux prennent essentiellement trois formes, celle de l'écrit, re-

par des exemples

Jacques Roudier
DIRECTEUR GÉNÉRAL
LCPC



Luc Delattre
SOUS-DIRECTEUR
DES PROGRAMMES
ET DE LA COORDINATION
GÉNÉRALE
DES LABORATOIRES
RÉGIONAUX
LCPC



commandations et guides techniques, méthodes ou encore contribution à des normes, celle des logiciels, tels que le logiciel de calcul aux éléments finis pour le génie civil CESAR-LCPC, et celle des matériels de mesures et d'essais, et en particulier les matériels mlpc.

■ EXEMPLES DE RECHERCHES

Comportement des fondations profondes

Serge Borel



CHEF DE LA SECTION COMPORTEMENT
DES SOLS ET DES OUVRAGES
GÉOTECHNIQUES
LCPC

Le LCPC dispose d'une équipe qui travaille principalement dans le domaine des fondations profondes pour les ouvrages d'art et des bâtiments ainsi que des édifices à caractère historique. Peuvent être concernés :

- ◆ les ouvrages neufs, en relation avec les problèmes que pose le choix d'une technique de fondation compte tenu des impératifs économiques, des contraintes de l'environnement et de l'optimisation du dimensionnement ;

- ◆ les ouvrages anciens, avec dans ce cas le diagnostic des fondations existantes, le pronostic sur leur évolution et, le cas échéant, la proposition de solutions de confortement et de réhabilitation.

L'accès aux chantiers, souvent dans le cadre d'expertises ou de mission d'assistance et de conseil, permet de réaliser en partenariat avec les maîtrises d'œuvre et les entreprises l'essentiel des travaux de recherches de l'équipe. L'équipe intervient aussi sur des sites expérimentaux dans le cadre de projets de recherche initiés par le LCPC. Les recherches peuvent s'effectuer également en recourant à des conventions de recherche ou encore dans le cadre de projets nationaux.

L'équipe dispose de moyens d'intervention, et notamment des extensomètres amovibles développés par les LPC depuis 30 ans. Rappelons que cette technique de mesure, unique en Europe et qui continue à faire l'objet de nombreuses demandes, permet lors des essais de chargement en vraie grandeur d'évaluer la distribution des efforts transmis au sol par la fondation et d'établir leurs lois de mobilisation.

L'ensemble des résultats obtenus contribuent à l'évolution des règles de dimensionnement. Plus précisément, ces résultats permettent d'élaborer les méthodes de calcul pour les nouvelles technologies de fondations et pour les contextes géotechniques particuliers encore absents des règlements.

Une vingtaine d'essais de chargement de pieux instrumentés sont réalisés chaque année. Au total, plus de 500 essais ont été réalisés depuis 30 ans. Cette base de données permet aujourd'hui de proposer une évolution des règles de calcul des fondations (fascicule 62 Titre V du CCTG applicable aux marchés publics et Documents Techniques Unifiés 13.2 applicable aux fondations de bâtiments) sous la forme d'un document unique d'application de l'Eurocode 7 qui couvre de nombreuses techniques absentes des règles jusqu'à présent. On peut citer le cas des pieux vissés dont l'emploi s'est considérablement développé en France ces dernières années.



Photo 1
Essai comparatif
de la capacité portante
de palplanches vibrofoncées
et battues dans les marnes
et caillasses de la région
parisienne

*Comparative testing
of the bearing capacity
of sheet piling vibratory
driven and hammer-driven
in the marly soils of the Paris
region*

Parmi les priorités des recherches menées actuellement, le domaine des ouvrages en milieu urbain est privilégié : impacts des nouveaux projets sur le bâti existant, comportement dans le temps, interaction sol-structure, *monitoring*. Outre les pieux vissés, on s'intéresse particulièrement au vibrofonçage des pieux et palplanches dans le cadre notamment du projet national Vibrofonçage. Afin de fournir des données de référence dans ce domaine, le LCPC a ainsi réalisé plusieurs études comparatives du vibrofonçage et du battage, notamment dans les marnes et caillasses de la région parisienne (photo 1), dans les graves du Rhin et dans l'argile de Flandres.

► Actions du LCPC et du réseau des LPC dans le domaine des bétons à hautes et très hautes performances : comportement mécanique et application aux structures

François Toutlemonde



CHEF DE LA SECTION FONCTIONNEMENT ET INGÉNIERIE DES OUVRAGES D'ART
LCPC

Le groupe de travail BHP du projet national BHP 2000 a constitué le cadre d'une partie des actions de recherche récemment menées par le LCPC et les LRPC dans le domaine des BHP. Les objectifs de ce groupe de travail étaient, d'une part, de valoriser, par des études de variantes, l'utilisation des bétons à hautes et très hautes performances dans des formes structurelles pertinentes (photo 2) et, d'autre part, de vérifier, par des études et expérimentations spécifiques, certains points de la prise en compte réglementaire des propriétés des bétons à hautes et très hautes performances, compte tenu de leur validation encore rare lors du démarrage du Projet national.

La contribution du LCPC aux travaux de ce groupe de travail a consisté, outre l'animation du groupe, la synthèse finale du travail et sa valorisation au travers de la normalisation (Eurocode 2), principalement dans des études et expérimentations spécifiques du comportement du matériau et des structures, l'étude de variantes d'ouvrages étant davantage le fait d'ingénieurs d'études membres du groupe (Dumez-GTM, Setra).

Les études et expérimentations menées ont concerné la formulation des matériaux d'étude, leur caractérisation initiale, le contrôle des résistances, l'étude du retrait et du fluage, ainsi que l'étude du comportement d'éléments de structures en compression localisée et vis-à-vis de l'effort tranchant. Ces travaux, qui ont fait appel aux moyens expérimentaux du LCPC et des LRPC, ont été menés en partenariat avec d'autres membres du groupe de travail et en particulier l'INSA de Toulouse, le CSTB, le CEBTP, le CERIB et l'IUT de Béthune.

Les principales conclusions qui en ont été tirées visent à améliorer et à mieux étayer les prescriptions réglementaires, mais également à maîtriser leur incertitude et à mettre en évidence le caractère conservatoire ou insuffisamment prudent de certaines dispositions.

Ainsi, concernant la résistance en traction des BHP et BTHP, les essais et analyses effectuées renforcent la recommandation consistant à vérifier la résistance en traction du béton au cours de la phase d'étude. On a à nouveau mis en évidence la nécessité de soigner la cure, surtout quand cette résistance en traction est critique au jeune âge. Enfin, par rapport aux taux de travail et à l'expression de résistance prévus dans le BAEL 99, il semble préférable de ne mobiliser le BHP en traction à long terme qu'avec un taux de travail réduit (de l'ordre de soixante pour cent de sa résistance à la traction), ou de se baser sur la résistance en traction (moins favorable) prévue par l'Eurocode 2.

Concernant la résistance au cisaillement des poutrelles et le dimensionnement des consoles courtes, les différentes prévisions réglementaires françaises apparaissent sûres et calibrées. Les dispositions de l'Eurocode 2 concernant la résistance à l'effort tranchant de poutres hautes peu armées, d'une part, et les reprises de bétonnage, d'autre part, sont sûres sous réserve, pour cette dernière considération, de traiter effectivement les surfaces de reprise, faute de quoi il faut considérer la surface comme "très lisse". Le dimensionnement des zones soumises à une charge concentrée de compression doit pour sa part baser la limitation d'effort sur la résistance en traction du béton ou sur une puissance 2/3 de la résistance en compression. Enfin, la validité du modèle de fluage du BPEL 99 pour les BTHP a pu être vérifiée pour des bétons dont la résistance caractéristique en compression à 28 jours atteint 130 MPa, lorsqu'on considère notamment les déformations à long terme, pour un béton chargé à une maturité telle que sa résistance en compression soit supérieure à 60 % de sa résistance à 28 jours. En revanche, pour des bétons chargés de façon précoce, le fluage est fortement sous-estimé, et une quantification particulière des déformations différées s'impose compte tenu de l'importance de celles qui peuvent s'accumuler peu de temps après la mise en charge à un stade où le matériau est encore très évolutif.

Photo 2
Guide à paraître
sur les piles
de grande hauteur
en BHP

*Guide to be published
concerning very high piers
of high-performance
concrete*



Modernisation de la méthode de dimensionnement des structures de chaussées aéronautiques bitumineuses

Philippe Tamagny



CHEF DE SECTION CONCEPTION
DE CHAUSSÉES ET GÉOTECHNIQUE
ROUTIÈRE
LCPC

Jean-Maurice Balay



CHEF DE LA SECTION MANÈGE
DE FATIGUE ET STRUCTURES
ROUTIÈRES
LCPC

Le LCPC est engagé depuis plusieurs années dans une collaboration avec le Service technique des bases aériennes (STBA) portant sur la modernisation de la méthode de dimensionnement des structures de chaussées aéronautiques bitumineuses. La méthode actuelle repose principalement sur des approches expérimentales menées aux Etats-Unis dans les années 50.

Depuis cette période, l'évolution des matériaux utilisés pour la construction des pistes, le développement considérable du trafic aérien, l'arrivée imminente de très gros porteurs comme l'Airbus A380, se traduisant en particulier par des charges à la roue nettement supérieures, reposent la question de la validité de cette démarche empirique, dont les possibilités d'extrapolation à ces contextes nouveaux sont très limitées.

Notre objectif est de transposer aux infrastructures aéronautiques la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussées routières développée par le réseau scientifique et technique de l'équipement, et qui est aujourd'hui largement éprouvée.

L'application directe des règles de dimensionnement des chaussées routières aux pistes d'aéroports n'est pas possible : les charges des avions sont plus élevées, les vitesses de circulations sont très différentes, le nombre de chargements à prendre en compte pendant la durée de vie des structures est environ une centaine de fois plus faible, les données de trafic sont généralement mieux connues. La méthode de dimensionnement développée exploite ces spécificités et repose d'une part sur des descriptions statistiques complètes du trafic et des conditions climatologiques du site, et d'autre part sur des comportements visco-élastiques des couches bitumineuses.

Cette modernisation de la méthode de dimensionnement fait l'objet d'un logiciel dont une première version sera disponible début 2004. Cette première version, s'appuyant sur une modélisation élastique-

liméaire des matériaux de chaussée et du sol support, fait appel au moteur de calcul Alizé.

La version visco-élastique qui prendra la suite s'appuiera sur un nouveau noyau de calcul développé en collaboration avec le Laboratoire d'analyse des matériaux et d'identification (LAMI) de l'ENPC.

Parallèlement à la refonte du référentiel de dimensionnement, la collaboration LCPC-STBA a été élargie à la société Airbus et à Aéroports de Paris, principaux partenaires du projet PEP (Pavement Experimental Program).

Deux pistes d'essais fortement instrumentées – une piste "souple" type chaussée bitumineuse épaisse et une piste "rigide" en dalles béton – ont été réalisées sur l'aéroport de Toulouse-Blagnac. Un simulateur de trafic lourd aéronautique développé par Airbus (photo 3), permet d'appliquer à ces structures de chaussée des chargements répétés simulant le passage de trains d'atterrissage de divers gros porteurs.

L'analyse des résultats des essais sur la piste "souple" effectués en 2001-2002 donne des points de comparaison pour une première validation de la démarche de dimensionnement.

Les essais "rigides" s'achèveront à la fin de l'année 2003.

L'ensemble de ces travaux de recherche et de développement de méthodes de dimensionnement se fait dans le cadre de collaborations, nationales via le programme de recherche sectoriel "chaussées" du RST et internationales par des échanges avec la société Boeing et des universités américaines sous l'égide de l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale).

Photo 3
Programme expérimental Airbus
sur chaussées flexibles - Simulateur de trafic lourd
aéronautique, ici en configuration
4 x 6 x 6 x 4 de l'Airbus A380

Airbus experimental programme on flexible pavements - Heavy aircraft traffic simulator, here in the 4 x 6 x 6 x 4 configuration of the Airbus A380



► La réduction du bruit routier

Fabienne Anfosso-Lédée



SECTION SURFACE DES CHAUSSÉES
ET DYNAMIQUE DES VÉHICULES
LCPC

Le bruit de trafic routier constitue une des principales nuisances ressentie par la population. Face à l'urbanisation croissante et au développement des infrastructures routières urbaines, chercheurs et ingénieurs routiers ont uni leurs efforts, depuis près de 20 ans, pour comprendre et réduire ce bruit. L'implantation d'écrans antibruit ou de buttes de terre reste très largement utilisée et performante dans bien des cas. Les nombreuses recherches et innovations industrielles menées depuis une vingtaine d'années ont conduit à des méthodes de prévision et d'évaluation fiables et opérationnelles de ces dispositifs antibruit, et s'il reste encore des améliorations à leur apporter, les recherches actuelles se tournent cependant davantage vers la réduction du bruit à la source, dont les enjeux semblent prometteurs.

Photo 4
Véhicule équipé
du dispositif de mesure
du bruit de roulement
*Vehicle equipped with the
road noise measuring
device*



Ainsi, au cours des dix dernières années, les constructeurs automobiles ont développé des moteurs et des systèmes mécaniques moins bruyants. En conséquence, le bruit émis par le contact entre le pneumatique et la chaussée est devenu la principale source de bruit d'un véhicule à partir de 50 km/h (environ 80 km/h pour les poids lourds). Les laboratoires de recherches ont mis au point des méthodes d'analyse des propriétés acoustiques des revêtements de chaussée, les entreprises ont développé des produits nouveaux. Mais pour aller plus loin dans la performance de ces solutions, il est nécessaire de mieux comprendre et modéliser les mécanismes en jeu dans l'émission sonore. Une difficulté importante du bruit de roulement,

provient du fait que le phénomène ne peut pas se reproduire en laboratoire. Les modèles ont beaucoup progressé depuis peu à travers le monde, mais doivent encore être améliorés pour être exploités de façon opérationnelle. Ainsi les recherches menées actuellement au LCPC sur l'effet de la température et de la rigidité de la chaussée sur le bruit de roulement, nécessitent la mise au point de modèles complexes de génération de bruit de contact pneumatique-chaussée. De même à l'occasion d'un projet Predit regroupant l'INRETS, le LCPC, l'ENPC, les entreprises Appia, Colas et MicrodB, des corrélations entre spectres de texture et spectres de bruit d'un certain nombre de revêtements ont pu être mises en évidence. Des mesures complémentaires doivent encore être effectuées avant que des relations plus opérationnelles entre texture et bruit soient proposées.

Par ailleurs, l'évaluation des bénéfices apportés par un revêtement de chaussée plus silencieux exige de disposer d'une méthode de mesure fiable et pertinente. Jusqu'à présent, était utilisée la méthode "au passage", fiable mais limitée à des sites de mesure dégagés, ce qui la rend quasi inapplicable en milieu urbain. Une équipe de cinq Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées (Autun, Clermont-Ferrand, Est-Parisien, Lille, Strasbourg), pilotés par le LCPC travaille depuis quelques années à mettre au point une méthode de mesure dite "en continu", où des microphones fixés à proximité d'une roue de véhicule, mesurent en continu le bruit au cours du roulement du véhicule (photo 4). Le développement de cette méthode répond à une demande importante aussi bien des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre publics, des Administrations centrales, que des entreprises routières. Une première expérimentation croisée avait été réalisée en 2001, regroupant les appareillages de mesure en continu mis au point en France par la Ville de Paris, la société Colas, la société Sirano ou le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est Parisien. Elle s'est conclue par l'expression d'un besoin de recherches complémentaires pour aboutir à une méthode de référence, fiable et consensuelle.

L'équipe de développement doit concilier plusieurs objectifs :

- ◆ permettre une classification des revêtements, constituant un outil d'aide à la maîtrise du bruit par les pouvoirs publics (ex : réduction des points noirs bruit) ;
- ◆ contrôler des spécifications ou les performances de tous les revêtements routiers, y compris en milieu urbain ;
- ◆ diagnostiquer l'état acoustique d'une section, son homogénéité, et déterminer les seuils d'intervention pour changer le revêtement ;
- ◆ évaluer le potentiel de réduction sonore pour la mise au point de produits optimisés ;
- ◆ évaluer leur évolution dans le temps, la nouvel-

le réglementation française en matière de bruit imposant par ailleurs de prévoir les niveaux sonores et dimensionner les protections pour toute la durée de vie de l'infrastructure.

Des précautions doivent être prises si l'on veut caractériser les performances du revêtement avec une telle méthode : s'affranchir des caractéristiques propres du véhicule (type de moteur, effet de caisse...), du type de pneumatiques (taille, dessins, marque...) et des bruits parasites (moteur et autres pneumatiques, autres véhicules proches...). Il faut surtout supprimer les bruits d'écoulement d'air inhérents à la méthode, et les laboratoires ont mené des investigations précises sur la nature et l'intensité de ces écoulements d'air et le bruit parasite qu'ils génèrent. Après la mise au point d'un système d'acquisition acoustique complexe par la Société O1dB-Stell, permettant de mesurer le niveau de bruit et son spectre à chaque tour de roue, et la mise au point d'un système de fixation optimisé des microphones, un programme important de tests sur piste est en cours de réalisation pour mieux maîtriser la méthodologie. Les résultats de ces essais contribueront à la rédaction d'une norme expérimentale à laquelle travaille déjà un groupe nommé par l'Afnor.

■ BIBLIOGRAPHIE

- ◆ [LCPC, 2000] Contrat quadriennal 2001-2004 - Paris : LCPC, 78 p.
- ◆ [Roudier, J., 2001] Les réseaux du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, *Travaux*, n° 772, pages 26-29.

ABSTRACT

Examples of research at French road and bridge research institute LCPC

Various authors

The article first summarises LCPC's research strategy : priority research guidelines have been defined, in line with the expectations of society; research should be carried out insofar as possible within the framework of partnerships with the various scientific, technical and economic players ; this research should be finalised and result in products which can be used by the industry. Following this, examples of research are given. These examples relate to the behaviour of deep foundations of buildings and civil engineering structures, the mechanical behaviour of high-performance concretes and their application to structures, structural design methods for bituminous airport pavements, and the attenuation of road noise.

RESUMEN ESPAÑOL

Investigación en el LCPC por medio de ejemplos

Autores diversos

El artículo menciona, en una etapa preliminar, la estrategia del LCPC (Laboratorio central de puentes y caminos de Francia), en el aspecto de la investigación : se han definido ya diversas orientaciones prioritarias de investigación, relacionadas con las expectativas de la sociedad. Las investigaciones se deben emprender siempre que así sea posible dentro del marco de asociaciones entre los diversos protagonistas científicos, técnicos y económicos. Tales investigaciones se deben finalizar y dar lugar a productos utilizados por parte de la profesión. Figuran también en una segunda etapa algunos ejemplos de investigación. Tales ejemplos guardan relación con el comportamiento de las cimentaciones profundas de edificios y grandes estructuras, así como con el comportamiento mecánico de los hormigones de elevadas prestaciones y su aplicación a las estructuras, a los métodos de cálculo dimensional de los pavimentos asfálticos aeronáuticos y a la reducción del ruido viario.

De "Pont" à "Bridge"

Vers un standard international de projets de ponts

L'industrie du bâtiment dispose actuellement avec les IFC (Industry Foundation Classes) d'une standardisation internationale de la définition informatique d'un bâtiment. Ce standard est appelé dans le jargon des informaticiens un modèle de données. Les IFC sont mises en œuvre dans le cadre d'une association internationale de structuration des données de construction : l'IAI (International Alliance for the Interoperability). Elles sont en cours de transformation en normes ISO.

Le domaine du génie civil en général et des ouvrages d'art en particulier ne dispose pas d'un tel outil. C'est pourquoi, le Setra a pris l'initiative de proposer la mise en œuvre d'un modèle de données d'ouvrage d'art dans le cadre de l'IAI qui viendrait compléter celui relatif aux bâtiments. A cet effet, le Setra met à la disposition de l'IAI un modèle de données d'ouvrages d'art utilisant le langage EXPRESS. Ce modèle, appelé OA_EXPRESS, a été élaboré ces dernières années avec le concours d'acteurs majeurs de la construction en France.

L'article présente en premier lieu la problématique générale des EDT (Echanges de données techniques) et leur mise en œuvre dans le domaine du bâtiment. Vient ensuite le modèle OA_EXPRESS, son utilisation par le Setra et les premiers pas du projet Bridge.

■ LES ÉCHANGES DE DONNÉES TECHNIQUES (EDT)

Des standards d'échanges de données se sont développés aussi bien dans le domaine de la gestion financière selon la norme ISO appelée Edifact, que dans le domaine des données techniques selon la norme ISO appelée STEP. La norme STEP (Standard for Exchange of Product) permet de définir des données géométriques, graphiques, scientifiques et technologiques associées à un produit, objet ou ouvrage.

STEP offre un langage de formalisation des modèles de données : le langage EXPRESS et deux niveaux de modélisation. Le niveau le plus bas, c'est-à-dire le moins spécifique, est constitué par les ressources intégrées : données géométriques, mathématiques, graphiques, etc. Le deuxième niveau est le niveau métier qui est désigné sous le terme de protocole d'application. Le protocole d'application et les ressources intégrées utilisent le langage EXPRESS pour définir les données correspondantes.

Les différents protocoles d'application, encore appelés modèles de données, déjà réalisés ou en cours de réalisation concernent l'industrie automobile, l'aéronautique, la tuyauterie, etc. C'est ainsi que parmi les objets décrits dans le protocole relatif à l'industrie aéronautique on trouvera l'aile d'avion, le fuselage, etc. décrites par des entités géométriques prises dans les ressources intégrées de STEP.

La définition d'un protocole permet aux éditeurs de logiciels concernés de développer des interfaces capables d'écrire et/ou de lire des données du domaine concerné au format neutre STEP. Ce format neutre détermine la représentation physique des instances des entités du projet ou du produit modélisé.

Les données sont au bout du compte stockées dans un fichier, dit neutre, car il est indépendant de l'application dont il est issu.

A côté des protocoles d'application officiels, des modèles de données métier sont développés dans des cadres non normatifs.

Par exemple, dans le domaine du bâtiment, des modèles de données ont été élaborés par le secteur professionnel en collaboration avec le CSTB.

Ces modèles de données ont vocation à constituer des contributions à l'élaboration de protocoles d'application de la norme STEP pour les secteurs concernés.

■ LES EDT ET LE GÉNIE CIVIL

Aussi bien du point de vue organisationnel que du point de vue des données concernées l'approche EDT du génie civil est partagée en deux grandes branches :

- ◆ le domaine de la construction ;
- ◆ le domaine des infrastructures.

Le domaine de la construction

Les échanges de données dans le domaine de la construction sont organisés en France dans le cadre de l'association Médiacconstruct. Cette association a plusieurs missions :

- ◆ promouvoir l'échange électronique, sous tous ses aspects, dans le secteur de la construction (informations, manifestations, séminaires) ;
- ◆ préparer les normes et standards de l'échange électronique, soit à l'initiative de ses membres, soit à la demande d'organismes ayant un rôle officiel ;
- ◆ référencer les produits d'échange électronique et services à valeur ajoutée pour le secteur du BTP. Médiacconstruct abrite en particulier le chapitre français de l'IAI. Douze sociétés impliquées dans l'industrie de la construction sont à l'origine de l'IAI. Elles ont pour objectif "d'inter-opérer" : cela signifie que chacune veut pouvoir travailler avec l'information des autres sans se préoccuper du logiciel qu'elle utilise ou que les autres utilisent. L'IAI compte aujourd'hui neuf chapitres dans le monde, chacun couvrant les besoins d'une région géographique, et ses membres représentent aujourd'hui plus de 600 entreprises de 20 pays.

L'IAI a pour objectif de favoriser l'interopérabilité des logiciels dans le secteur de la construction en créant une base universelle pour l'amélioration du processus et le partage d'informations dans le secteur de la construction et de la gestion de patrimoine. En son sein, des professionnels du secteur de la construction travaillent en collaboration avec les éditeurs de logiciels pour spécifier le standard. Les spécifications sont ouvertes à tous les éditeurs de logiciels pour l'implémentation et l'utilisation. Les représentants des sociétés participant aux travaux de l'IAI peuvent se classer en deux catégories :

- ◆ les experts de domaines tels que les architectes, les bureaux d'études, les entreprises et les gestionnaires de bâtiments. Ils représentent les utilisateurs finaux qui profiteront au premier chef des bénéfices de l'IAI et des applications basées sur

par OA_EXPRESS d'échange de données

les spécifications des IFC qui sont en quelque sorte les "briques de base" d'un langage commun ;

◆ les experts techniques ayant un vécu de recherche, de conception de logiciels, et ayant une certaine expérience du secteur de la construction.

Ces deux groupes d'experts mettent en commun leurs compétences respectives pour concourir à l'objectif commun de définition du modèle partagé du projet.

Le domaine des infrastructures

Deux initiatives majeures concernent les modèles de données d'infrastructures : LandXML et aecXML. Le premier concerne les données de conception des infrastructures, le deuxième des données de gestion des projets et de logistique. Ces deux modèles s'appuient sur le langage XML qui permet, en marquant les données, de définir une série d'entités et d'attributs associés. Ces deux modèles sont conçus de manière complémentaire. Mais au plan organisationnel, alors que pour le LIAC (LandXML Industry Advisory Committee) un rapprochement avec l'IAI semble amorcé, le "club" aecXML est d'ores et déjà intégré par le chapitre nord-américain de l'IAI.

Dans le domaine des infrastructures, la crédibilité du projet LandXML repose sur le fait que ce sont les principaux éditeurs de logiciels liés aux infrastructures routières qui l'ont lancé.

■ LES EDT DANS LE DOMAINE DES OUVRAGES D'ART : LE MODÈLE OA_EXPRESS

Parallèlement aux initiatives concernant les EDT dans des domaines divers du génie civil, le Setra a lancé un projet d'informatisation des échanges des données techniques les plus usuelles relatives aux ouvrages d'art. Ce sont l'ensemble des échanges se déroulant durant les phases d'études, de contrôle et de construction entre les entreprises, les bureaux d'études et les maîtres d'œuvre qui sont concernés. Ce projet fait suite au rapport publié par l'AFPC (Association française pour la construction) en 1994 sous le titre "Les échanges de données informatisés dans le domaine des structures du génie civil".

Ce projet a été mené en collaboration avec un certain nombre de partenaires du Setra : SNCF, Dumetz/GTM, Campenon Bernard, Spie-Batignolles, Baudin-Chateauneuf et Bouygues.

Enjeux

Le projet OA_EXPRESS a été initialement lancé dans le but de supprimer les tâches fastidieuses de saisie et donc réduire les délais de conception et de contrôle des ouvrages d'arts. Il répond également à la politique de dématérialisation de la commande publique lancée par l'état et qui devrait se traduire à terme par la dématérialisation du DCE et, en particulier, des pièces techniques de ce dossier : plans, etc.

Sur le plan technique, ce projet bénéficie de l'universalisation des modes de communications modernes tels qu'Internet qui rendent réalisables les échanges de données entre les différents acteurs de la profession. Par ailleurs, des outils de structuration des données tels que XML se sont largement répandus, banalisant en quelque sorte l'approche structuration de données.

Domaine couvert

Les données OA_EXPRESS sont classées dans quatre familles :

1 - Données géométriques :

◆ géométrie du coffrage courant des éléments prismatiques en béton : poutre, tablier, arc, pile, pylône ;

◆ géométrie de la précontrainte ;

◆ géométrie des éléments prismatiques des structures métalliques.

2 - Données mécaniques :

◆ données de modélisation en éléments de barres : matériaux, caractéristiques physiques des éléments, etc. ;

◆ données de modélisation des liaisons ;

◆ résultats d'une simulation : efforts, contraintes, réactions et déplacements.

3 - Données d'implantation topographique :

◆ implantation des différents éléments ;

◆ ligne rouge.

4 - Données de gestion des échanges :

◆ indices ;

◆ étapes de projet ;

◆ statut d'émission ;

◆ avis de validation.

Historique d'élaboration du modèle de données

Première phase : expression du modèle

L'objectif était d'établir un modèle de données commun aux différents partenaires. Pour cela un grou-

Philippe Brehmer

INGÉNIEUR D'ÉTUDES
Setra



Jean Gual

CHEF DE PROJET
Setra



Claude Simon

CHEF DE PROJET
Setra



Guillaume Veylon

INGÉNIEUR D'ÉTUDES
Setra



Figure 1
Extrait
d'une formalisation
NIAM
Excerpt
from a NIAM
formalisation

- Un câble de précontrainte concerne un ou plusieurs éléments prismatiques.
- Le tracé du câble est donné soit à l'aide de points de passages, soit à l'aide de pôles.
- Dans le cas d'une définition par points de passages, les points de passages sont définis dans le repère local des éléments prismatiques concernés.
- Un élément de liaison décrit la connectique entre deux ou plus de deux éléments prismatiques ou entre un ou plusieurs éléments prismatiques et le milieu extérieur.
- La connectique est topologiquement décrite à l'aide de points de connexion. Un point de connexion est rattaché à un élément prismatique ou à l'élément de liaison lui-même.
- Chaque élément de liaison possède un type et chaque liaison possède un type de liaison.

Figure 2
Extrait
d'une formalisation
Express
Excerpt
from an Express
formalisation

```
ENTITY elem_prismatique;
a_id_elem_prism      : STRING;
possede_type_elem_prismat : OPTIONAL type_elem_prismat;
possede_statut_d_emission : statut_d_emission;
possede_validite      : valide;
contient_materiau     : OPTIONAL SET [1:?] OF materiau;
possede_ligne_de_reference : ligne_de_reference;
decrit_element_d_ouvrage : element_d_ouvrage;
a_date_cons_prevue    : OPTIONAL date;
a_date_cons_effectiv  : OPTIONAL date;
a_id_materiau         : materiau;
(*)
Un élément prismatique peut être déduit d'un élément de référence et dans ce cas il est positionné par rapport à cet élément à l'aide d'un déplacement géométrique.
*)
sert_de_reference_elem_prismatique : OPTIONAL SET [1:?] OF elem_prismatique;
se_deduit_elem_prismatique         : OPTIONAL elem_prismatique;
se_deduit_par_deplacement           : OPTIONAL deplacement;
(*)
Dans un groupe donné, un élément prismatique possède un numéro d'ordre.
*)
possede_numero_d_ordre : OPTIONAL LIST [1:?] OF INTEGER;
appartient_groupe      : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE groupe;
participe_topo_de_connexion : OPTIONAL SET [1:?] OF topo_de_connexion;
est_calcule_element_fini   : OPTIONAL SET [1:?] OF element_fini;
contient_point_de_connexion : OPTIONAL SET [1:?] OF point_de_connexion;
UNIQUE
a_id_elem_prism;
possede_ligne_de_reference;
END ENTITY;
```

Figure 3
Extrait d'un fichier neutre.
Il y est décrit une série
d'instances de l'entité
CARACTMATERIAU
("caractéristiques
du matériau") pour les
matériaux MAT1 et MAT2.
On y trouve les attributs
nécessaires
au renseignement
des masses volumiques,
des coefficients
de dilatation thermique,
des coefficients
de poisson, etc.
Excerpt from a neutral file.
A series
of occurrences
of the Caractmateriau
("material characteristics")
entity is described there for
materials Mat1 and Mat2.
The attributes needed to
enter densities, coefficients
of thermal expansion,
Poisson's ratios, etc. can
be found there

```
HEADER;
FILE-DESCRIPTION ('TOTO'), 'OA-EXPRESS 1.0';
FILE-NAME ('. PROJET SETRA G01 NOMS SECTIONS
POUTRE',
14.09.98/14.48.05 PROJET',
('EMETTEUR', 'SOCIETE', 'ADRESSE'),
('COMMENTAIRE'));
FILE-SCHEMA ({ 'PROJET' });
ENDSEC;
DATA;
#1=
CARACTMATERIAU ('MAT1MASSEVOLUMIQUE', .MASSEVOLUMIQUE., 0.25484199523926D+01, $
$, $);
#2=
CARACTMATERIAU ('MAT1COEFFICIENTDEDEDILATATIONTHERMIQUE', .COEFFICIENTDEDEDILATAT
I
ONTHERMIQUE., 0.99999997473788D-05, $, $, $);
#3=
CARACTMATERIAU ('MAT1COEFFICIENTDEPOISSON', .COEFFICIENTDEPOISSON., 0.20000000
2
98023D+00, $, $, $);
#4=
CARACTMATERIAU ('MAT1MODULEDYOUNG', .MODULEDYOUNG., 0.39779999744D+11, $, $, $);
#5= MATERIAU ('MAT1', .BETONPRECONTRAINTNORMAL., (#1, #2, #3, #4));
#6=
CARACTMATERIAU ('MAT2MASSEVOLUMIQUE', .MASSEVOLUMIQUE., 0.25484199523926D+01, $
$, $);
#7=
CARACTMATERIAU ('MAT2COEFFICIENTDEDEDILATATIONTHERMIQUE', .COEFFICIENTDEDEDILATAT
I
ONTHERMIQUE., 0.99999997473788D-05, $, $, $);
#8=
CARACTMATERIAU ('MAT2COEFFICIENTDEPOISSON', .COEFFICIENTDEPOISSON., 0.20000000
2
98023D+00, $, $, $);
```

pe d'experts métier a été constitué afin d'assurer la description du modèle de données dans le langage métier. Le modèle de données a été exprimé en langage quasi-naturel : le langage NIAM (acronyme de NIJSSEN Information Analysis Method) (figure 1) puis exprimé en EXPRESS (figure 2) qui est un sous-ensemble de la norme STEP.

Deuxième phase : outils logiciels

Ils permettent aux applications de communiquer entre elles au moyen de fichiers neutres dont la structure est déduite du modèle de données. La solution de base consiste à développer une librairie d'interfaçage appelée par les différents logiciels afin de lire et d'écrire les données dans le fichier neutre d'échange (figure 3). Cette solution permet de factoriser les opérations de lecture, d'écriture et de navigation dans le fichier neutre (figure 4).

Troisième phase : validation

La validation a consisté à réaliser des échanges entre un logiciel du Setra et le logiciel de calcul des sections de Campenon Bernard après avoir intégré dans chaque logiciel la librairie d'interfaçage.

■ UTILISATION D'OA_EXPRESS
DANS LE CADRE
DES ÉCHANGES DE DONNÉES
CAO/LOGICIELS DE CALCUL

Il est de plus en plus fréquent que la conception des ouvrages d'art relève autant d'une logique architecturale que d'une logique purement fonctionnelle et mécanique. Il s'ensuit des objets géométriques plus complexes pour lesquels des outils s'avèrent indispensables à la fois pour la phase de conception/visualisation mais aussi pour le cycle complet : conception/visualisation/calcul. En effet, il est évident que le comportement mécanique d'un ouvrage et sa forme son intimement liés. De sorte que toute forme originale demande une étude préliminaire poussée. La première phase relève d'outils de CAO. Le cycle complet relève d'une association itérative CAO/calcul. Pour répondre à cette nouvelle donne, le Setra a réalisé une liaison via OA_EXPRESS entre son logiciel de CAO dédié ouvrages d'art OPERA et son logiciel de calcul de structure PCP. La mise en œuvre d'un échange de données via OA_EXPRESS entre ces deux logiciels permet de réaliser les opérations suivantes :

- ◆ réduire le volume des données produites manuellement;
- ◆ fiabiliser la production des données;
- ◆ valider immédiatement toute modification au niveau de la conception;
- ◆ introduire la traçabilité depuis la conception jusqu'au calcul;

◆ contrôler visuellement toutes les étapes.
Ceci afin de donner au cycle CAO/calcul le maximum de souplesse, de capacité itérative, de fiabilité et de rapidité (figures 5 et 6).

INTERNATIONALISATION D'OA_EXPRESS

Organisation

En ce qui concerne les ouvrages d'art, OA_EXPRESS semble être la première initiative mondiale d'élaboration d'un modèle de données. La France dispose donc d'une avance certaine. Nos contacts avec l'IAI et nos partenaires dans le cadre du projet OA_EXPRESS ont clairement révélé le désir fort de voir ce modèle de données publié et proposé comme contribution à un projet international de modèle de données d'ouvrage d'art.

C'est pourquoi nous avons fait le choix de proposer à l'IAI d'étendre aux ouvrages d'art ses activités de modélisation. La demande officielle a été déposée fin 2001. Elle a été acceptée au congrès de Munich début 2002. OA_EXPRESS est alors devenu la contribution française à cette modélisation. Aussi, avons-nous décidé de rendre publiques les spécifications d'OA_EXPRESS. Celles-ci peuvent être consultées dans leur version française et dans leur version anglaise sur le site Internet de l'IAI.

Se sont joints à nous pour participer au projet Bridge de l'IAI les chapitres nord-américain, australien et japonais. Nous souhaitons également impliquer de manière plus significative le chapitre allemand qui est très actif dans le domaine des structures métalliques. Le chapitre français, quant à lui, a la charge de l'organisation de la mise en œuvre du nouveau modèle de données.

Les principaux acteurs du côté français du projet Bridge sont les suivants :

- ◆ experts métiers : Philippe Brehmer (Setra) - Michel Cazenave (Graitec) - Xavier Cespedes (Setec TPI) - Claude Dumoulin (Bouygues Travaux Publics) - Thierry Gruber (Vinci) - Christian Mirat (SNCF) - Claude Simon (Setra) ;
- ◆ Technical Leader : Eric Lebegue (Graitec) ;
- ◆ Project Leader : Jean Gual (Setra).

Mise en œuvre

Techniquement le projet Bridge consiste à compléter les IFC par des entités spécifiques aux ponts sans bouleverser leur structure actuelle. Dans le nouvel ensemble vont donc cohabiter des entités communes aux bâtiments et aux ponts et des entités spécifiques à chacun de ces métiers.

La mise en œuvre des nouvelles entités s'est appuyée sur des outils et sur le formalisme déjà établis au sein de l'IAI. Les éléments de départ apportés par les IFC d'une part et OA_EXPRESS de l'autre ont

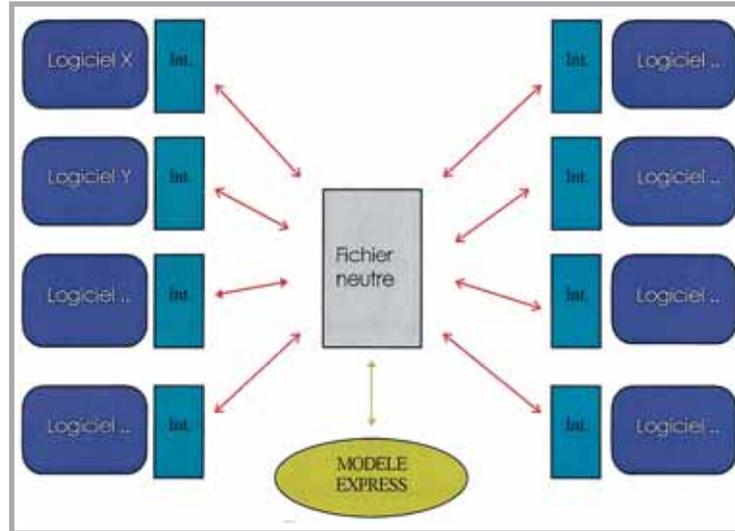


Figure 4
Mise en œuvre
informatique
IT implementation

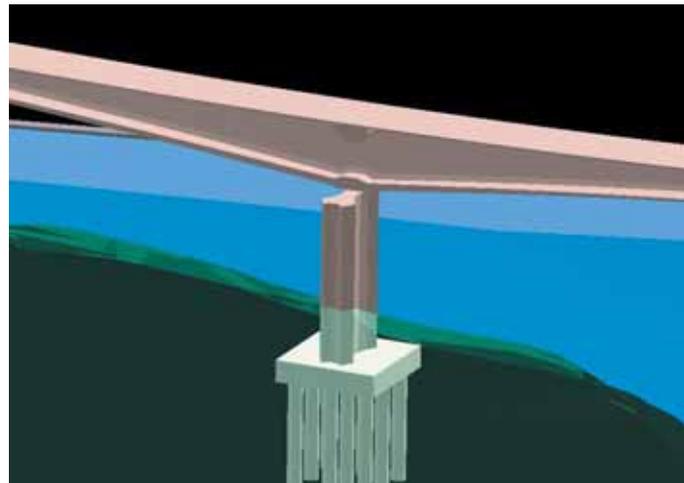


Figure 5
Représentation partielle
d'un fléau d'un pont
construit
par encorbellements
successifs
*Partial representation
of a deck section
of a bridge built
by successive
cantilevering*

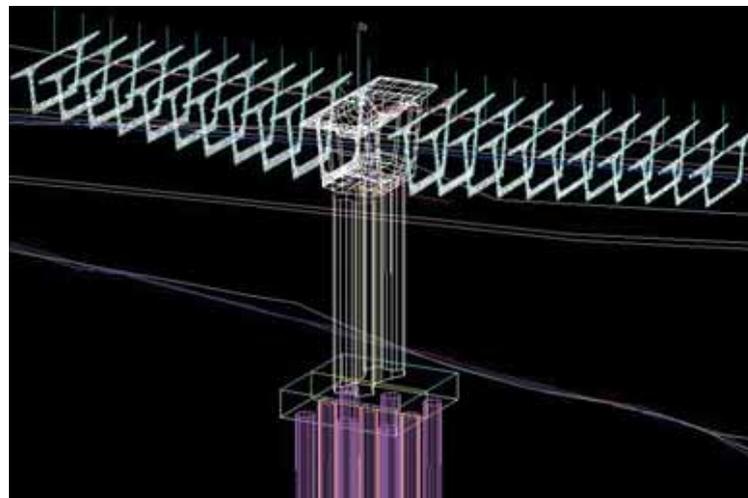


Figure 6
Représentation
des sections de calcul
du fléau de la figure 5
*Representation
of the computation
sections for the deck
section in Figure 5*

permis de mettre en œuvre très rapidement une première version des entités du modèle Bridge et de la proposer au comité d'experts. Elle couvre la description géométrique des éléments structuraux de l'ouvrage d'art.

Cette première version est consultable sur le site de l'IAI (cf. adresse ci-dessous). Les entités et leur signification sont directement accessibles par des liens hypertextes attachés à des représentations graphiques d'ouvrages d'art. Pour faciliter cette validation une première série de scénarios d'échanges

sera mise en place sur la base de cas concrets significatifs.

L'étape en cours consiste à mettre au point un certain nombre d'outils informatiques facilitant la tâche des éditeurs de logiciels ou des utilisateurs en vue de cette validation.

Une fois les scénarios de validation passés avec succès et la cohérence d'ensemble du système vérifiée, une nouvelle version des IFC intégrant les ponts pourra être soumise à un vote officiel de l'IAI.

■ CONCLUSION

Le flux continu en matière de données de projet constitue la nouvelle frontière en matière d'informatique scientifique et technique. Elle doit assurer ouverture, qualité, rapidité et confort aux utilisateurs finaux d'applications. Néanmoins plus le niveau sémantique est riche, plus la structuration des données est une activité de longue haleine. Ces investigations se justifient donc clairement dans une démarche de normalisation internationale. L'IAI et les IFC constituent un cadre naturel pour élaborer une structuration des données de pont au niveau international. Le potentiel d'une telle démarche est important à moyen terme si l'on songe aux interactions possibles entre la conception, le calcul, les prescriptions normatives telles que les eurocodes, les prescriptions des produits, la gestion en exploitation, l'archivage, etc. Ces travaux actuels, somme toute très abstraits, trouveront alors toutes leurs justifications.

■ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Dans la série *Documents scientifiques et techniques* de l'AFPC :

- "Les échanges de données informatisés dans le domaine des structures du génie civil" - Février 1994.
- STEP - Product data representation and exchange. ISO DIS 10303 - 1^{er} janvier 1993.

Liens utiles

IAI France : <http://www.iai-france.org/bridge>

IAI : <http://www.iai-international.org>

ABSTRACT

From "pont" to "bridge" via OA_Express. Towards an international standard for data interchange on bridge projects

Ph. Brehmer, J. Gual, Cl. Simon, G. Veylon

The computerisation of TDI (Technical Data Interchange) is becoming a reality in the building area with the standardisation of data proposed by the IAI (International Alliance for Interoperability) in the form of IFCs (Industry Foundation Classes). In the area of bridges, the exclusively French data model OA_Express has the same goals, but its use is hampered by its geographic limits. For this reason the extension of the IFCs to civil engineering structures has been proposed by the French-speaking section of the IAI based on the OA_Express model.

This project, called Bridge, is in progress.

The present article is designed to provide a brief introduction to TDI in general and to the OA_Express/Bridge projects in particular.

RESUMEN ESPAÑOL

De puente a Bridge por OA_Express. Hacia una norma internacional de intercambio de datos de proyectos de puentes

Ph. Brehmer, J. Gual, Cl. Simon y G. Veylon

La informatización de los intercambios de datos técnicos (IDT) se ha convertido en una realidad en el aspecto de la edificación, debido a la normalización de datos propuesta por la IAI (International Alliance for the Interoperability), que toma la forma de los IFC (Industry Foundation Classes). Al tratarse de los puentes, el modelo de datos franco-francés OA_Express presenta los mismos fines, pero su empleo tropieza con sus propios límites geográficos.

Por estas razones, la aplicación de los IFC a las grandes estructuras ha sido propuesta por el capítulo francófono de la IAI acorde al modelo OA_Express. Este modelo, denominado Bridge, se encuentra en curso de aplicación. El presente artículo se propone presen-

tar una rápida introducción a los IDT en general y a los proyectos OA_Express/Bridge, en particular.

Contribution des universitaires à la recherche, au développement et à l'innovation en génie civil

Organisation de la recherche universitaire et partenariats avec les entreprises

Cet article présente la recherche menée dans les laboratoires universitaires. A côté de leurs missions classiques : le développement des connaissances de base et la formation des étudiants, les universitaires du génie civil ont développé de nombreuses relations avec les professionnels de la construction. Les principaux dispositifs permettant les coopérations sont rappelés et quelques exemples de réalisation sont décrits : recherches sur les matériaux nouveaux (bétons autoplaçants) ou sur leur comportement sous des actions exceptionnelles (incendie), sur la durabilité des ouvrages, sur la gestion des risques ou sur les interactions sols-structure. Ces exemples ne traduisent pas toute la diversité des travaux de recherche menés par les universitaires du génie civil mais ils couvrent un champ assez large représentatif des opérations menées en partenariat.

■ OÙ S'EFFECTUE LA RECHERCHE UNIVERSITAIRE ?

Les établissements universitaires contribuent à l'effort national en matière de recherche. Dans le domaine du génie civil, la recherche est conduite dans des laboratoires qui sont reconnus par le ministère de l'Education Nationale (équipes associées) ou le CNRS (unités mixtes de recherches ou laboratoires propres du CNRS). Ces laboratoires relèvent aussi de la tutelle d'un ou de plusieurs établissements de formation (écoles d'ingénieurs, universités...).

L'identification des équipes de recherche universitaire par les entreprises partenaires n'est pas toujours suffisamment claire car les activités de recherche en génie civil peuvent être conduites au sein de laboratoires dont les vocations débordent notre domaine. Pour pallier cette difficulté, l'Association universitaire de génie civil développe un site Internet qui recense et présente les différentes équipes de recherche universitaire (www.augc.asso.fr).

■ QUELLES SONT LES VOCATIONS DE LA RECHERCHE UNIVERSITAIRE EN GÉNIE CIVIL ?

Dans leurs activités de recherche, les universitaires visent plusieurs objectifs :

- ◆ développer les connaissances de base dans leur domaine de compétence ;

- ◆ mettre ces connaissances au service du secteur de la construction pour aider à l'innovation ;
- ◆ former des cadres par la recherche.

Contrairement à une idée reçue, les partenaires des laboratoires universitaires ne sont pas uniquement concernés par le transfert des connaissances. La formation de cadres techniques de haut niveau dans les laboratoires de recherche est de plus en plus considérée comme l'une des missions essentielles de l'université et des écoles d'ingénieurs. Les actions menées dans les laboratoires sont complétées au sein d'écoles doctorales qui élargissent le champ de formation des chercheurs et notamment pour tout ce qui concerne la vie des entreprises. La communauté du génie civil universitaire s'est en outre dotée d'un outil spécifique de formation, le Réseau doctoral génie civil. Ce réseau complète les formations dispensées dans les écoles doctorales et participe à l'organisation des "Entretiens du RGC&U" afin de faciliter le rapprochement entre les jeunes chercheurs et les entrepreneurs.

■ QUELS SONT LES DISPOSITIFS PERMETTANT D'ASSOCIER ENTREPRISES ET LABORATOIRES UNIVERSITAIRES ?

La coopération entre les entreprises et les laboratoires universitaires se concrétise par des projets de tailles et de durées très variées. Les recherches

► peuvent être conduites dans le cadre de thèses pendant une période de trois ans, mais aussi dans le cadre d'actions beaucoup plus courtes, grâce notamment à la mise en place de services de transfert de technologie dans de nombreux laboratoires. Grâce à différents dispositifs d'encouragement, les pouvoirs publics peuvent soutenir cette coopération. Par exemple, les Projets Nationaux et les projets labellisés par le Réseau génie civil urbain démontrent le bénéfice des travaux menés en partenariat entre laboratoires universitaires et entreprises. Les conventions CIFRE et des bourses régionales permettent de soutenir financièrement un projet de recherche/développement dans le cadre de thèses. Si la majorité des actions de recherche ont été menées avec les plus grandes entreprises du secteur, des coopérations très riches sont développées avec des entreprises de taille moyenne.

Des contrats de recherche peuvent aussi lier une entreprise et un laboratoire de façon bilatérale.

Le ministère en charge de la Recherche a également mis en place des Equipes de recherche technologique (ERT) pour faciliter la réalisation de projets entre laboratoires universitaires et entreprises. L'ERT "Rupture et durabilité des ouvrages est présentée ci-après à titre d'exemple. Quelques résultats de recherches réalisées en coopération avec des entreprises ou des collectivités sont ensuite exposés.

Quelques exemples de projets de recherches en cours de réalisation dans les laboratoires universitaires

■ L'ÉQUIPE DE RECHERCHE TECHNOLOGIQUE "RUPTURE ET DURABILITÉ DES OUVRAGES - R&DO"

Gilles Pijaudier-Cabot
RESPONSABLE DE L'ERT R&DO, LGCNSN
Ecole Centrale de Nantes

La recherche technologique a pour finalité de résoudre des problèmes posés par des entreprises ou liés à une demande sociétale. Créées par le ministère en charge de la recherche en 2000, les Equipes de recherche technologique mènent des projets dans le cadre d'un partenariat entre un laboratoire de recherche et un ou plusieurs industriels. Ces unités sont bâties selon une logique alliant une recherche scientifique fondamentale et les dimensions commerciales et sociétales du pro-

duit de la recherche visant à lever un verrou technologique.

R&DO est une des composantes du Laboratoire de génie civil de Nantes Saint Nazaire (LGCNSN), commun à l'école Centrale de Nantes et l'université de Nantes. Cette équipe mène des recherches sur la durabilité et la tenue en service des ouvrages de génie civil. Les objectifs industriels sont d'une part le meilleur contrôle de la qualité des modèles de conception et de maintenance des infrastructures et d'autre part une meilleure connaissance relative à l'emploi de bétons nouveaux dans ce contexte.

Les enjeux scientifiques sont :

- ◆ la modélisation de la rupture des matériaux hétérogènes quasi fragiles (bétons...) et son interaction avec le fonctionnement d'une structure ;
- ◆ la description des effets couplés thermiques - hydriques - chimiques et mécaniques sur le comportement des matériaux cimentaires et des ouvrages ;
- ◆ la validation des modèles par l'expérience sur des mini-structures et l'évaluation de la qualité des modèles numériques.

Cette équipe a été bâtie autour de deux collaborations industrielles, avec les soutiens de la Région des Pays de la Loire et du ministère en charge de la Recherche. Le partenaire principal est EDF R&D. Son objectif est le développement d'outils de simulation numérique destinés à prévoir le vieillissement des ouvrages de production d'énergie. Avec un deuxième partenaire industriel, Vendée Maté-

Photo 1
Essai de flexion sur poutre entaillée
Notched-beam bending test



riaux, sont examinés les problèmes relatifs à la mise en œuvre des bétons auto-plaçants, et leurs conséquences sur la durabilité d'un ouvrage. R&DO dispose d'une plate-forme dotée de moyens expérimentaux destinés à appliquer des sollicitations physiques et chimiques et de moyens d'observation des dégradations créées.

Deux exemples de réalisations

Les bétons auto-plaçants : ces bétons particuliers sont le fruit de recherche sur la chimie des ciments et la modélisation de l'écoulement de milieux pâteux hétérogènes. Ils ne nécessitent pas de vibration lors de leur mise en place. Cette technologie permet d'accélérer les cadences de fabrication, de limiter les coûts de main d'œuvre et les bruits lors de leur mise en œuvre. Nous développons les compositions types qui sont utilisées dans les diverses centrales de béton prêt à l'emploi de VM Matériaux. En parallèle à ces travaux, des études sur le retrait et la fissuration du matériau au jeune âge sont menées.

Les outils de modélisation numérique pour la sûreté des installations de production d'énergie : l'objectif est d'une part la valorisation du savoir-faire en terme de modèles numériques appliqués au génie civil au sein du logiciel de calcul d'Electricité de France et d'autre part l'étude des effets couplés en mécanique de la durabilité : effet du fluage sur la résistance résiduelle d'une structure, effet de l'endommagement sur les propriétés d'étanchéité d'une enceinte, couplages endommagement chimique – endommagement mécanique pour la durabilité à long terme des ouvrages...

En complément à ces approches, l'intérêt d'une approche fiabiliste réside dans la définition du risque acceptable par le maître d'ouvrage et son appréciation par des modèles de simulation tenant compte en particulier des conditions environnementales variables. Cet aspect sera traité en partenariat avec la société Oxand SA (photo 1).

■ DÉVELOPPEMENT D'OUTILS D'ÉVALUATION DE LA DURÉE DE SERVICE DES STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ CORRODÉ

François Buyle-Bodin, Mickael Dekoster, Olivier Blanpain

LML - USTL
Polytech'Lille - Villeneuve d'Ascq

La corrosion des armatures des éléments de structure en béton armé est un phénomène qui se développe en deux temps. La première phase dite d'initiation correspond à la pénétration dans l'épaisseur d'enrobage d'agents agressifs comme les chlorures ou dépassivant comme la carbonatation. Cette phase se termine quand les premiers aciers com-

mencent à se corroder, et la phase dite de propagation commence alors [1].

La phase d'initiation peut être modélisée en se référant à des lois de diffusion. Il est particulièrement intéressant pendant cette phase d'évaluer l'état du béton d'enrobage afin de pouvoir prédire l'évolution de l'ouvrage et mettre en œuvre de la maintenance préventive. Notre équipe développe sur ce sujet une méthode non destructive par ondes ultrasonores haute fréquence [2], dans le cadre d'un projet labellisé par le RGC&U en collaboration avec d'autres équipes françaises (CDGA, LCPC, LERM, LMDC...).

Pendant la phase suivante de propagation, la corrosion qui se développe affecte la capacité mécanique des structures et donc leur durée de service. Les phénomènes sont complexes en raison de la combinaison de la diminution de section d'acier remplacée par la rouille, de l'endommagement du béton causé par la pression de rouille, et de la dégradation de l'adhérence acier-béton qui en résulte (figure 1).

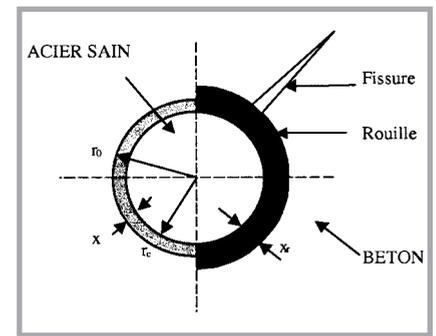


Figure 1
Effets de la corrosion
Effects of corrosion

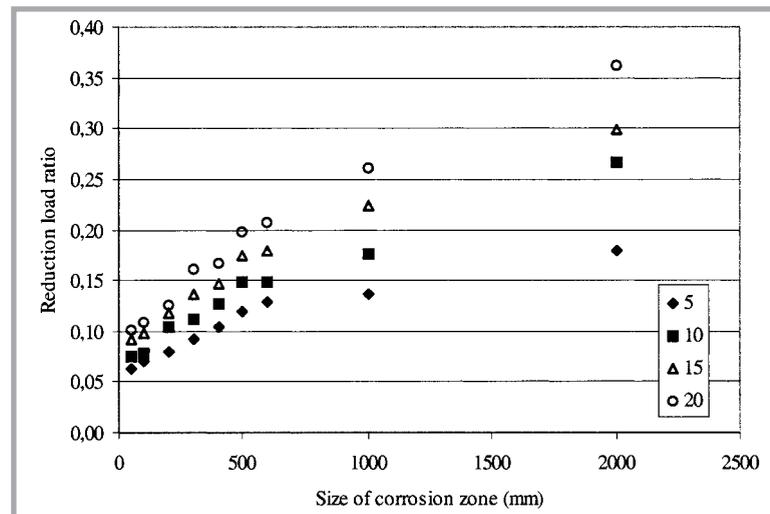


Figure 2
Ratio de réduction de charge portante en fonction de la taille de la zone corrodée et du degré de corrosion (zone corrodée à mi-poutre)
Ratio of reduction of bearing capacity as a function of the size of the corroded region and the degree of corrosion (corroded region in mid-beam)

Pour prendre en compte l'effet longitudinal qu'inclut la dégradation de l'adhérence acier-béton, nous avons développé une modélisation éléments finis [3]. L'aspect original de cette modélisation porte sur le développement d'un élément de rouille particulier, qui a été validé et calé sur deux études expérimentales en corrosion accélérée. A partir du modèle, plusieurs scénarios de corrosion, en termes de taille et de localisation de zone corrodée à différents degrés, ont été simulés et les conséquences sur le comportement en service et à l'état ultime des poutres ont été cataloguées et hiérarchisées [4]. Un exemple est donné en figure 2.

Cela permet de séparer les effets de la réduction de section d'acier, agissant plutôt sur la charge portante, de ceux de la dégradation de l'adhérence, affectant plutôt la flèche.

Les cas les plus critiques peuvent par ailleurs être ainsi identifiés, ce qui devrait permettre aux ingé-

► nieurs chargés de diagnostiquer les structures BA corrodées d'optimiser leur évaluation, et par conséquent la maintenance, contribuant ainsi à l'allongement de la durée de service des constructions, ce qui est un facteur important de développement durable en génie civil.

- [1] Tuutti K. (1982) Corrosion of steel in concrete, Swedish Cement and Concrete research Institute, *CBI Research* 4.82.
- [2] Buyle-Bodin F., Ould-Naffa S., Goueygou M., Piwakowski B. (2002) Evaluation de la dégradation des ouvrages en béton par ondes ultrasonores haute fréquence. *Contrôles-Essais-Mesures*. Juillet 2002, pages 53-55.
- [3] Dekoster M., Buyle-Bodin F., Maurel O. (2002) Modélisation par éléments finis de structures en béton armé avec armatures corrodées. *Revue Française de Génie Civil*, vol. VI, n° 5, pages 697-708.
- [4] Dekoster M., Buyle-Bodin F., Maurel O., Delmas Y. (2003) Modelling of flexural behaviour of RC Beams subjected to localised and uniform corrosion. A paraître en 2003 dans *Engineering Structures*.

■ LES MATÉRIAUX
FACE À L'INCENDIE

Raoul Jauberthie, Yannick Mélinge, Christophe Lanos
GROUPE DE RECHERCHE GÉNIE CIVIL - ÉQUIPE MATÉRIAUX
Insa de Rennes

L'élévation de température des matériaux constituant une structure exposée à un incendie peut compromettre rapidement la stabilité de l'ouvrage. Mieux concevoir et mieux dimensionner vis-à-vis de ce type de sollicitation sévère nécessite, d'une part, de comprendre et modéliser le feu (ce thème est par exemple étudié par le laboratoire Combustion et Détonique, Poitiers) et, d'autre part, d'identifier le comportement thermo-mécanique précis des matériaux.

Une approche courante consiste à identifier le comportement mécanique du matériau à différentes températures. Ceci s'avère parfois insuffisant. Ainsi, en présence de bétons hautes performances, très compacts ou de matrices cimentaires très peu perméables, la vaporisation de l'eau de minéralisation des hydrates du ciment peut entraîner une ruine par explosion.

Pour d'autres produits, peu déformables, les premiers instants de l'exposition aux hautes températures sont cruciaux. Un fort gradient thermique est engendré dans l'épaisseur du produit. La dilatation ou le champ de contraintes associé est non homogène, ce qui peut conduire à la ruine du produit.

Dans le cas de matériaux riches en hydrates ou en carbonates l'élévation de température est couplée à une importante évolution de la masse volumique et donc de la compacité du composé. Dans ce cas la ruine mécanique du matériau est liée à la perte de cohésion.

Ces différents comportements sont étudiés expérimentalement au sein du GRGC de l'Insa de Rennes à l'aide d'un banc de sollicitation à haute température. L'élévation contrôlée de la température est générée par une source électrique. L'instrumentation en capteurs thermiques et fluxmètre permet d'analyser les conditions de transfert thermique au travers de l'échantillon (figure 3).

L'association de techniques d'analyses physico-chimiques telles que la diffraction X, l'ATD-ATG, la microscopie électronique, à la métrologie thermique (conductivité à différentes températures) permet d'identifier tous les paramètres caractéristiques du transfert thermique dans le matériau, pour une large gamme de température.

La simulation du transfert thermique en tenant compte des phénomènes liés aux changements de phases minérales du matériaux (déshydratation, décarbonatation) est développée. Un exemple de validation est présenté figure 4.

L'étude du comportement mécanique intègre une

Figure 3
Evolution de la température dans un échantillon de 4 cm d'épaisseur exposé à une sollicitation proche de la courbe EN 1363-1

Temperature change in a sample 4 cm thick exposed to loading close to the curve EN 1363-1

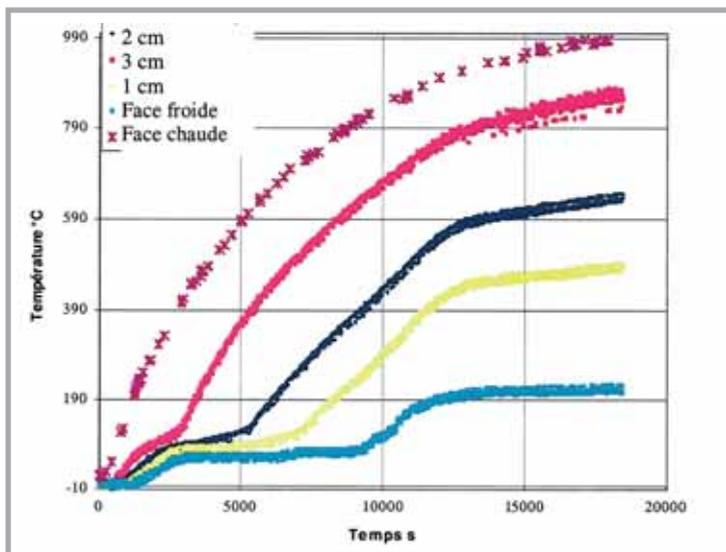
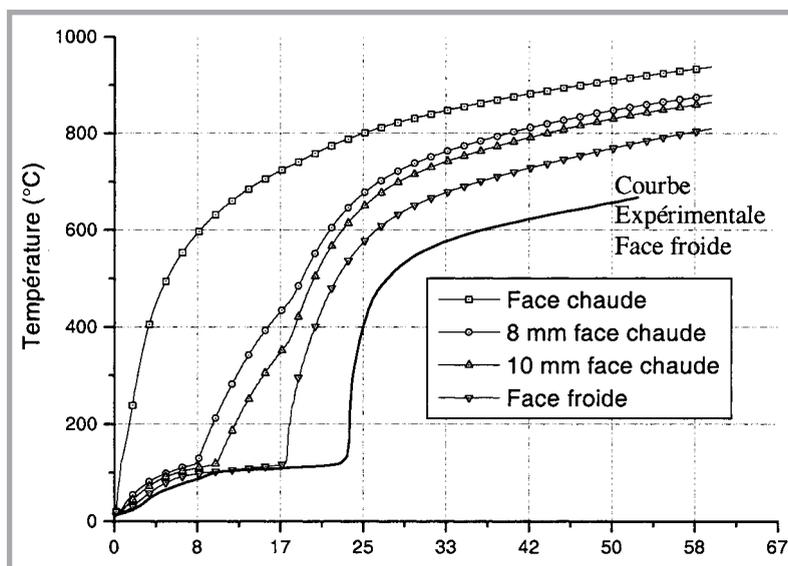


Figure 4
Simulation numérique d'un essai (l'essai réel est réalisé avec une montée en température légèrement plus lente que les simulations)

Numerical simulation of a test (the real test is performed with a temperature rise slightly slower than for the simulations)



analyse dilatométrique aux hautes températures ainsi que l'estimation des déformations et des contraintes à la rupture. L'état mécanique interne de l'échantillon est alors construit en tenant compte du champ de température. Le risque de fissuration peut donc être estimé.

La compréhension du couplage thermo-mécanique permet d'appréhender autrement la relation entre la formulation d'un produit et son comportement au feu. Des résultats obtenus en adaptant la formulation d'un matériau afin de réduire sa fissuration sans trop affecter les conditions de transfert thermique sont présentés sur la figure 5.

■ RHÉOLOGIE ET TRIBOLOGIE DES PÂTES MINÉRALES

Christophe Lanos

GRUPE DE RECHERCHE GÉNIE CIVIL - ÉQUIPE MATÉRIAUX
Insa de Rennes

Savoir mesurer la viscosité, le seuil de cisaillement ou toutes autres propriétés rhéologiques de suspensions très concentrées telles que les sols, les boues, les pâtes, les mortiers et bétons est essentiel à la compréhension des relations existant entre la composition de tels mélanges et leurs conditions d'écoulement.

Les viscosimètres commerciaux, permettant d'identifier la courbe d'écoulement des matériaux, sont en général inadaptés à l'étude de ces fluides fermes, intégrant des particules parfois centimétriques. Différents appareils spécifiques ont été conçus pour étudier certaines gammes de matériaux (citons le rhéomètre à cylindres coaxiaux à large entrefer du CEMAGEF utilisé en présence de boues ou le BTRheom du LCPC utilisé en présence de bétons). La généralisation de l'utilisation de ces appareils dédiés reste cependant difficilement envisageable. Afin de caractériser le comportement des pâtes minérales, le test de compression simple, test très simple d'utilisation, est exploité par le GRGC de l'Insa de Rennes. L'effort de compression est mesuré en fonction de la hauteur de l'échantillon. Lors de la compression d'un échantillon de faible élanement, l'écoulement induit est complexe et se traduit par des champs de contraintes de cisaillement ou des vitesses de déformation non homogènes. L'identification de la relation entre ces deux paramètres, la courbe d'écoulement, n'est donc pas directe.

Toutefois, ce test engendre des écoulements présentant des vitesses de déformation moyennes assez semblables. Il a donc été possible de construire un algorithme de dépouillement permettant de construire point par point la courbe d'écoulement en ajustant à chaque étape de l'enregistrement la solution de l'écoulement d'un fluide viscoplastique de type Bingham.

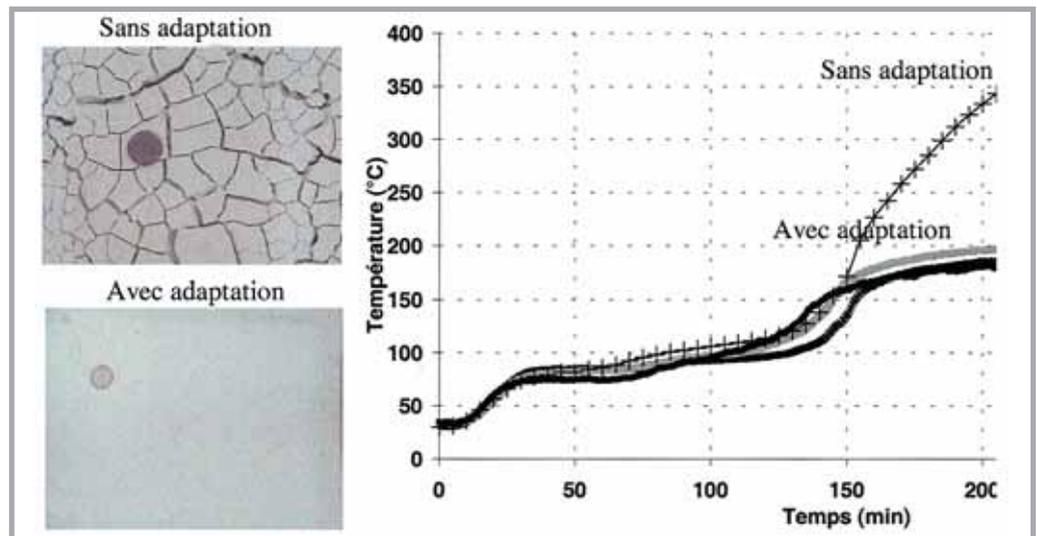


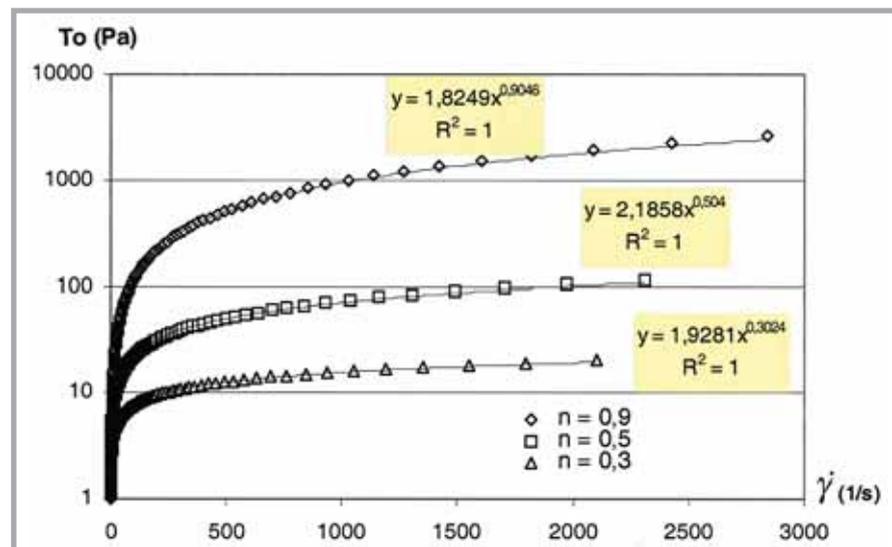
Figure 5
Adaptation d'une formulation visant à limiter la fissuration sans pénaliser la tenue au feu du produit
Adaptation of a mix design aiming at limiting cracking without adversely affecting the product's fire resistance

Quelques résultats obtenus en appliquant la méthode de dépouillement sont présentés sur la figure 6.

Le test de compression permet ainsi d'identifier la courbe d'écoulement de fluides fermes dans une gamme de faibles vitesses de déformation. Il est donc particulièrement adapté à l'étude des fluides à seuil.

L'utilisation d'applicateurs d'effort présentant des rugosités différentes permet d'évaluer les conditions de friction du matériau contre une paroi. Le test de compression simple est donc également un tribomètre efficace mais limité à des vitesses

Figure 6
Validation de la méthode de construction de la courbe d'écoulement du fluide d'Ostwald-DeWaele modèle de consistance théorique 2 Pa.sⁿ et pour trois index d'écoulement différents 0,3, 0,5 et 0,9
Validation of the method of construction of the Ostwald-DeWaele fluid flow curve, with a theoretical consistency model of 2 Pa.sⁿ and for three different flow indices 0.3, 0.5 and 0.9



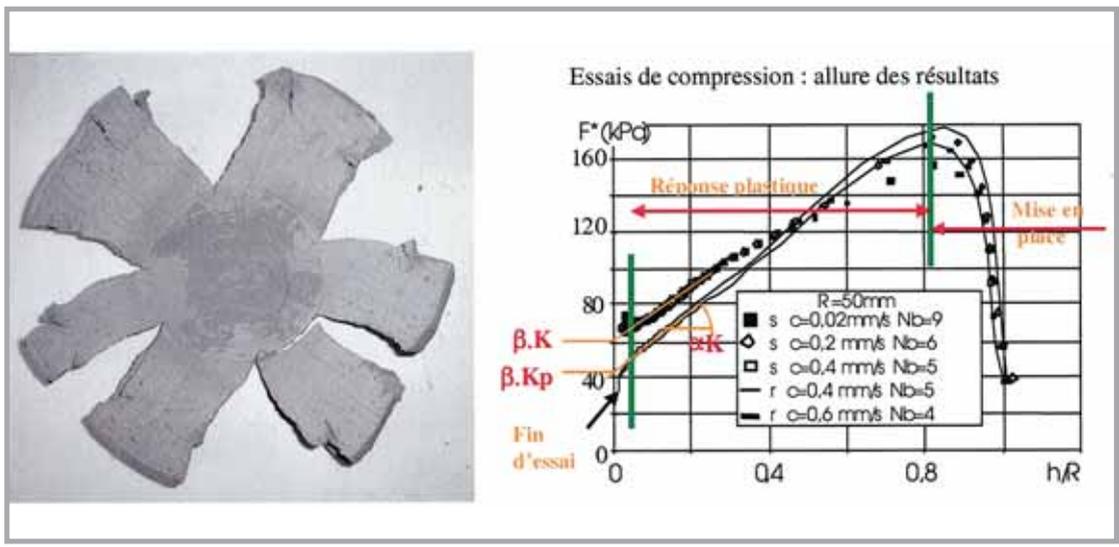


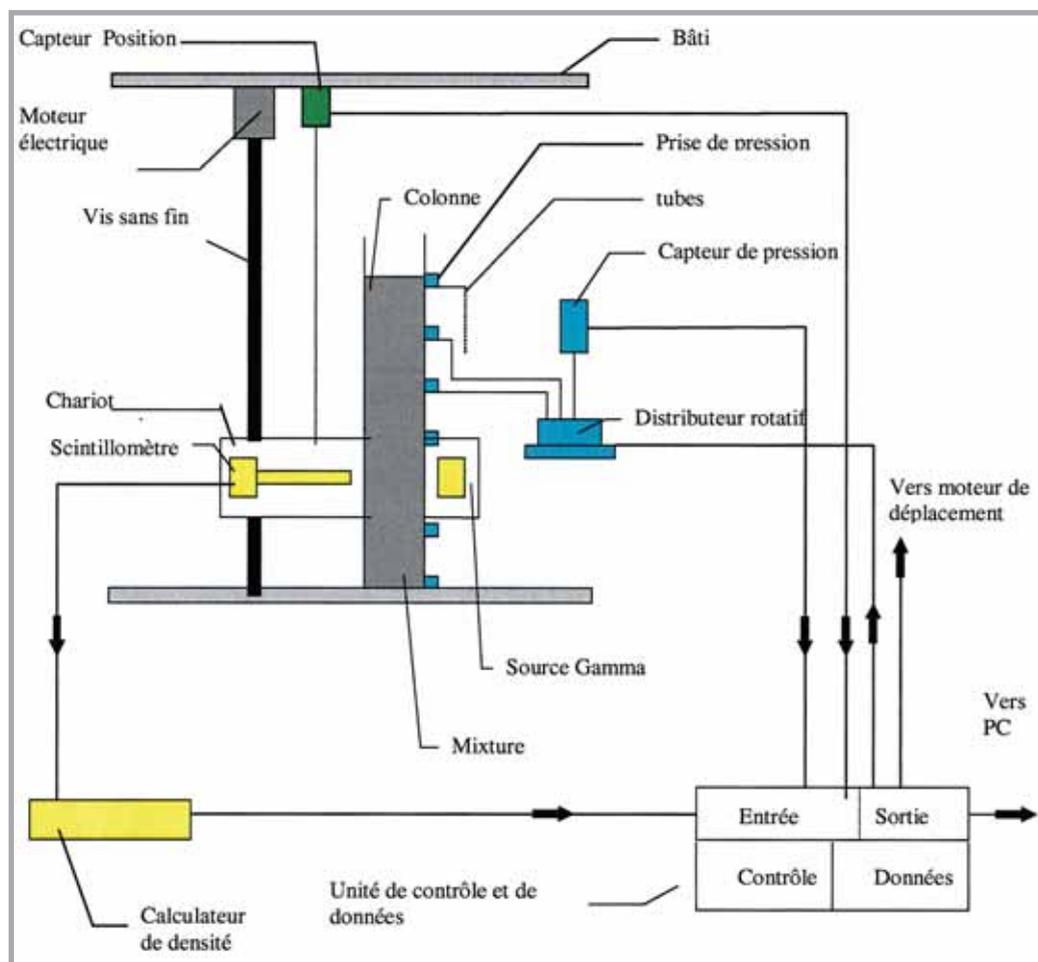
Figure 7
Détermination des seuils de plasticité K et de friction Kp de pâtes d'argiles. (Projet National Eupalinos 2000)

Determination of the plasticity threshold K and friction threshold Kp of clay pastes. (Eupalinos 2000 National Project)

de glissement faibles. La figure 7 montre des résultats obtenus lors de la compression de pâtes d'argiles.



Figure 8
Présentation du banc gammadensimétrique
Presentation of the gamma density meter test bench



La spécificité de ces sols nous a conduit à concevoir et à mettre au point un banc gammadensimétrique asservi qui permet d'obtenir l'évolution des profils de densité au cours du temps pour différents types de géomatériaux de forte teneur en eau (argiles marines ou fluviales, vases, boues naturelles, déchets de carrières, coulis de ciment...).

L'analyse des profils expérimentaux, obtenus pour des concentrations initiales de 100 g/l, permet de montrer la continuité des phénomènes évolutifs dans une gamme de contrainte effective de l'ordre de 10 Pa à 1 kPa et une gamme de perméabilité de l'ordre de 10⁻² à 10⁻⁶ m/s. Bien que la ségrégation rende plus délicate l'interprétation, les matériaux testés évoluent progressivement d'une phase de sédimentation (chute entravée) à une phase de consolidation (figure 8).



■ GESTION DES RISQUES
LIÉS AUX CARRIÈRES
SOUTERRAINES : INTÉRÊTS
DU REMBLAYAGE

Tanguy Collet, Farimah Masrouri
LABORATOIRE ENVIRONNEMENT, GÉOMÉCANIQUE
& OUVRAGES
ENSG - INPL

Christophe Didier
Ineris Verneuil-en-Halatte

Les manifestations en surface des désordres se produisant dans les carrières souterraines abandonnées exploitées en chambres et piliers peuvent engendrer de graves conséquences en termes de sécurité publique, de dégâts sur le bâti et d'impacts sur l'environnement. Dans ce contexte, le remblayage total ou partiel est proposé afin d'améliorer la stabilité à long terme des carrières. Ce type de remblayage peut se faire de différentes manières selon le type de matériaux utilisé, la géométrie et l'accessibilité des travaux, le coût de l'opération, et le niveau de sécurité attendu.

Ce travail s'inscrit dans le cadre des études de faisabilité et de conception du comblement des vides par le fond, sans compactage. Il s'appuie sur une instrumentation *in situ* d'une carrière souterraine de gypse remblayée en région parisienne (figure 9). Les premiers résultats ont montré une contraction en base de pilier et une légère extension sur le tiers supérieur de la hauteur de remblai.

Des modélisations considérant le sol et les piliers comme étant des milieux continus ont montré des résultats comparables à ceux de l'instrumentation *in situ* mais avec une amplitude plus faible (figure 10). Ceci pourrait s'expliquer en partie par la non-prise en compte de l'état de fracturation des piliers lors du remblayage.

Des travaux sont en cours pour étudier l'influence de cette fracturation ainsi que celle de l'extrême variabilité des caractéristiques des matériaux de remblai sur le comportement de l'ensemble.



Figure 9
Excavation totale
Total excavation

Cette étude permettra à terme de préciser l'influence du remblai sur le comportement des piliers, d'évaluer la hauteur de remblai nécessaire pour assurer la stabilité, et de déterminer les paramètres mécaniques optimaux du remblai dans les carrières souterraines.

■ INTERACTION SOL-STRUCTURE
DANS LES TRAVAUX
SOUTERRAINS EN MILIEU
URBAIN DENSE ET IMPACT
SUR LE BÂTI EXISTANT -
PROJET METROTOUL

*Richard Kastner,
Fabrice Emeriault*
URGC GÉOTECHNIQUE
Insa Lyon

L'évolution des besoins liés à l'aménagement des villes, ainsi que celle des techniques de construction conduit à réaliser des ouvrages souterrains (tunnels, grandes excavations) dans des conditions de situation, de terrain et d'environnement de plus en plus difficiles et complexes. Pour la conception et la construction de ces ouvrages dans un milieu urbain dense et sensible, il convient non seulement de se préoccuper de la stabilité propre de l'ouvrage mais également de son incidence sur le patrimoine bâti préexistant.

Les méthodes de dimensionnement traditionnelles très simplifiées ou empiriques s'avèrent souvent insuffisantes pour décrire le comportement de ces ouvrages dans toute la complexité des interactions sol-structure, ainsi que leur incidence sur le milieu environnant. Des observations récentes ont montré que les règles actuelles de prévision de l'impact sur l'existant sont souvent inadéquates aux nouvelles techniques de réalisation et parfois très pénalisantes du point de vue de leur incidence sur le coût des travaux si les prescriptions en matière de mouvements autorisés sont inadéquates.

En parallèle, l'essor des moyens de calcul a permis le développement de méthodes numériques qui, couplées à des modèles de sol adéquats, autorisent une simulation plus réaliste du comportement des ouvrages géotechniques. Ces méthodes et modèles sont complexes et nécessitent des données et paramètres souvent mal connus, car pris en compte de manière globale dans les approches plus empiriques. Aussi, ces outils et les résultats qu'ils fournissent demandent-ils à être confrontés à la réalité du terrain afin de les développer et de les qualifier.

Le projet Metrotoul s'appuie sur les travaux de la ligne B du métro de Toulouse (tunnels et stations). Ce chantier est adapté à une action de recherche sur l'impact des travaux souterrains en milieu fortement urbanisé, s'appuyant sur un retour d'expé-

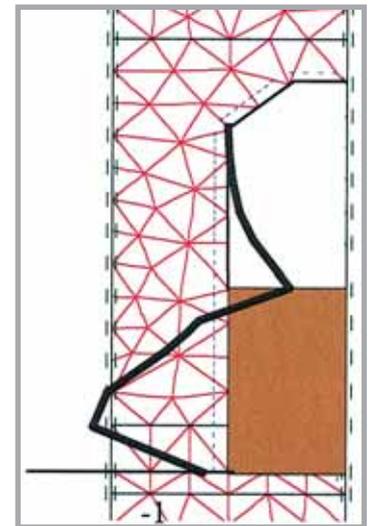


Figure 10
Maillage et déplacements
horizontaux du pilier
lors du remblayage (en 10^{-5} m)
Meshing and horizontal movements
of the pillar during backfilling
(in 10^{-5} m)



Photo 2
Station Canal
du Midi
en cours
de réalisation
(Toulouse lot 2
métro ligne B)

Canal du Midi
station
undergoing
construction
(Toulouse work
section 2,
underground rail
line B)

rience, par la diversité des méthodes de creusement : tronçons réalisés en tranchée couverte, par tunneliers à pression de terre, par tunnelier à pression de boue, par tunnelier à pression d'air. Ce chantier comporte également la réalisation de fouilles profondes au droit de stations, et notamment au croisement avec une ligne existante dont les mouvements et sollicitations feront l'objet d'un suivi complet en temps réel.

En s'appuyant sur un ensemble très important d'observations de surfaces (tassement du sol et des bâtiments), sur des sections d'observations spécifiques en surface et profondeur ainsi que sur l'enregistrement en continu des paramètres de pilotage des tunneliers, cette opération de recherche doit satisfaire les objectifs suivants :

- ◆ améliorer les connaissances sur les mouvements du sol, les déformations du bâti et autres désordres éventuels en relation avec diverses techniques de creusement et de soutènement ;
- ◆ évaluer et faire évoluer les méthodes de prévision des désordres en relation avec les niveaux de déformation ;
- ◆ réaliser des sections d'observation spécifiques en vue d'obtenir des données expérimentales assurant la qualification et l'élaboration de méthodes de simulation ;
- ◆ développer et qualifier des méthodes de simulation du creusement à divers niveaux de complexité : simulations numériques 2D ou 3D, méthodes "simplifiées" ;
- ◆ assurer la valorisation scientifique des résultats et leur transfert vers la profession.

Metrotoul a obtenu le label du Réseau Génie Civil et Urbain et est soutenu financièrement par le ministère de la Recherche. Il réunit un partenariat varié puisque, sous le pilotage de l'Insa de Lyon, sont associés l'Engineering Department de l'Université de Cambridge, la Société du Métro de l'Agglomération Toulousaine (maître d'ouvrage de l'opération), Systra (maître d'œuvre) et le bureau d'études EEG-Simecsol (photo 2).

ABSTRACT

Contribution of university staff to civil engineering research, development and innovation. Organisation of university research and partnerships with companies

Various authors

This article describes the research conducted in university laboratories. Alongside their conventional roles, namely the development of fundamental knowledge and training of students, civil engineering academics have developed numerous relations with the construction industry specialists. The principal systems permitting cooperation are mentioned and a few examples of projects are described : research on new materials (self-placing concretes) or on their behaviour in exceptional events (fire), on the durability of structures, on risk management or on soil-structure interactions. These examples do not reflect all the diversity of the research work conducted by civil engineering academics, but they cover a fairly broad field representative of the operations conducted in partnership.

RESUMEN ESPAÑOL

Contribución de los universitarios para la investigación, el desarrollo y la innovación en el ámbito de la ingeniería civil.

Organización de la investigación universitaria y asociaciones con las empresas

Autores diversos

En el presente artículo se presenta la investigación emprendida por parte de los laboratorios universitarios. Al mismo tiempo que sus misiones convencionales, o sea, el desarrollo de los conocimientos básicos y la formación de los estudiantes, los universitarios de la Ingeniería Civil han entablado numerosas relaciones con los profesionales de la construcción. Se mencionan los principales dispositivos capaces de permitir las cooperaciones y se describen algunos ejemplos : investigaciones acerca de los nuevos materiales (hormigones autoplazantes) o su compor-

tamiento sometido a acciones excepcionales (incendio), la durabilidad de las estructuras, la gestión de los riesgos o las interacciones entre el suelo y la estructura. Estos ejemplos no reflejan la gran diversidad de los trabajos de investigación emprendidos por los universitarios de la Ingeniería Civil, pero en cambio, abarcan un ámbito bastante amplio y representativo de las operaciones emprendidas en asociación.

Le Projet National CRITERRE

Guy Verrier



PRÉSIDENT DU PROJET
NATIONAL
DE RECHERCHE
ET DÉVELOPPEMENT
CRITERRE

Pierre Le Tirant



IREX

Les travaux de construction et de maintenance des ouvrages de génie civil sont très souvent confrontés à des difficultés liées à une connaissance préalable insuffisante des anomalies des terrains, de leurs pollutions éventuelles... Dans cette perspective, le Projet National CRITERRE a pour objectif d'améliorer les méthodes et les procédés de reconnaissance géophysique et géotechnique pour la détection des anomalies physiques ou des pollutions des terrains et le contrôle des colonnes de jet grouting.

■ INTRODUCTION

Les travaux de construction ou d'entretien des infrastructures de génie civil sont confrontés très souvent à des difficultés dues à une méconnaissance préalable des sols.

Les reconnaissances géologiques et géotechniques constituent un élément fondamental de la maîtrise des coûts du génie civil et de la diminution des risques.

Les progrès dans les méthodes de reconnaissance nécessitent la mise en commun des connaissances de nombreux acteurs (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, techniciens, scientifiques, entrepreneurs).

Dans ces perspectives, le Projet National CRITERRE avait pour objectif d'améliorer les méthodes et les procédés de reconnaissance géophysique et géotechnique pour la détection des anomalies physiques et chimiques (pollutions) des terrains et le contrôle des améliorations des sols.

Le projet a réuni 33 partenaires.

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PN CRITERRE

Une étude de faisabilité (1995-97) a défini les grandes orientations, précisé les thèmes de recherche et préparé le montage du Projet National.

Thèmes de recherche et programme

Le PN CRITERRE comporte trois grands thèmes spécifiques, plus ou moins dépendants par les techniques et les méthodes d'investigation.

Thème 1 : Reconnaissance des anomalies physiques des terrains

◆ détection des cavités à l'aide de méthodes géophysiques (état de l'art, thermographie infrarouge, ondes de surface, diagraphies électriques durant la foration...);

◆ investigation de sites linéaires par des méthodes à grand rendement : application à l'auscultation des digues à sec.

Thème 2 : Détection des pollutions des sols en génie civil

◆ détection des hydrocarbures dans les sols par des méthodes géophysiques et d'analyses de gaz;

◆ détection des pollutions des sols et des nappes induites par les interactions sols/ouvrages.

Thème 3 : Contrôle des améliorations des sols

◆ contrôle de la géométrie et du diamètre des colonnes de jet grouting par les méthodes du cylindre électrique, de l'impédance mécanique, de l'auscultation sismique;

◆ état de l'art du contrôle des injections.

Déroulement et calendrier

Le Projet National a comporté cinq tranches :

◆ 1998-2002 : quatre tranches de recherche expérimentale sur sites et en laboratoire;

◆ 2002-2003 : tranche 5 de préparation, rédaction et édition des documents de synthèse.

Budget

Le budget total prévu est d'environ 2 300 k€ HT (soit environ 15 MF HT), dont 490 k€ HT d'aide de l'Etat.

Partenaires

Le Projet National a réuni 32 partenaires, dont la liste figure ci-après :

Antea – Borie-Sae (Eiffage) – BRGM – Campenon Bernard/SGE (Vinci) – Cemagref – Cetu – Cofiroute – EDF (TEGG) – EDG – ENPC (Cermes) – FNTF – Geoscan – Geostock – GTM – Ineris – Insa-Lyon (URGC) – Intrafor – IUR/Deschiron – LCPC – LERM – ME2i - Réseau Ferré de France – Rincenat BTP – Scetauroute – SEGG – Sepia – Terrasol/Setec – Setra – SNCF – Solen – Soletanche/Bachy – Voies Navigables de France.

férents modèles conductifs-convectifs. Il en résulte que :

- ◆ l'épaisseur du "bouchon" de fermeture du puits constitue l'élément majeur susceptible d'occulter ou de révéler la présence d'une cavité en profondeur ;
- ◆ au-delà de la pénétration de l'onde thermique annuelle, il n'est pas possible de distinguer ni l'étendue, ni la profondeur d'une cavité.

Détection de cavités non-maçonnées à l'aide d'ondes de surface

En milieu rural, comme en milieu urbain très complexe, la détection de cavités souterraines est un enjeu majeur de la géophysique appliquée à la proche surface. L'objet de l'étude est de mettre à profit les savoir-faire existants au BRGM et au LCPC en matière d'auscultation par ondes sismiques de surface (ondes de Rayleigh) afin d'élaborer et de tester des méthodes de reconnaissance de cavités souterraines non-maçonnées.

a) Une première campagne de mesures a été réalisée conjointement par LCPC-BRGM sur le site d'une ancienne mine à Porte-aux-Moines dans le Morbihan (56). Les méthodes d'analyse expérimentales du LCPC et du BRGM sont traitées parallèlement. Basées sur le même principe de la distribution fréquentielle des ondes de Rayleigh avec la profondeur, la première porte sur des tirs symétriques à la cavité et analysés dans le domaine fréquentiel, la seconde permet de générer un profil par des traitements à la fois dans les domaines temporel et fréquentiel.

L'approche numérique, paramétrique, préalable a permis d'expliquer les limites de détection de la cavité qui agit comme filtre sur des ondes de Rayleigh. Les caractéristiques du filtrage dépendent de la profondeur de la cavité : plus la cavité est superficielle et plus le filtre est atténuant.

b) Une seconde expérimentation a été conduite au LCPC-Nantes, sur un modèle réduit homogène (gravier) d'une quinzaine de mètres, avec simulation d'une cavité. L'expérimentation dans un milieu homogène permet de prendre en compte les prévisions numériques sous l'aspect quantitatif, notamment en ce qui concerne l'importance de l'atténuation.

Diagraphies électriques en cours de formation

La finalité du projet de CDGA (Université de Bordeaux 1) est d'améliorer la stratégie de reconnaissance géotechnique par le couplage des données classiques de forage avec les données de résistivité du sol, permettant ainsi de reconnaître la géométrie des couches de sol ou de localiser, autour du forage, les anomalies éventuelles (lentilles, cavités...). Les mesures géophysiques effectuées en cours de foration sont des mesures électriques de résistivité du sol avec :

- ◆ injection de courant électrique dans le sol par l'intermédiaire de l'outil ou du train de tiges ;
- ◆ et réception à l'aide d'électrodes déployées en surface.

Après une simulation numérique des deux types d'injection, l'étude de faisabilité avait pour objet de réaliser des essais en conditions de chantier sur site connu (site de l'Université de Bordeaux 1, à Talence), afin de connaître les capacités réelles de détection pour les deux méthodes d'injection (ponctuelle ou linéaire).

Les expérimentations ont montré l'avantage du système à injection linéaire tant pour sa réalisation technologique que pour la précision des résultats (reconnaissance des profondeurs d'interface et variations latérales de faciès).

Diagnostic des digues

Les digues de protection contre les crues ont subi de nombreuses transformations et restaurations au cours des siècles passés. Il s'agit d'ouvrages anciens, construits par étapes et dont la structure, souvent méconnue, comporte des hétérogénéités tant dans le sens transversal que longitudinal. La reconnaissance de tels ouvrages à grand linéaire est basée sur l'utilisation des méthodes géophysiques et géotechniques. Le programme de travail, opéré sur deux sites expérimentaux par le Cemagref et les LPC, dans le cadre du Projet National, avait pour objet de développer une méthodologie optimale de caractérisation des digues à sec, à l'aide d'outils de géophysique et de géotechnique.

Expérimentations sur la digue du Cher à Savonnières

a) Après une reconnaissance visuelle rapide de la digue, trois campagnes de mesures ont été effectuées :

- ◆ prospection par méthodes électromagnétiques (EM31, EM34) pour mettre en évidence les grandes hétérogénéités longitudinales de la digue ;
- ◆ prospection par des méthodes géophysiques à investigation ponctuelle ;
- ◆ caractérisation, au moyen du Permeafor, de la perméabilité *in situ* de la digue, associée avec des mesures au pénétromètre.

b) Sur le plan méthodologique, les résultats des expérimentations permettent de retenir les points suivants :

- ◆ l'inspection visuelle préalable de la digue est essentielle ;
- ◆ les méthodes géophysiques légères permettent une caractérisation pertinente de la digue à même d'orienter l'implantation d'essais géophysiques et géotechniques plus lourds ;
- ◆ le choix des méthodes électromagnétiques EM31 et EM34 dépend de la profondeur d'investigation souhaitée ;
- ◆ la prospection magnétotellurique RMT permet

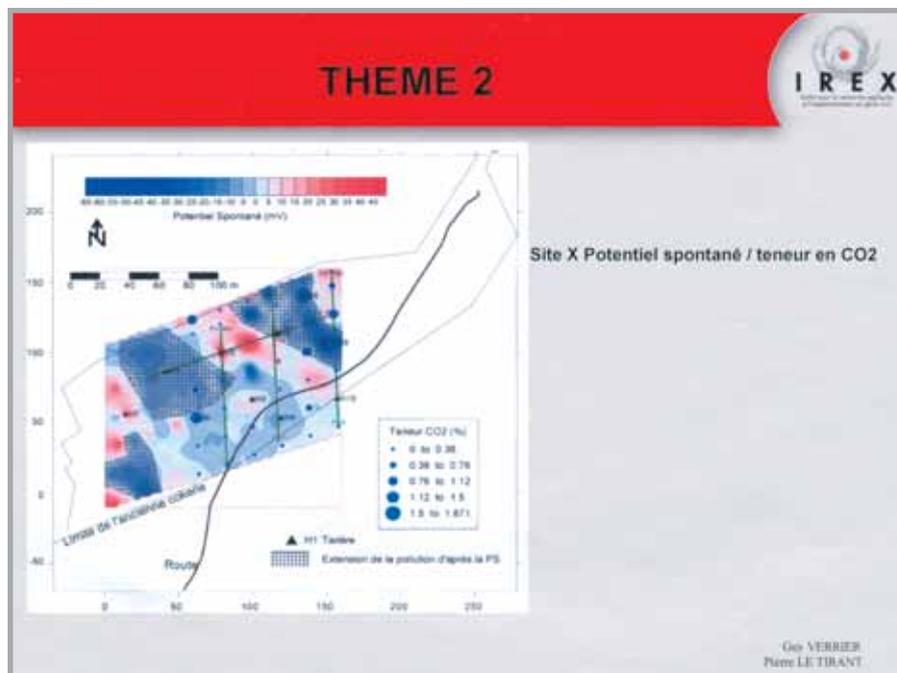


Figure 2
Thème 2. Site X
Potentiel
spontané/teneur
en CO2

Theme 2. Site X
Spontaneous
potential/CO2
content



une localisation des hétérogénéités transversales ;
 ◆ le choix des essais au pénétromètre dynamique léger ou lourd, à prévoir seulement lors d'une deuxième étape de la reconnaissance, dépend de la nature des terrains et des conditions d'accès ;
 ◆ l'interprétation géotechnique des données géophysiques nécessite toujours des forages de reconnaissance (carottés ou non).

Expérimentation sur la digue de l'Agly

Les expérimentations précédentes sur la digue du Cher ont montré l'intérêt de travailler sur une digue présentant des fortes hétérogénéités transversales. Il est également important de tester les perturbations d'origine magnétique (voie ferrée...) ou électrique (lignes électriques...).

Dans ce but de nouvelles mesures géophysiques et géotechniques ont été effectuées, en 2001-2002, sur le site de l'Agly (Pyrénées Orientales) dont les digues ont été endommagées par les crues catastrophiques de novembre 1999.

Les prospections électromagnétiques et électriques effectuées mettent clairement en évidence la zone de la brèche et la présence de secteurs d'enrochement.

■ DÉTECTION DES POLLUTIONS DES SOLS EN GÉNIE CIVIL

Les actions du Projet National ont porté sur :

- ◆ la détection des sols pollués par des hydrocarbures ;
- ◆ la détection des pollutions générées par les interactions sols/ouvrages.

Détection des sols pollués par des hydrocarbures

La difficulté de disposer d'un site d'expérimentation se rapportant au génie civil a conduit à tes-

ter certaines méthodes d'investigation sur deux anciennes cokeries. Les résultats obtenus à ce jour par différentes méthodes demeurent au stade probatoire et devront être confirmés sur d'autres sites.

Couplage des mesures géophysiques et d'analyses de gaz pour la détection de polluants organiques

Le BRGM a mené plusieurs missions de reconnaissance géophysique et d'analyse de gaz sur les deux anciennes cokeries aux caractéristiques différentes (pollution diffuse sur l'une et concentrée sur l'autre).

Des cartographies de conductivité électrique (EM31) et de potentiel spontané (PS) ont été réalisées sur l'une des zones pilotes, complétées localement par tomographie de résistivité électrique et de polarisation provoquée (PP).

Parallèlement des analyses de composés organiques gazeux volatiles (BTEX) ont été effectuées sur site et en laboratoire.

Les zones polluées, confirmées par les analyses de sol, apparaissent clairement sur les cartes de PS et de teneur en CO2. Certaines anomalies s'expliquant par " la pollution " des goudrons par des solvants conducteurs.

En conclusion il est préconisé de procéder à une cartographie par potentiel spontané et analyse de la teneur en CO2, puis de réaliser des profils ciblés de polarisation provoquée et analyse des BTEX pour cerner les concentrations de pollution par hydrocarbures.

Utilisation de la méthode TDR pour la détection des hydrocarbures dans les sols

La méthode TDR consiste à évaluer la constante diélectrique et la conductivité du sol pour déterminer, après calibration, la quantité de polluant.

Des mesures effectuées en laboratoire, par l'Insa de Lyon, sur de nombreux échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs dans les forages réalisés sur les anciennes cokeries, on peut faire les observations suivantes :

- ◆ la conductivité électrique déterminée par la méthode TDR est en général supérieure à celle mesurée sur site par la méthode électromagnétique (EM31) ;
- ◆ la constante diélectrique du sol mesurée est caractéristique de la pollution mais dépend aussi de la nature du terrain.

Détection de la pollution des sols par diagraphies électromagnétiques

Le principe de la diagraphie électromagnétique dans un forage, en développement par le LCPC, repose sur la mesure du coefficient de réflexion d'ondes électromagnétiques émises par un dipôle simple dans le forage.

Les mesures effectuées dans les sondages sur le

site de l'une des cokeries mettent bien en évidence la géologie complexe de sub-surface mais n'apportent aucune conclusion sur la pollution du sol.

Détection des pollutions dues aux interactions sols/ouvrages

L'objectif de cette action du Projet National est de proposer une méthodologie permettant de mieux évaluer le comportement des matériaux de génie civil utilisés dans le sol en contact avec les eaux souterraines et d'identifier leurs impacts éventuels. Cette action de recherche conduite par Inéris et Soltanche/Bachy a comporté :

- ◆ un état de l'art des connaissances sur les interactions sols/ouvrages ;
- ◆ une étude méthodologique pour l'estimation des impacts de coulis sur l'environnement.

Etat de l'art des interactions sols/ouvrages

Les interactions peuvent se produire dans les deux sens :

- ◆ influence du terrain sur l'ouvrage. Cette interaction potentiellement agressive est bien connue. Les éléments agressifs sont facilement identifiables par analyses chimiques ;
- ◆ influence de l'ouvrage sur le terrain et l'eau de la nappe. C'est principalement les coulis d'injection qui peuvent provoquer des pollutions importantes, soit au moment de l'injection, soit par dilution ultérieure à la périphérie du volume injecté, soit encore par entraînement dans la nappe.

Etude méthodologique de l'impact de coulis d'injection

L'expérimentation a porté sur trois coulis d'injection choisis en fonction de leur impact sur les sols et les nappes :

- ◆ un coulis de bentonite-ciment adjuvanté employé couramment pour la consolidation et l'étanchement des terrains encaissants ;
- ◆ un gel de silicate appliqué pour les mêmes applications ;
- ◆ un microciment utilisé pour injecter des milieux à faible perméabilité.

L'étude méthodologique a comporté :

- ◆ lors de la mise en place du coulis : un test d'injection sur colonne de sable pour qualifier la performance d'injectabilité du coulis ;
- ◆ après durcissement du coulis dans le sol : des tests de lixiviation pour évaluer les potentialités de relargage des composés du coulis.

■ CONTRÔLE DES AMÉLIORATIONS DES SOLS

Les actions de recherche effectuées concernent le contrôle de la géométrie et du diamètre des co-



Figure 3
Thème 3. Site de Châtillon :
exemple de colonne
partiellement déterrée

Theme 3. Châtillon site :
example of partially
unearthed column

lonnes de jet grouting, réalisées par injection de coulis à haute pression.

Une étude préliminaire de Terrasol pour l'exploitation des données de colonnes de jet grouting, réalisées pour le confortement des ouvrages du RER C à Paris, a mis en évidence des corrélations entre les paramètres d'injection (pression, jet simple ou double...) et le diamètre moyen des colonnes. Après un état de l'art des techniques applicables au contrôle des colonnes de jet grouting, les actions de recherche ont porté sur :

- ◆ la méthode du cylindre électrique (EDG, Soltanche/Bachy) ;
- ◆ la méthode de l'impédance mécanique (Rincen-BTP) ;
- ◆ la méthode de l'auscultation dynamique (LCPC) qui n'a pas fait à ce jour l'objet d'expérimentations sur des colonnes réelles sur sites.

Cette présentation se limite à la description sommaire des deux premières méthodes, largement testées sur sites expérimentaux et déjà appliquées sur chantiers.

Méthode du cylindre électrique

La méthode du cylindre électrique pour contrôler la géométrie et le diamètre des colonnes de jet grouting, développée par EDG, est basée sur la mesure du contraste des résistivités du coulis (très bon conducteur) et du terrain encaissant (en général plus faiblement conducteur).

Mise en œuvre et modélisation

de la méthode du cylindre électrique

La méthode présente le double avantage de la simplicité de mise en œuvre sur les chantiers et de la possibilité de suivre l'évolution des résistivités en cours de prise du coulis.

- a) Un tubage crépiné, portant une série d'électrodes

► régulièrement espacées (d'environ 0,4 m) est introduit et scellé dans le coulis frais suivant l'axe de la colonne de jet grouting.

b) A chaque injection de courant continu, on mesure la différence de potentiel au droit de chaque doublet d'électrodes. On obtient ainsi une auscultation tridimensionnelle du coulis et du terrain en terme de résistivités apparentes, suivant un cylindre de révolution.

c) La modélisation des résultats comporte plusieurs étapes :

- ◆ utilisation du logiciel CYLMOD pour dégrossir le problème et déterminer les variables d'inversion pertinentes (résistivités, diamètre) ;
- ◆ inversion contrôlée avec le logiciel CYLINV pour fixer les valeurs optimales des paramètres ;
- ◆ cartographie des résultats.

Expérimentations de la méthode du cylindre électrique

Outre de nombreux tests et applications sur des chantiers de jet grouting, la méthode du cylindre électrique a été mise en œuvre, parallèlement à la méthode de l'impédance mécanique, sur deux sites expérimentaux.

a) Trois colonnes expérimentales, d'environ 7 m, ont été réalisées sur le site de Souillac (chantier de l'autoroute A20), comportant 2 m de limons, suivis d'alluvions de sables, graviers et galets jusqu'à 9 m.

Les profils de diamètres estimés par la méthode du cylindre électrique traduisent :

- ◆ une grande variation du diamètre des colonnes avec la profondeur, confirmée par observation visuelle après déterrage ;
- ◆ des diamètres estimés plutôt inférieurs aux diamètres observés.

b) Quatre colonnes expérimentales d'environ 11 m ont été réalisées sur le site de Châtillon (92), dans des sables de Fontainebleau fins et moyens.

La superposition des profils calculés et mesurés après déterrage partiel est relativement correcte pour trois colonnes sur quatre.

c) Une étude de sensibilité de la méthode du cylindre électrique aux paramètres d'interface (résistivité du coulis, diamètre de la colonne, anneau de diffusion...) a été opérée pour améliorer la modélisation.

d) D'après les derniers contrôles par carottages des colonnes, sur le site du RER C, la précision du diamètre estimée par la méthode du cylindre électrique serait de l'ordre de $\pm 10\%$.

Méthode de l'impédance mécanique

La méthode de l'impédance mécanique, déjà appliquée au contrôle de l'intégrité des pieux, consiste à mettre en vibration l'élément testé au moyen d'un marteau équipé d'un capteur de force (F) et à

mesurer la vitesse particulaire (V) induite, à l'aide d'un géophone.

Mise en œuvre et modélisation de la méthode de l'impédance mécanique

a) La méthode en développement par Rincant BTP ne nécessite aucun équipement spécifique de la colonne de jet grouting. Sa mise en œuvre est rapide mais implique que la tête de colonne soit accessible et que le coulis ait fait prise. De plus, les colonnes doivent être isolées.

b) Le traitement numérique de la force (F) et de la vitesse particulaire (V), par transformation de Fourier, conduit à l'obtention de la courbe d'admittance (ou mobilité) de la colonne, tel que $N = |V/F| = 1/\rho cA$. La connaissance de la célérité c des ondes et de la masse volumique ρ du coulis, permet d'accéder à la section A de la colonne.

Les variations de section de la colonne nécessitent la décomposition du signal fréquentiel (N, f). Pratiquement, il ne semble pas possible de détecter plus de trois sections différentes.

Expérimentation de la méthode de l'impédance mécanique

Comme indiqué plus haut, la méthode de l'impédance mécanique a été mise en œuvre sur les deux sites expérimentaux de Souillac et de Châtillon.

a) Sur le site de Souillac, la présence de galets a perturbé à la fois :

- ◆ le contact marteau/tête de colonne (après dégagement des têtes à plus d'un mètre sous la surface) ;
- ◆ le contact géophone/tête de la colonne (très hétérogène) ;
- ◆ les carottages pour la détermination de la célérité des ondes.

La qualité médiocre des signaux recueillis n'a pas permis une décomposition correcte pour la détermination d'un diamètre nominal et des variations du diamètre en fonction de la profondeur. Des indications relatives à la présence d'interfaces ont pu être établies.

b) Sur le site de Châtillon (92), dans des sables de Fontainebleau, la longueur des colonnes (11 m environ) a conduit à accroître l'énergie d'excitation en remplaçant le système de marteau habituel par une masse instrumentée équipée d'un capteur de force.

Après décaissement de la partie supérieure des quatre colonnes testées, il apparaît que les diamètres prévisionnels sont assez proches (par excès) des dimensions réelles pour trois colonnes, et très supérieures pour une quatrième. La différence s'expliquerait par la saturation des signaux de force obtenus.

c) La réinterprétation des résultats de Châtillon a fourni les bases d'un nouveau programme de simulation permettant d'améliorer notablement la qualité du profil des colonnes. Par ailleurs un sys-

tème d'acquisition amélioré (par accéléromètre et réduction de la durée du choc) est actuellement opérationnel pour le contrôle des colonnes.

■ PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

En conclusion à cette présentation sommaire du Projet National, on mentionnera seulement les documents de synthèse en préparation.

Documents de synthèse en préparation

Les stades d'avancement et de validation très différents des résultats des trois thèmes du Projet National ne permettent pas la rédaction de documents de synthèse comparables. En conséquence :

◆ sur le thème 1 : deux guides pratiques sont en préparation :

- la détection des cavités par des méthodes géophysiques,
- le diagnostic des digues à sec.

◆ sur le thème 2 : deux documents de synthèse sont prévus sur l'état de l'art et les travaux effectués :

- la détection des hydrocarbures dans les sols,
- la détection des pollutions générées par les interactions sols/ouvrages.

◆ sur le thème 3 : un manuel de recommandations pratiques est en préparation sur :

- le contrôle des colonnes de jet grouting.

■ CONCLUSION

Un Projet National est un travail de longue haleine. Il présente l'avantage fondamental de réunir les partenaires de tous les horizons concernés par le sujet. Ces rencontres se font dans un excellent climat, ce qui est peut être différent dans d'autres circonstances. Malheureusement le temps consacré par chaque partenaire est très souvent pris sur l'activité professionnelle et il s'ensuit des délais de réalisation souvent longs.

Le Projet National CRITERRE n'a pas résolu tous les problèmes mais il a permis de faire des états de l'art, de tester des méthodes quelquefois utilisées dans d'autres activités et d'amorcer des suites fructueuses pour les professionnels du génie civil.

ABSTRACT

The CRITERRE National Project

G. Verrier, P. Le Tirant

Works of construction and maintenance of civil engineering structures are very often encountered difficulties because of the insufficient knowledge of soils. The CRITERRE National Project has for objective to improve methods and procedures of geophysical and geotechnical survey for (1) detection of soil faults, (2) detection of polluted soils, (3) control of jet grouting columns.

RESUMEN ESPAÑOL

El proyecto nacional CRITERRE

G. Verrier y P. Le Tirant

Las obras de construcción y de mantenimiento de las estructuras de ingeniería civil se ven situados frecuentemente ante dificultades relacionadas con un conocimiento preliminar insuficiente de las anomalías de los terrenos, de sus posibles contaminaciones, etc. Situándose en esta perspectiva, el Proyecto Nacional CRITERRE tiene por objetivo mejorar los métodos y los procedimientos de reconocimiento geofísico y geotécnico para la detección de las anomalías físicas o las contaminaciones de los terrenos y el control de las columnas de jet grouting.

L'innovation, les entreprises européennes

Les programmes européens sont des sources importantes de financement pour aider aux actions de recherche et développement. Les entrepreneurs français ont su en bénéficier, mais les récents programmes en cours sont en pleine évolution et imposent de ce fait une mobilisation plus forte des acteurs et une implication très en amont. Les besoins sont en effet nombreux et toujours là, ils ne seront satisfaits que par la participation à des projets agrégeant les efforts de tous les acteurs de la chaîne de valeur sous pilotage industriel et par la poursuite des soutiens publics, mais à une échelle intégrant Europe et nations, aux projets de recherches appliquées pour la construction.

■ INTRODUCTION

Les articles de ce numéro thématique sur l'innovation, tout autant que ceux des années précédentes, témoignent de la nécessité, de l'intérêt et de la vitalité de la communauté française des travaux publics à innover, non seulement au cours des appels d'offres par des variantes originales et mieux étudiées mais aussi par des actions de plus long terme de recherche et développement qui permettent soit de lancer une stratégie d'offres, soit précisément de pouvoir proposer des variantes malgré le peu de temps disponible lors des appels d'offres. Dans un secteur professionnel à haut niveau de risques et à faible niveau de profit, il est difficile de dégager les ressources nécessaires pour soutenir un effort conséquent de recherche et de développement. Les aides sont absolument nécessaires voire vitales, pourtant les programmes nationaux sont l'objet de restrictions drastiques. Il reste aux entreprises à se tourner vers les financements européens, mais ceux-ci ont leurs propres règles et évolutions qu'il importe de bien connaître. C'est l'objet de cet article que de présenter les opportunités et difficultés, passées et à venir de ces programmes.

■ LES PROGRAMMES-CADRES ET QUELQUES EXEMPLES RÉCENTS

La source principale de financement de R&D au niveau européen est celle des programmes-cadres (PCRD) placés sous la tutelle principale de la DG Recherche, mais aussi des DG Transports et Technologies de l'Information. Ce sont des programmes globaux servant l'ensemble des disciplines et des secteurs industriels. Le 6^{ème} PCRD vient d'être lancé l'année passée et couvrira la période jusqu'en 2006. Le 3^e couvrant 1990-1994 était d'un montant de 6,6 milliards d'€, le 4^e était de 13,1 € tandis que le 6^e est passé à 17,5 €. Dans les programmes-cadres, organisés pour l'essentiel par de grandes thématiques, les types de projets sont variés : depuis des projets de R&D finalisés, jusqu'à des actions de soutien ou de coordination en passant par la création de réseaux thématiques. Selon les statistiques disponibles, **lors du cinquième PCRD, 224 projets en relation avec le secteur de la construction ont été subventionnés**. Dans le thème "Croissance compétitive et durable", les subventions versées par la Commission européenne

au secteur de la construction représentaient de l'ordre de 6 % du total des subventions.

Les entrepreneurs français n'ont pas été absents des appels d'offres des programmes-cadres et ont bénéficié de subventions significatives à l'appui de leurs politiques technologiques. Ainsi l'on peut citer les programmes **Lama** pour un laser manportable de nettoyage des façades, **Topic** pour l'amélioration des pieux moulés, **Cosmus** pour les injections de compensation, **Navijet** pour le doublement de la productivité en jet-grouting, **ACE** pour le contrôle actif des structures, ou encore **Hiteco** pour étudier la tenue au feu des bétons, **Optel** pour la compréhension physico-chimique des émulsions. Malgré ces succès, la compétition est rude et l'effort important pour avoir quelques chances de succès. L'une des raisons tient au caractère très souvent non-sectoriel des thèmes de R&D ouverts à appel d'offres. Ainsi, dans le 5^e PCRD, les sujets liés à la construction ont été soutenus au titre des thèmes principaux suivants : nouvelles technologies de l'information et de la communication, croissance compétitive et durable (le plus souvent employé), énergie et environnement. Seul ce dernier thème présentait une action "Ville de demain" plus particulièrement orientée construction, encore que la gouvernance urbaine y était également éligible. Ceci a pour conséquence que la **compétition s'exerce principalement entre secteurs industriels** alors que les possibilités des uns et des autres à faire ou à avoir besoin d'une R&D très "high-tech" soient par exemple très inégales, et pour ne tenir compte que de ce seul critère.

■ PRÉSENCE FRANÇAISE DANS LES ORGANISMES ET RÉSEAUX EUROPÉENS

Dans ces problématiques de R&D où les offres sont libres (tant par les contenus que par les partenariats à monter), mais devant répondre à des thèmes précis, il importe de **s'impliquer très en amont** pour avoir quelque chance de voir sa proposition retenue. Ce travail doit commencer dès les phases de consultation antérieures à la préparation des programmes et à leur vote au Parlement. Il y a bien sûr toute une série de relais au niveau national (Comités de programme, Points de contact nationaux, Groupes thématiques nationaux) sur lesquels il n'est pas utile de revenir mais qu'il est tout à fait important de bien connaître (les informations se trouvent sur le site www.eurosfairer.prd.fr). Les ré-

françaises et les initiatives

Vincent Cousin



CONSULTANT
EN MANAGEMENT
DE L'INNOVATION
Processus & Innovation

seaux mis en place au niveau européen à cet effet sont également nombreux.

Les organismes professionnels et de lobbying

FIEC

La FIEC, Fédération de l'Industrie Européenne de la Construction, est un organisme fondé en 1905, antérieurement donc au traité de Rome. Cette fédération des fédérations nationales d'entrepreneurs type FFB ou FNTP en France, a un rôle de lobby actif auprès des institutions européennes pour faire valoir les besoins et desiderata de la profession des entrepreneurs de BTP en Europe. Elle travaille via un certain nombre de commissions dont l'une, la commission Innovation TEC-2, est en charge du suivi de la politique européenne dans ce domaine.

ENCORD, ENBRI, FEHRL

Les laboratoires, centres de recherche nationaux et les universités sont des acteurs incontournables de la R&D européenne. Ces organismes se sont librement constitués en un réseau dédié au lobby R&D construction qui a pris le nom de **ENBRI** (European Network for Building Research and Innovation). Il regroupe des organismes comme le **CSTB**, le **VTT finlandais**, le **BRE anglais**, le **CSTC belge**, le **TNO néerlandais** et bien d'autres encore. Faisant pendant à l'ENBRI, mais en ce qui concerne les laboratoires et centres de recherche plus spécifiquement routiers, l'on trouve le **FEHRL** dont fait partie le **LCPC**. Côté entreprises, s'est également constitué un réseau spécifique l'**ENCORD** (European Network for Construction Research and Development) qui regroupe les entrepreneurs (à raison de deux par pays) les plus en pointe dans les actions de recherche financées par l'Union européenne.

ECCREDI

Enfin, ces réseaux réalisant que leurs constitutions étaient très fragmentées autour d'acteurs très différents et partiels du secteur de la construction, ont décidé de se regrouper au sein d'un **réseau multidisciplinaire représentant l'ensemble des acteurs (ingénieurs, matériaux, contrôle, architectes etc.) dans la chaîne de valeur ECCREDI** (European Council for Construction Research, Development and Innovation), de façon à parler plus fort et d'une même voix. Cet effort a été jusqu'à présent salué de quelques succès puisque l'ECCREDI s'est vu confié par la Commission le soin d'organiser sous la forme d'un **réseau thématique EFCT** (Environ-

ment Friendly Construction Technologies) le suivi et la coopération entre projets pour le 5^{ème} PCRD. L'**ECCREDI est devenue l'interlocuteur habituel de certaines des directions de la DG Recherche** en ce qui concerne la construction.

Les réseaux techniques et stratégiques

Les groupes de travail

De nombreux groupes de travail sont régulièrement organisés par la Commission pour soutenir ses propres réflexions. Les réseaux mentionnés ci-dessus sont des relais naturels pour l'organisation de ces groupes de travail. Un groupe de travail avait travaillé, il y a quelques années, sur la compétitivité dans le secteur. Un autre dont le travail se termine, a réfléchi sur les **usages des nouvelles technologies de l'information dans le secteur**. Leurs rapports sont consultables auprès de la Commission ou auprès de la FIEC qui en a toujours suivi les travaux.

Réseaux techniques Geotecnet, Tensinet

Les réseaux thématiques sont un instrument très puissant de mise en relation des acteurs d'un domaine en Europe. L'intérêt en est de préparer les différentes visions nationales à évoluer en fonction de leurs confrontations respectives et de permettre ainsi que des technologies développées en un pays ou en un autre le soient dans une perspective européenne.

L'autre intérêt est de mettre en présence des acteurs qui ne manqueront pas de développer des idées de projet et de partenariats. **Geotecnet** est un de ces réseaux constitué autour de la géotechnique, tandis que **Tensinet** vise l'échange des connaissances dans le domaine des structures à câbles.

Les plans stratégiques

Parmi les derniers appels à proposition du 5^e PCRD, certains ont été spécifiques pour élaborer des plans stratégiques autour de certains domaines. C'est ainsi que **Roadcon a été retenu en 2002 pour élaborer celui des développements informatiques** et internet au service de la construction. **Intelcity** en est un autre couvrant lui le champ des applications informatiques pour le développement urbain. Ces travaux sont là encore très importants car, pensés comme tels, ils influenceront les thématiques des prochains appels d'offres de la Commission européenne.

E-Core

Enfin, le réseau EFCT étant venu à terme, la Commission a bien voulu le remplacer par un **nouveau réseau E-Core** soutenu par l'ECCREDI et ayant, pour la durée du 6^{ème} PCRD, des objectifs plus étendus car chargé d'**élaborer en consensus avec l'ensemble des acteurs du secteur un plan stratégique de R&D**. Un entrepreneur français (GTM Construction) est présent au niveau du partenariat de ce réseau, tandis que l'auteur de cet article est membre du groupe de référence en charge de l'audit des travaux du réseau.

Tous ces réseaux possèdent des sites internet auxquels il est aisé d'accéder. Leur consultation permet de trouver toutes les informations et contacts. Mais bien sûr le contact individuel est irremplaçable.

■ LES DÉFIS DU SECTEUR

Après avoir brossé à grands traits l'environnement institutionnel et professionnel se préoccupant des problématiques de R&D du secteur, il est nécessaire d'avoir une certaine connaissance du contenu des thèmes sur lesquels travailler. Pour cela, il convient de préciser vision et enjeux du secteur économique lui-même.

Développement harmonieux, local et général, pour une nouvelle mobilité

Dans son ensemble, le secteur se voyait essentiellement jusqu'à présent comme le producteur ou le constructeur des environnements physiques, en particulier des infrastructures, sous-tendant la majeure partie des activités économiques, de vie et de loisirs de la communauté : une route ici, un bâtiment de bureaux à cet autre endroit, des logements dans cette zone urbaine, un pont pour franchir cet estuaire, etc.

Cette vision est bien sûr toujours d'actualité, mais la **demande sociétale semble évoluer de cet énoncé purement productiviste vers une demande plus performantielle et de qualité, tout autant que de services**. A l'échelle d'un large territoire, les exigences portent aussi sur un équilibre harmonieux entre développement global et respect des contraintes locales et régionales, entre harmonie des espaces et minimisation des nuisances dérivant de la demande croissante de mobilité.

Enfin, ce n'est pas tant la production d'un objet répondant à ces normes qui est demandé que la **mise à disposition fiable et permanente d'un service** : cadre d'exercice de vie, cadre de loisir, de support de mobilité, cadre de production ou de travail répondant à une certaine performance (le lien toujours disponible qui assurera la liaison entre deux zones économiques pour les 50 prochaines an-

nées, plutôt que ce pont à haubans à quatre voies de 500 m de portée).

Une telle vision n'est certes pas nouvelle, elle est même lors de certaines réalisations déjà à l'œuvre mais elle est encore l'exception, il y faudra encore bien des progrès et efforts de R&D pour y arriver.

Une chaîne de valeur à réorganiser

Un des premiers écueils pour rendre réalisable une telle vision est celui de l'organisation du secteur.

Pour des raisons souvent historiques, **le secteur se trouve extrêmement fragmenté et organisé de façon séquentielle dans sa chaîne de valeur**, avec des clients finaux très éloignés des acteurs productifs qui n'ont de ce fait que peu de raisons de mettre tout en haut de leurs priorités celle de la satisfaction des besoins et demandes des clients finaux. **Trouver les voies et moyens organisationnels et de management pour faire remonter au niveau des exécutants – entrepreneurs et sous-traitants – les demandes et besoins des clients est un de ces défis** que l'ensemble de la profession se doit de relever. Tout acteur doit être plus préoccupé de satisfaire son client que de chercher à organiser le travail de son fournisseur. Il y a là tout un champ d'études et de recherche pour des chercheurs en sciences humaines et en organisation.

Environnement, fiabilité, productivité et emploi

Parmi les exigences sociétales auxquelles les professionnels ont à faire face, il y a celles du développement durable. Les **ouvrages que nous construisons**, ou les services que nous rendons, sont encore trop souvent des **agressions à l'environnement que nous pourrions minimiser**, ou des ouvrages perturbant pour longtemps l'environnement.

L'on entend encore parler de **retards de travaux** ou de dépassement de budgets ce qui nous donne **l'image d'un secteur peu fiable**. Les solutions passent par des **études de management et d'organisation** mais aussi bien sûr par des **techniques** permettant une meilleure **maîtrise des aléas techniques, de sol, de climat, d'activités humaines**. Il y a aussi de très nombreux progrès à réaliser en termes de **productivité et de qualité et sécurité des postes de travail**.

Nous avons là ainsi **toutes les facettes du développement durable** : l'économique avec les gains de productivité, la fiabilité, la qualité, l'environnement avec les techniques et matériaux moins polluants, le social avec la sécurité et l'ergonomie des postes de travail y compris l'usage de l'informatique.

Les nouvelles technologies

L'irruption des technologies de l'information et des télécommunications commence à envahir nos activités en particulier dans nos bureaux. Il y a encore de nombreux progrès à mettre en œuvre pour une meilleure collaboration entre acteurs, ou pour une meilleure conception-réalisation de nos ouvrages à l'image d'industries plus avancées. Mais le **domaine de nos chantiers n'a été jusqu'à présent qu'à peine effleuré**. Il est pourtant gigantesque. Le secteur dans son ensemble est confronté en la matière à un **énorme défi pour le faire entrer véritablement dans l'"économie de la connaissance"**.

La compétition européenne et mondiale

Avec tous ces éléments justifiant de nombreuses recherches nécessaires dans les années à venir, le secteur répondra à l'ensemble des préoccupations européennes détaillées dans les stratégies de Lisbonne et de Göteborg : l'économie de la connaissance la plus dynamique fondée sur le développement durable.

C'est un devoir pour les entrepreneurs français que de se mobiliser toujours plus s'ils souhaitent garder leur leadership mondial car les autres pays sont très actifs eux aussi.

Fiotech et quelques actions et acteurs américains

Fiotech est une initiative privée américaine de quelques acteurs, dont Bechtel, préoccupés à préparer une prospective pour le secteur de la construction, et à œuvrer auprès des acteurs institutionnels et privés pour qu'elle devienne réalité. Un site internet permet d'accéder à l'essentiel de leurs réflexions.

M4I et les initiatives anglaises

Depuis quelques années, le secteur de la construction en Angleterre vit un véritable *aggiornamento* après avoir établi sous la conduite de personnalités un état des lieux sans complaisance du piètre niveau de performances du secteur.

Ce pays, qui avait très largement développé une vision extrêmement contractuelle des projets et une absolue séparation des fonctions d'ingénieur et d'exécutant et qui avait ainsi beaucoup tari sa capacité d'innovation, **multiplie maintenant les initiatives de soutien à l'Innovation** (M4I ou Movement for Innovation), les actions de promotion pour le "Design & Build", les "PFI" (Public Finance Initiative) et "PPP" (Public Private Partnership) et les **innovations contractuelles plus ou moins formalisées du "Partnering"**.

Nous commençons seulement à mettre en œuvre en France cette idée de partenariat, et encore bien souvent en oubliant qu'il **doit s'appliquer non seu-**

lement aux relations maître d'ouvrage/entreprise mais aussi et surtout aux relations entreprise/sous-traitants et fournisseurs.

Le dynamisme espagnol

L'Espagne, pays décentralisé, dispose de nombreuses institutions technologiques régionales, aux ressources humaines jeunes et compétentes, résolument tournées vers les industriels. Ces organismes, rarement monosectoriels, rencontrent très souvent le succès lors des appels d'offres européens et soutiennent très activement les industriels du secteur.

Les pays nordiques

Le taux d'équipement internet et intranet des entreprises et des particuliers y est très élevé. La Finlande a d'ailleurs misé très fortement sur les nouvelles technologies avec le succès que l'on sait et la place prise en une décennie environ par Nokia dans les télécommunications. Ce même pays dispose d'un centre de recherche VTT excessivement actif auprès de ses industriels et de la Commission européenne en particulier en ce qui concerne les nouvelles technologies. Ce centre a été souvent à l'initiative de travaux très importants à la croisée des nouvelles technologies et de la construction, y compris pour les PME puisque la construction en Finlande est peu concentrée au contraire de la situation en Norvège et en Suède. Au moins sur ce plan de l'intégration des techniques informatiques et internet, **peut-on craindre que les entrepreneurs des pays nordiques ne soient très en avance sur les entrepreneurs français.**

■ DÉFIS ET OPPORTUNITÉS DU 6^{ÈME} PCRD

Le 6^{ème} PCRD poursuit l'objectif principal de la création d'un espace européen de la recherche : comment passer d'un agrégat de recherches nationales à une recherche européenne et lui donner ainsi un impact mondial à la mesure des ressources déployées, sans pour autant détruire la diversité des approches ? Le PCRD a été décomposé en un certain nombre de programmes :

- 1/Intégrer et concentrer organisé en huit thèmes et quelques actions transversales ;
- 2/Structurer ;
- 3/Renforcer les fondations de l'"espace européen de la recherche".

Le premier programme est budgété de l'essentiel des ressources financières (13,3 milliards d'€), le deuxième (aide aux échanges de chercheurs, et aux infrastructures de recherche) est doté de 2,6 milliards d'€, le troisième de 320 millions d'€. Un accent très fort a été mis sur la haute technologie, l'excellence scientifique et technique et les ruptures.



Les thématiques

L'essentiel des ressources est affecté à des thèmes de recherche spécifiques. Ceux-ci ont été désignés par une procédure de codécision entre le Parlement et le Conseil selon quelques grands défis sociétaux, recouvrant ou non les activités de certains secteurs industriels. On trouve ainsi : 1/Les sciences de la vie, génomique et biotechnologie pour la santé ; 2/Les technologies pour la société de l'information ; 3/Les nanotechnologies, les matériaux et les procédés de production ; 4/L'aéronautique et l'espace ; 5/La qualité et la sûreté de l'alimentation ; 6/Le développement durable, changement planétaire et les écosystèmes ; 7/Citoyens et gouvernance dans une société de la connaissance ; 8/L'anticipation prospective des besoins scientifiques et techniques.

Dans un tel système, le **secteur de la construction est particulièrement mal servi** au contraire de ceux de la santé (priorités 1 et 5 en quasi-totalité), des transports (un sous-thème de la priorité 6 introduit à la demande spécifique du Parlement lors des discussions parlementaires), de l'aéronautique et de l'espace (priorité 4 intégralement), de l'énergie (de nombreux sous-thèmes dans la priorité 6). Dans la rédaction actuelle, **il ne peut prétendre qu'à des sous-thèmes exprimés de façons non sectorielles à l'intérieur des priorités** : 1/N° 2 - Technologies pour la société de l'information – mais l'entreprise du secteur de la construction n'y est pas identifiée comme ayant des besoins spécifiques ; 2/N° 3 - Nanotechnologies, matériaux et procédés – mais nanotechnologies et matériaux y ont une place trop forte et les procédés de production ne sont pas introduits de façon appropriée pour la construction alors qu'en ce cas la "production" est faite de façon tout à fait originale en comparaison des autres secteurs industriels comme l'automobile et la chimie, etc. ; 3/N° 6 - Développement durable – mais ce sont via des entrées mineures pour l'énergie et la consommation énergétique dans les bâtiments, ou pour les infrastructures de transport ferrés. Cette organisation du 6^{ème} PCRD en fait toute sa difficulté puisqu'il met en **compétition frontale le secteur de la construction et tous les autres secteurs industriels** sur les thèmes des appels d'offres et donc aussi lors des évaluations, des procédures et des experts désignés. C'est là un défi d'autant plus difficile à relever que le lobby passé des entreprises du secteur, et leur niveau de participation, ont été insuffisants pour faire passer des mesures favorables lors de l'adoption du 6^{ème} PCRD.

Les Projets intégrés et les Réseaux d'excellence

Le 6^{ème} PCRD a introduit en sus deux nouveaux types d'instruments de soutien : les projets intégrés et les réseaux d'excellence.

Les premiers, destinés aux projets finalisés avec objectifs identifiables, visent à des échelles d'intégration et d'impacts plus grandes que les projets des programmes-cadres antérieurs pour obtenir des effets de masse critique. C'est là un critère assez délicat à apprécier et il est à craindre qu'il faudra quelques temps avant que cette notion ne soit stabilisée dans les esprits des divers acteurs et de la Commission. L'intégration qui est visée porte tout autant sur les disciplines scientifiques, que sur les phases de développement (R&D de base jusqu'à applications et dissémination), l'intégration public privé, le positionnement des partenaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur voire sur l'intégration financière permettant de mixer, sous la conduite des projets eux-mêmes, des financements publics, privés, nationaux, régionaux, européens ! **L'intérêt est important pour les industriels de la construction car ces projets intégrés sont pour eux l'occasion de piloter par l'aval et effectivement des efforts majeurs de recherche directement utiles.**

Les seconds, destinés au développement des connaissances via l'intégration durable des équipes de recherche, constitueront de quasi-centres de recherche européens et sont des instruments réellement innovants. Ils impliquent la mise en cohérence des politiques nationales de soutien des équipes de recherche qui participeraient à un de ces réseaux pour que celui-ci en devienne le gestionnaire par délégation. Les laboratoires d'entreprises peuvent trouver avantage à y participer pour des positions minoritaires mais qui constitueront autant d'opportunités de veille technologique de premier plan que d'occasions d'orienter utilement les travaux des équipes universitaires et des centres publics, à l'image sans doute des labos mixtes français CNRS-industrie. L'intérêt me semble faible pour les industriels de la construction sauf quelques-uns œuvrant sur des niches technologiques.

La place des PME

Le 6^{ème} PCRD fait la part belle aux PME (et selon les critères européens seules comptent les PME de moins de 250 salariés non contrôlées par des entreprises qui ne seraient pas elles-mêmes PME) puisqu'il réserve 15 % des fonds du premier programme aux seules PME, et qu'il prévoit des programmes, non thématiques, réservés à elles seules : les projets de recherches coopératives (des PME sont propriétaires des développements confiés à des centres de R&D financés à 100 %), et les projets de recherches collectives (des fédérations sont propriétaires des développements confiés à des centres de R&D financés à 100 % avec la présence de quelques PME). Ces deux programmes, dotés au total de 430 millions d'€, ne sont ni thématiques ni sectoriels. Ils sont de véritables aubaines de ce fait pour les entreprises. Le deuxième est nouveau au 6^{ème} PCRD. **Par manque d'intérêt des PME entre-**

preneurs pour la recherche, ils n'ont malheureusement pas été utilisés suffisamment par ces derniers : seules les PME non-entrepreneurs et celles des autres secteurs en ont jusqu'à présent profité.

■ LES FAIBLESSES DONT IL FAUT SE GARDER

Dans un tel contexte, **les chances du secteur** sont tout à la fois **réelles** : des lignes existent sur lesquelles exprimer les besoins de recherche du secteur, et par ailleurs pour le moins **déli-cates à faire valoir** : le secteur est en compétition frontale avec des secteurs industriels qui ont su, ou qui sont de fait, bien mieux perçus comme étant des acteurs dynamiques, propres, sûrs, fiables, modernes et dignes d'intérêt et porteurs d'avenir. Ces inconvénients résultent d'une situation historique bien souvent, ou de raisons plus profondes qui demanderont encore de longues années d'efforts avant d'y avoir porté remède. En attendant, **il importe de ne pas prêter le flanc à d'autres critiques ou d'autres faiblesses.**

La fragmentation

La fragmentation du secteur est un premier obstacle. Loin de mon propos celui de le modifier à court terme, il est cependant très préjudiciable de voir le secteur se présenter en ordre dispersé et "cacophonique" aux appels d'offres de la Commission. Les parts de marché, même des plus gros, sont la plupart du temps faibles et ne doivent pas être des excuses pour ne pas intégrer les efforts de recherche, aux niveaux internationaux voire nationaux, puis les efforts d'exploitations commerciales moyennant royalties. D'ailleurs, **les développements dont le secteur a besoin peuvent souvent être portés par des acteurs industriels extérieurs au secteur au sens strict** (matériels, logiciels, matériels de télécommunications, capteurs etc.) qui sauront d'autant plus se mobiliser **qu'ils sentiront en face d'eux un gros marché potentiel** représenté enfin par des acteurs unis dans la formulation de leurs besoins.

La sous-représentation des maîtres d'ouvrage

La difficulté mentionnée ci-dessus de l'insuffisante orientation du secteur par son aval, est tout à fait observable à travers la présence très faible des maîtres d'ouvrage, des exploitants ou des promoteurs dans les projets de R&D. Or ils sont indispensables, non pour faire eux-mêmes d'importants travaux de recherche, mais pour les orienter sur les besoins réels du marché, et pour se préparer eux-mêmes à intégrer les progrès obtenus dès leurs mises sur le marché. Ceci est d'autant plus délicat que l'on sait bien que les ouvrages sont construits

pour durer et que le risque de l'innovation y est plus grand, et surtout plus définitif, que dans les autres industries. **Les maîtres d'ouvrage doivent être des contributeurs actifs aux projets** en mobilisant des ressources financières et humaines mêmes peu importantes mais **elles y seront alors toujours déterminantes.**

La sous-représentation des entreprises

Les entrepreneurs sont présents, certes plus que les maîtres d'ouvrage mais encore beaucoup trop peu. En particulier et pour paraphraser une remarque entendue plus souvent au niveau de l'informatique : la recherche est un sujet beaucoup trop sérieux pour la laisser aux seuls chercheurs. **L'implication des entrepreneurs doit être massive au niveau des projets et il ne devrait pas y avoir de projets de recherche appliquée qui ne soient pas dirigés des industriels**, ou des acteurs destinés à le devenir. C'est à cette seule condition que les résultats de la recherche se verront réellement adoptés par les acteurs en position d'offres sur le marché. Ce sont les demandes qui germent dans les parties les plus opérationnelles des acteurs qui s'avèrent toujours être celles qui sont mises en œuvre le plus rapidement, une fois développées par les spécialistes.

Les lignes de brisure bâtiment-génie civil, PME et grands groupes

S'il y avait à chercher des segmentations à l'intérieur de l'activité de la construction face à sa clientèle (**j'excepte donc les éventuelles séparations dans la chaîne de valeur qui, si elles étaient maintenues lors de travaux de recherche, ne seraient pas productrices du progrès collectif** demandé par la société), l'on arriverait aisément à séparer le bâtiment, le génie civil et les services. Les cultures y sont en effet largement différentes, les clients, les acteurs, les sous-traitants de spécialité et les marchés aussi. Pourtant, les matériaux de base sont les mêmes, les exigences de développement durable et de sécurité ou de fiabilité les mêmes pour tous, le management par projet la règle au moins pour les deux premiers, et les entreprises de plus en plus intégrées sur tous ces segments. Bâtiment et génie civil ressemblent beaucoup à une activité de service pratiquant le "surmesure" sous la surveillance du client. L'impact des nouvelles technologies y est partout radical et du même type pour toutes les activités des "back-offices". Le risque vis-à-vis du sol le même pour tous et faisant appel aux mêmes techniques pour le traiter. **Il n'est en fait que très peu de progrès fait dans l'un de ces segments qui n'ait pas immédiatement trouvé son application aussi dans l'autre.** Quant aux

services, ils se placent "à la suite" ou dans la continuité des ouvrages neufs, si ce n'est pas aussi à préparer le passage à la construction de nouveaux ouvrages en une boucle continue, ou à opérer des retours d'expériences croisées pour améliorer la performance globale. Pour toutes ces raisons, **les observateurs extérieurs ne comprendraient pas une compétition interne du secteur qui se situerait à cette échelle.**

C'est également la même chose pour PME et grands groupes. La fragmentation est un bien là où elle est le résultat d'une fragmentation extrême d'une demande qui peut aller jusqu'à des ménages demandant l'amélioration de leur habitat, ou jusqu'à de petites communes ou de petits industriels demandant de petits ouvrages, mais elle ne se justifie plus au-delà. Un grand groupe a également besoin de PME et de développer avec elles des partenariats à long terme sources de créations de richesses communes. Et **le secteur dans son ensemble a besoin d'intégration industrielle pour opérer des développements significatifs et une exploitation intensive des progrès et innovations réalisées.**

■ CONCLUSION

Les **opportunités sont nombreuses** pour les entrepreneurs français mais comme vous avez pu le voir **difficiles** à saisir du fait d'une écoute obtenue de la part des autorités encore insuffisante, d'une compétition acharnée de la part des autres secteurs, de très nombreux défis et ruptures à obtenir et ce malgré de nombreux succès passés et un poids économique majeur.

Le succès ne peut s'obtenir qu'en bonne intelligence avec des politiques publiques actives de soutien à la R&D. Ainsi que le constate une récente étude allemande commandée par le BMBF à l'institut de recherche macroéconomique ZEW : "*le soutien public stimule considérablement les investissements privés en recherche et développement (R&D) dans les entreprises... un euro de dépenses... dans la recherche privée s'accompagne de plus d'un euro investi dans la R&D par les entreprises elles-mêmes...* [l'étude souligne ainsi] *le rôle fondamental de mobilisation et d'entraînement des soutiens publics à la recherche des entreprises. De plus, les entreprises concernées sont celles qui brevètent le plus souvent et qui lors d'une introduction dans les marchés enregistrent les plus nombreux succès commerciaux*".

Il ne faudrait pas que cette intégration souhaitée de l'espace européen de la recherche se traduise par **une baisse globale des soutiens à la recherche** dans la construction et des impacts obtenus. Il est donc **vital pour la profession et en particulier pour les entrepreneurs de continuer à rassembler les efforts nationaux et à les agréger à ceux de nos partenaires européens.**

ABSTRACT

Innovation, French companies and European initiatives

V. Cousin

European programmes are important financing resources to support RTD activities. French contractors managed to benefit from those resources, however the new programmes are very innovative and demand a strong upstream mobilisation of stakeholders. Needs are indeed always there, and they will be satisfied only thanks to the active participation of all actors to the value chain under industrial leadership and thanks to the continued public support of RTD construction projects, at a scale integrating European and national policies.

RESUMEN ESPAÑOL

La innovación, las empresas francesas y las iniciativas europeas

V. Cousin

Los programas europeos constituyen importantes fuentes de financiamientos para venir en ayuda de las acciones de investigación y desarrollo. Los contratistas franceses han sabido beneficiarse de esta situación, pero los recientes programas en curso se encuentran en plena evolución e imponen, consecutivamente, una movilización más importante de los protagonistas y una implicación en las etapas anteriores del proyecto. Efectivamente, las necesidades son muy numerosas y siempre presentes, y únicamente se verán satisfechas por la participación en proyectos que aúnen los esfuerzos de todos los protagonistas de la cadena de valor bajo pilotaje industrial y por la prosecución de las ayudas públicas, pero ello a una escala que integra a Europa y las naciones en los proyectos de investigaciones aplicadas para la construcción.

Recherche et innovation dans la profession routière

Pour les entreprises routières, l'innovation, appuyée par la recherche, est une nécessité qui peut leur permettre d'évoluer dans un contexte de plus en plus concurrentiel.

La finalité d'une innovation étant son application sur chantier, seul un vrai partenariat avec les clients, basé sur un intérêt commun et des relations de confiance peut favoriser la capacité des entreprises à innover. Si l'innovation fait partie du "domaine réservé" de l'entreprise, il existe un réel besoin de "recherches partagées" destinées à établir des référentiels par rapport auxquels les entrepreneurs pourront valoriser leurs produits et à développer des outils (logiciels ou systèmes de mesures) reconnus pour comparer les techniques entre elles.

L'innovation "à la française", qui représentait un exemple unique de mise en œuvre d'une politique volontariste et partenariale s'appuyant à la fois sur des recherches développées en interne par les entreprises à partir de besoins clairement exprimés par ses clients et sur leur expérimentation *in situ* est actuellement "en panne" en raison de l'interprétation restrictive du Code des marchés publics qui rend quasi-impossible la passation de marchés de gré à gré même lorsqu'il s'agit de techniques innovantes.

■ LES ENJEUX

Le besoin d'évoluer, et donc d'innover, est une constante de la nature humaine mais dans un contexte économique tendu, comme c'est le cas actuellement, la recherche et les innovations sont devenues une nécessité, voire, bien qu'exclusivement volontaire, une obligation pour les entreprises qui veulent perdurer et se développer en France et à l'international.

La conjonction de plusieurs événements, en exigeant une compétitivité accrue des entreprises, a eu pour conséquence de créer un contexte, certes difficile, mais également favorable à la recherche et à l'innovation :

- ◆ développement d'exigences croissantes de la part des donneurs d'ordres liées à l'apparition de besoins nouveaux formulés par les usagers ;
- ◆ exigences de **performances** des produits appliqués et non plus de **moyens** exigés pour leur mise en œuvre ;
- ◆ diminution généralisée des crédits d'investissement et tendance future à privilégier les travaux d'entretien et d'aménagements ;
- ◆ montée d'une concurrence de plus en plus forte au plan national comme international avec la nécessité absolue d'abaisser les coûts.

■ SPÉCIFICITÉ DU CONTEXTE FRANÇAIS

Les entreprises

S'il est un point important à relever, c'est bien la particularité des entreprises françaises qui ne se

sont jamais contentées d'être simplement applicatrices de produits courants recommandés par différents prescripteurs mais qui se sont dotées de moyens propres importants (directions techniques étoffées, laboratoires d'études et de recherches, moyens de contrôle...). Elles ont pu ainsi progresser sans cesse dans la recherche et la mise au point de nouveaux produits, valoriser leur savoir-faire au niveau de l'application tout en accentuant leur compétitivité.

Pour elles, l'innovation a toujours été considérée comme un facteur de **progrès**.

Le cadre partenarial

Une recherche ou une innovation n'ont de sens que si elles débouchent sur un développement industriel. Seule la généralisation d'une technique peut assurer la rentabilité, indispensable pour crédibiliser le système. En effet, les efforts financiers engagés dans la recherche appliquée aux techniques innovantes doivent être justifiés tant par les représentants du maître d'ouvrage, que par les services techniques d'entreprises vis-à-vis de leur direction générale.

Ce contexte a conduit à un réel partenariat, basé sur un intérêt commun et favorisé par un climat de confiance qui privilégie des exigences de performances finales plutôt que des exigences de moyens engagés.

Ce partenariat est rendu possible par une communauté de pensée des différents intervenants dans le domaine de la route, une bonne répartition des compétences entre l'Administration et les entreprises, une concertation régulière et un dialogue ouvert.

Philippe Gresset



PRÉSIDENT DE L'USIRF
ET DU CFTR

Louis Maison



PRÉSIDENT
DE LA SECTION
DES TECHNIQUES
ROUTIÈRES (STR)



Le Comité français pour les techniques routières (CFTR)

La concrétisation formelle de ce partenariat est la création du CFTR en juin 1998. Le CFTR est un organisme paritaire (association loi 1901) organisé en deux collèges : les donneurs d'ordre (maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre) et les entreprises et industriels.

L'association a pour objet, dans le domaine de la conception, construction et l'entretien des chaussées, des ouvrages de terrassement et d'assainissement routier :

- ◆ l'établissement d'une expression partagée de l'état de l'art ayant vocation à servir de référence pour les professionnels de la route ;
- ◆ la contribution au progrès et à la qualification des produits, des procédés, des techniques, des moyens et des matériels.

Le CFTR est organisé en trois comités sectoriels :

- ◆ **Méthodologie**, qui :
 - établit, publie et diffuse des documents exprimant l'état de l'art,
 - procède aux réflexions sur les orientations dans le domaine de la recherche,
 - assure la coordination de groupes d'échanges et de réflexions nationaux.
- ◆ **Avis**, qui :
 - élabore les Avis techniques (AT) sur l'aptitude à l'emploi des produits et procédés,
 - élabore, pour les matériels, des Certificats d'aptitude (CATM) ou autorisations d'emploi,
 - assiste le Setra, en tant qu'organisme d'expertise, pour l'établissement des Agréments techniques européens (ATE).
- ◆ **Qualification/Certification**, qui :
 - délivre les agréments Laboroute pour les laboratoires routiers,
 - organise des essais croisés ou d'intercomparaison entre laboratoires,
 - assistera les organismes notifiés pour le marquage CE.

■ L'INNOVATION : UNE ACTION PERMANENTE

A travers la recherche, la démarche de l'innovation répond aux préoccupations essentielles de l'entreprise :

- ◆ satisfaire le mieux possible les exigences de ses clients ;
- ◆ trouver des solutions plus performantes mais également moins coûteuses afin d'améliorer sa rentabilité ;
- ◆ prendre de l'avance sur la concurrence dans des créneaux moins explorés et donc accroître ses parts de marché ;
- ◆ améliorer son image de marque et sa notoriété

au plan national mais également à l'exportation ;

- ◆ motiver son personnel en développant en interne un mécanisme propice à l'émergence des innovations mais également à leur application et à leur développement commercial.

C'est pour toutes ces raisons que les entreprises travaillent à la fois en interne dans des domaines ou sur des sujets qui peuvent leur permettre d'avoir un avantage concurrentiel sur les autres entreprises mais ont également besoin de mener des recherches communes au niveau de la profession.

■ NÉCESSITÉ D'UNE RECHERCHE COMMUNE ENTRE LES ENTREPRISES

Objectifs d'une recherche commune

C'est souvent au niveau de la diffusion d'une technique innovante que peuvent apparaître quelques difficultés et lourdeurs :

- ◆ si la technique proposée paraît trop innovante, les maîtres d'œuvre peuvent avoir des difficultés à estimer son efficacité ; elle peut donc ne pas être admise à concourir comme solution variante dans les appels d'offres ;
 - ◆ les donneurs d'ordres sont réticents à donner une sorte d'exclusivité pour une technique ou un produit à une seule entreprise, ce qui peut les conduire à banaliser l'innovation en la faisant appliquer par d'autres entreprises qui n'auraient pas engagé les mêmes efforts de recherche.
- Il existe donc une réelle nécessité de recherche partagée entre les entreprises sur des sujets de connaissances générales qui ont pour but de :
- ◆ constituer un référentiel validé à partir duquel chaque entreprise pourra valoriser les performances de ses propres produits ;
 - ◆ suivre l'évolution du contexte normatif, notamment au niveau européen ainsi que l'application de nouvelles réglementations ;
 - ◆ accroître les connaissances générales sur un sujet, à partir desquelles chacun pourra explorer les voies qui lui paraissent les plus intéressantes ;
 - ◆ développer des outils de mesures communs qui permettront de comparer les techniques entre elles ;
 - ◆ définir précisément des pathologies ou des problématiques permettant à chaque entreprise de proposer des solutions adaptées.

La Commission technique "Routes" de la FNTP

Cette commission, qui est une branche de la Commission technique générale de la FNTP, permet d'accompagner financièrement les programmes de recherches communes envisagées par les entreprises routières au sein de la Section des tech-

niques routières (STR) de l'USIRF. Les partenariats peuvent être multiples (laboratoires des Ponts et Chaussées, universités, CEBTP...).

Les principaux sujets traités ces dernières années et qui ont fait l'objet de rapports ont été :

- ◆ création d'un logiciel "TH Routes" sur l'incidence de la température sur les chaussées ;
- ◆ rhéologie des liants modifiés et spéciaux (1^{re} phase) ;
- ◆ caractérisation des graves-émulsion structurantes ;
- ◆ calage sur chantiers de la nouvelle circulaire DR sur "l'Uni des chaussées" ;
- ◆ comparaisons des normes d'essais français et européens ;
- ◆ qualification de nouvelles méthodes d'essais.

Les sujets d'étude en cours sont :

- ◆ mesure du bruit de roulement en continu (mise au point d'une méthode d'essai) : il s'agit de la poursuite de la contribution aux recherches pluriannuelles menées dans le cadre de la Commission "Bruits et Vibrations" du LCPC afin de mettre au point une méthode de bruit en continu facilement praticable et économique ;

- ◆ rhéologie des liants modifiés et spéciaux (2^e phase) : il s'agit de poursuivre les essais afin de définir des critères de caractérisation de ces liants qui soient en relation avec le comportement des enrobés bitumineux ;

- ◆ étude de l'analyse du cycle de vie des chaussées : après la 1^{re} phase concernant la fabrication des enrobés bitumineux du point de vue de l'ACV, du recueil et de l'exploitation des données à partir de 16 centrales d'enrobage, il s'agit de comparer ces résultats à l'analyse faite pour 1 km de route par l'école des Mines de Paris et de constituer une banque de données routières ;

- ◆ le comportement au feu des enrobés bitumineux : le comportement au feu des enrobés est mal connu. Il s'agit, après avoir fait le point sur la réglementation applicable, de retenir ou définir des essais à partir du matériel existant ou à créer et de tester différentes familles d'enrobés bitumineux ;

- ◆ les essais d'aptitude par intercomparaison (EAPIC) : l'objet est de faire réaliser par tous les laboratoires candidats (dans le cadre du CFTR) un essai prédéterminé afin de leur permettre d'évaluer la précision et la validité de leurs résultats pour cet essai ;

- ◆ évaluation critique des matériels d'essais : suite à l'application des normes d'essais européens, il s'agit d'étudier les matériels qui s'imposeront à la communauté technique française dans les années à venir.

Ceci afin de maintenir le niveau technique des laboratoires français, qu'ils soient de l'entreprise ou de l'Administration ;

- ◆ Composés organiques volatils (COV) : dans le cadre de la réglementation sur les émissions des centrales d'enrobage, il s'agit d'évaluer la teneur en COV dans les fumées et les parcs à liants.

L'expérimentation sera faite sur un échantillon de centrales avec prélèvements et analyses ;

- ◆ interprétation des profils d'uni : la nouvelle circulaire de la Direction des Routes est parue en 2001. Un mode opératoire LCPC de mesure a été mis au point et permet d'attribuer une note d'uni, mais il n'y a pas actuellement de possibilité d'interpréter les signaux mesurés afin de les relier à des défauts réels de la chaussée.

Le suivi de chacun de ces thèmes est assuré par un coordonnateur, membre de la STR.



Mesures de bruit

Noise measurement

La recherche dans le CFTR

Dans le cadre du comité sectoriel "Méthodologie", tous les partenaires présentent, une fois par an, leurs besoins de recherches afin de déterminer les sujets d'intérêt commun pouvant aboutir à un partenariat.

Cela a été le cas notamment pour la rhéologie des liants modifiés, la mesure du bruit en continu, les essais croisés...

■ L'INNOVATION "EN PANNE"

Alors que l'innovation répond aux besoins essentiels de l'entreprise, qu'elle contribue à son dynamisme en lui permettant de satisfaire ses objectifs et que les utilisateurs continuent à exprimer des besoins, l'interprétation restrictive du Code des marchés publics (CMP) a rendu la Charte de l'Innovation, telle qu'elle existe actuellement, inapplicable !

Hormis l'ASFA (Association des sociétés françaises d'autoroutes), les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre sont réticents à appliquer les procédures existantes pour une question de mise en concurrence.

Il n'y a donc plus de sites d'expérimentation mis à disposition des entreprises. Le partage des risques



Perméamètre de chantier
Site permeameter

► n'existe plus et la validation des produits en développement s'avère problématique.

La recherche en cours au sein des entreprises et du réseau technique risque de se ralentir de manière significative et d'entraîner une perte de motivation des différents acteurs. Il faut également craindre une perte d'image et un recul au niveau international.

Cet état de fait est d'autant plus regrettable que le nouveau CMP est censé favoriser l'ouverture aux solutions "variantes" et que le Setra a publié un guide technique permettant aux maîtres d'œuvre d'apprécier la recevabilité des propositions de variantes pour les chaussées neuves du réseau routier national.

■ CONCLUSIONS

Il est absolument indispensable de disposer rapidement d'un cadre réglementaire favorable à l'innovation et de mettre en place les mesures d'accompagnement correspondantes.

L'USIRF s'y emploie, en liaison avec la Direction des Routes, et a fait des propositions concrètes dans le cadre de la consultation en cours sur le CMP.

Il en va du niveau technique et de la santé économique des entreprises françaises.

ABSTRACT

Research and innovation in the highway engineering industry

Ph. Gresset, L. Maison

For the highway engineering firms, innovation, supported by research, is a necessity for them to develop in an increasingly competitive context.

Since the purpose of an innovation is its application on site, only a genuine partnership with customers, based on mutual interest and a relationship of confidence can encourage companies' innovative ability.

While innovation forms part of the company's "reserved domain", there is a real need for "shared research" designed to establish benchmarks relative to which contractors will be able to enhance the value of their products and develop recognised tools (software or measuring systems) for comparing techniques with one another.

French-style innovation, which represented a unique example of the application of a proactive policy in partnership supported both by research performed in-house by companies based on needs expressed clearly by their customers and on their experimenting in situ, is currently in trouble due to the restrictive interpretation of the "Code des Marchés Publics" (Public Contract Law) which makes it virtually impossible to sign negotiated contracts even in the case of innovative techniques.

RESUMEN ESPAÑOL

Investigación e innovación en la profesión viaria

Ph. Gresset y L. Maison

Para las empresas viarias, la innovación, con el apoyo de la investigación, constituye una necesidad que puede permitir evolucionar en un contexto cada vez más competitivo.

Dado que la finalidad de la innovación corresponde a su aplicación en las obras, únicamente una verdadera asociación con los clientes, fundada en un interés común y relaciones de confianza, podrá propiciar la capacidad de innovación de las empresas.

Si bien la innovación forma parte del "coto cerrado de la empresa", existe sin duda alguna la necesidad de una verdadera asociación de "investiga-

ciones compartidas" destinadas a establecer referentes respecto a los cuales los contratistas podrán revalorizar sus productos y desarrollar sus equipos de trabajo reconocidos (softwares y sistemas de mediciones) para poder comparar las técnicas entre sí.

La innovación según el sistema francés, que representaba un ejemplo único de implementación de una política resuelta y asociativa, fundándose simultáneamente, en investigaciones desarrolladas por vía interna por las empresas tomando como punto de partida las necesidades claramente expresadas por sus clientes y su experimentación in situ, se encuentra actualmente "en avería" debido a la interpretación restrictiva del Código de contratación pública que hace casi imposible los contratos por el sistema de contratación directa, incluso cuando se trata de técnicas innovadoras.

Appia fait rimer "recherche" et "développement durable"

Jean-Pierre Antoine
DIRECTEUR R&D
Société Appia

Jérôme Marcilloux
DIRECTION R&D
Société Appia

Cet article présente comment les efforts de Recherche et Développement consentis par le groupe Appia ont permis de faire évoluer les formulations des bitumes fluxés, des bitumes modifiés fluxés et des émulsions utilisés pour les travaux routiers vers des produits meilleurs d'abord pour la santé des opérateurs, puis pour l'environnement.

Il décrit également les différentes phases d'industrialisation qui ont permis à Appia de décliner toute sa gamme en utilisant de l'ester méthylique de tournesol.

On trouve aussi l'état des productions qui permet de confirmer la fiabilité technique des différents produits ainsi commercialisés.

L'article paru dans un précédent numéro de *Travaux* (n° 772 de février 2001) décrivait la politique de Recherche et Développement du groupe Appia [1]. Y étaient mentionnées, outre les activités de recyclage, les techniques à froid, la lutte contre le bruit, la mise au point d'une gamme de produits bitumineux utilisant un monoester d'huile végétale. Ce dernier nous paraît illustrer parfaitement la prise en compte des enjeux du développement durable dès la phase de conception d'un nouveau produit.

■ ANALYSE DE L'ETAT DE L'ART

Lorsqu'on analyse les activités de la route sous l'angle de la sécurité des hommes, des installations et de l'environnement, une préoccupation revient régulièrement : celle des fluxants. Ces produits, issus, le plus souvent, de l'industrie du charbon ou du pétrole, ont pour fonction de modifier la viscosité du bitume aux températures d'usages afin de faciliter sa mise en œuvre. Après évaporation, le liant retrouve les caractéristiques originales du bitume.

Cette préoccupation constante chez Appia dès le début des années 90, a d'abord contribué à rechercher la substitution de produits comportant des phrases de risque R 40 ou R 45 (phrases indiquant un caractère cancérigène) par des fluxants non étiquetés. Cela a nécessité des efforts importants de Recherche et Développement pour modifier les formulations afin d'assurer la pérennité des revêtements après mise en œuvre. Toutefois, plusieurs points restent préoccupants. Tout d'abord, ces nouveaux fluxants non étiquetés à l'origine ont souvent commencé à l'être et à arborer des étiquettes Xn ("nocif"). Par ailleurs, sur le fonctionnement même

des produits, la remontée en consistance des bitumes fluxés se faisant, quelle que soit l'application, par évaporation des fluxants, l'impact environnemental est sans doute significatif notamment en terme de COV (composés organiques volatils), même pour les volumes concernés.

Le marché français représentant à peu près 30000 t par an, les enjeux économiques et environnementaux paraissent importants.

■ CONCEPTION

Le principe de séchage des peintures est alors apparu intéressant ; en effet, après application, la filmification de certaines d'entre elles se fait par siccation à l'air. Cette réaction est particulièrement rapide avec l'huile de lin. Par ailleurs, les biodiesels souvent cités pour leur vertu écologique sont eux-mêmes constitués d'un mélange de gasoil et d'ester méthylique de colza. Cette compatibilité chimique laissait augurer un bon comportement avec le bitume. Les premiers essais au laboratoire ont montré que les huiles végétales mais plus encore les esters méthyliques qui en résultent étaient d'excellents fluxants.

■ ANALYSE DU CYCLE DE VIE

En matière d'environnement, il convient de se méfier des solutions trop évidentes. Afin de valider l'intérêt d'une solution de substitution des fluxants pétrochimiques par des esters méthyliques de colza (EMC), des analyses de cycle de vie comparées ont été réalisées. Faute de données suffisantes sur les fluxants pétroliers, le gasoil a été comparé à l'EMC.

Photo 1
Répandage d'un liant
pétrofluxé en juillet 2001
(température à l'ombre :
32 °C)

*Spreading an oil-fluxed
binder in July 2001
(temperature
in the shade : 32 °C)*



Photo 2
Répandage
d'un liant biofluxé
sur le même site,
à la suite de la planche
de la photo 1

*Spreading a bio-fluxed
binder on the same site,
following the test section
in photo 1*



► Si l'utilisation d'engrais conduit à un impact sur les eaux légèrement meilleur pour les produits pétroliers, cet avantage est amené à se réduire par la mise en place d'une agriculture raisonnée. Par contre, la disparition des COV ainsi que le bilan très largement positif en matière de gaz à effet de serre (le colza est un piège à CO₂ du fait de la photosynthèse) rend la substitution des fluxants pétroliers par les esters méthyliques d'huiles végétales très intéressante.

Si l'on ajoute que les oléagineux sont renouvelables et qu'en matière de santé et de sécurité, les avantages sont incontestables (absence de toute phrase de risque, point éclair à 180 °C au lieu de 100 °C), le développement de cette technologie devenait quasiment indispensable.

■ LIANTS ANHYDRES DE RÉPANDAGE

L'impact des liants de répandage en terme de COV mais aussi de problème sanitaire et de sécurité

a justifié que la substitution commence par eux. Après des essais au laboratoire en 1996 et 1997, l'ester méthylique de tournesol (EMT) a été retenu et les premières expérimentations chantier ont été réalisées en 1997. Les formulations ont été validées en 1998 pour une industrialisation en 1999. A ce jour, la totalité des besoins en terme de liant anhydre de répandage est couverte par la gamme de produit Bioflux/Bioflex. On remarque que le procédé de modification avec réticulation dans le bitume, mis au point par Appia a trouvé ici une application particulièrement adaptée. Il permet en effet, en limitant les quantités de polymère nécessaires à une modification efficace, d'avoir recours à des procédés dits de solutions concentrées et de fabriquer les liants routiers avec une forte productivité. Depuis 1999, plusieurs dizaines de milliers de tonnes de ce type de liants ont été fabriquées représentant plus de 20 millions de mètres carrés de chaussée recouverte avec des résultats tout à fait similaires à ceux des liants anhydres.

■ EMULSION DE RÉPANDAGE

Dans la foulée des travaux réalisés pour les liants anhydres, la formulation d'émulsions de répandage a été mise au point en 1999 pour une industrialisation en 2000. Là encore, des résultats de chantiers sont identiques à ce qu'ils étaient avec l'ancienne technologie. Plusieurs millions de mètres carrés ont également été appliqués.

■ ENROBÉS STOCKABLES

2001 a été l'année de mise en route des liants fluxés à l'EMT pour les enrobés stockables. A ce jour, plus de 100 000 t ont été fabriquées. Les liants peuvent être anhydres (point éclair du liant supérieur à 200 °C) ou en émulsion. Une fois de plus, les nouveaux produits sont semblables, en terme d'utilisation et de caractéristiques, aux anciens.

■ CONCLUSION

L'apparition de la gamme de liants fluxés à l'ester méthylique de tournesol constitue une avancée considérable dans l'industrie routière. Elle permet de s'affranchir des problèmes sanitaires pour les équipes de chantier, de tout risque d'explosion à la fabrication, aussi bien qu'au stockage et à l'utilisation. Enfin, son apport est net en terme de diminution de la pollution notamment atmosphérique. Pour toutes ces raisons, bien que propriétaire du brevet n° 97 11 079 [2] qui protège cette technologie, Appia, en accord avec le fournisseur d'EMT a décidé de la rendre accessible à tous.

Pour ce faire, la société Oléoroute a été créée, qui commercialise l'Oléoflux 18 sous licence.

■ RÉFÉRENCES

- [1] B. Héritier, J.-P. Antoine - Revue *Travaux* n° 772 pages 78-79.
[2] Brevet Appia n° 97 11 079.

ABSTRACT

Appia performs research for sustainable development

J.-P. Antoine, J. Marcilloux

This article describes how the research and development efforts made by Appia Group have made it possible to develop the mix designs for fluxed bitumens, fluxed modified bitumens and emulsions used for road works into products that are better, first for operator health, and then for the environment.

It also describes the various stages of industrialisation that have enabled Appia to deploy its entire produce range using sunflower methyl ester.

There is also a production report which confirms the technical reliability of the various products thus marketed.

RESUMEN ESPAÑOL

Appia pone en rima Investigación y Desarrollo sostenible

J.-P. Antoine y J. Marcilloux

Se presenta en este artículo cómo los esfuerzos de investigación y desarrollo emprendidos por el grupo Appia han permitido hacer evolucionar las formulaciones de los asfaltos fluxados, de los asfaltos modificados fluxados y asimismo, las emulsiones utilizadas para las obras viarias, y ello hacia productos mejores tanto para la salud de los operarios como para el medio ambiente. También se describen las diversas etapas de la industrialización que han permitido a Appia declinar toda su línea de productos utilizando el éster metílico de girasol.

Asimismo, se describe el estado de las producciones que permite confirmar la fiabilidad técnica de los diversos productos comercializados de este modo.