

P.03 ACTUALITÉ

L'ifsttar s'installe au mobiLAB,
le cluster des mobilités
innovantes

P.12 FOCUS

IPIN rassemble les
experts de la navigation
intérieure à Nantes

P.16 RENCONTRE

Nicolas Bardou, directeur
technique de la maîtrise
d'ouvrage de Cofiroute

trajectoire

LE MAGAZINE DE LA RECHERCHE, DE L'EXPERTISE ET DES MÉTIERS DE L'IFSTTAR



P.06 DOSSIER

Sécurité et maintenance
des ouvrages d'art:

**L'IFSTTAR
EN PREMIÈRE
LIGNE**



IFSTTAR

sommaire



P.03 ACTUALITÉ :

L'Ifsttar s'installe au mobiLAB

P.04 CARREFOUR SCIENTIFIQUE :

- Quel cadre juridique pour le véhicule du futur ?
- Anticiper la fulgurance des crues
- Mieux informer et accompagner les voyageurs du réseau francilien
- Biomimétisme et construction additive : que pouvons-nous apprendre des abeilles ?

P.06 DOSSIER :

Sécurité et maintenance des ouvrages d'art : l'Ifsttar en première ligne

P.11 À L'INTERNATIONAL :

L'Ifsttar au pays du Shinkansen

P.12 FOCUS :

Géolocalisation intérieure : l'Ifsttar rassemble les experts internationaux à Nantes

P.13 THÈSE/HDR :

« Affiner le potentiel géothermique des grandes métropoles »

P.14 EXPERTISE :

Confort et aviation civile : l'expertise de l'Ifsttar prend son envol

P.15 NOTE DE LECTURE :

Le recyclage du béton : état des lieux et perspectives

P.16 RENCONTRE :

Nicolas Bardou, directeur technique de la maîtrise d'ouvrage de Cofiroute

AGENDA

6-7 FÉVRIER • Journées Techniques Route (JTR) 2019, Cité des Congrès, Nantes.

Plus d'infos : <http://jtr.ifsttar.fr>

7 FÉVRIER • Inauguration du mobiLAB, cluster des mobilités innovantes à Satory, Versailles.

Plus d'infos : p.3

8-12 AVRIL • 1st Infrastar Training School.

Plus d'infos : www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/lactualite-ifsttar/toute-lactualite/fil-info/article/1st-infrastar-training-school/

20 MAI • EPFW 2019 – 2nd annual EUROPEAN FRICTION WORKSHOP.

Plus d'infos : www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/lactualite-ifsttar/tout-lagenda/evenement/article/epfw2019/

BRÈVE

EPFW 2019 : 2ND ANNUAL EUROPEAN FRICTION WORKSHOP

Du 20 au 24 mai 2019, le laboratoire EASE (Laboratoire Environnement-Aménagement, Sécurité et Eco-conception) du département AME de l'Ifsttar organise le 2nd annual EUROPEAN FRICTION WORKSHOP dédié à l'adhérence des chaussées (routières et aéronautiques). Celui-ci se tiendra sur le site nantais de l'Ifsttar, à Bouguenais.

Cette nouvelle édition permettra d'effectuer des mesures d'étalonnage d'appareils de mesure d'adhérence venant des quatre coins du monde et d'échanger sur les méthodes d'harmonisation de ces mesures. Elle comprendra également une conférence au cours de laquelle seront présentés plusieurs résultats de recherche en relation avec l'adhérence.

↳ **Plus d'infos sur** <https://friction.sciencesconf.org>

Trajectoire le magazine de l'Ifsttar



NUMÉRO 16 - DÉCEMBRE 2018

Ifsttar 14-20 bd Newton,

Cité Descartes 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

Site Internet : www.ifsttar.fr - Contact : communication@ifsttar.fr - Directrice de publication : Hélène Jacquot-Guimbal

Rédacteurs en Chef : Philippe Tamagny, Antoine Frémont - Coordination : Émilie Vidal - ISSN : 2256-6325 - Réalisation : www.efil.fr - Rédaction : www.kogito.fr - Impression : Jouve

Crédits photos : Ifsttar, P01. Getty Images, P03. Valero Gadan architectes, P04. Joël Yerpez, Lionel Allorge, Paul Schrepfer, P08. Rémi Jouan, P09. Hisao Suzuki, P10. Cerema Normandie-Centre



10-31-1316 / Certifié PEFC / pefc-france.org

L'fsttar s'installe au mobiLAB, le cluster des mobilités innovantes

Nouveau pôle de recherche destiné à accompagner l'innovation de la filière automobile yvelinoise, le mobiLAB accueille ses premiers locataires sur le plateau de Satory : les équipes de l'institut Vedecom, de l'fsttar et de Transdev. Chercheurs et ingénieurs disposent ici d'un nouvel outil pour développer et partager leurs travaux sur les mobilités du futur.

6300 m² sur 4 niveaux associant salles de formation, laboratoires, ateliers, bureaux, simulateurs, fab-lab... Voilà le nouvel espace de travail et de collaboration proposé par le mobiLAB aux acteurs de la recherche automobile. Implanté au cœur du pôle industriel de Versailles-Satory, face aux pistes d'essais, ce nouveau bâtiment de recherche et de formation est consacré aux mobilités innovantes. « Avec 45 000 emplois dont 15 000 chercheurs, les Yvelines représentent le 1^{er} département automobile de France, rappelle Jean-Marie Ripart, directeur de la société d'économie mixte (SEM) Satory Mobilité. Regrouper la recherche sur un même site est essentiel pour contribuer à l'attractivité de la filière et à son développement, en particulier autour du véhicule autonome. » C'est bien pour répondre à cette ambition que le mobiLAB a été créé. Officiellement inauguré le 7 février 2019, cet ensemble immobilier est le fruit d'un partenariat original entre acteurs publics et privés réunis au sein de Satory Mobilité, une SEM patrimoniale associant le Département des Yvelines, la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc, la Caisse des Dépôts, le Crédit Mutuel Arkéa, Cofip et des acteurs industriels comme Renault et Valeo.

Des PME devraient également s'y ajouter. Ensemble, ils vont y mener de nouveaux travaux et collaborations, notamment dans le cadre de programmes scientifiques communs. Le lieu est destiné à cela : mutualiser des recherches, encourager les synergies, favoriser l'incubation d'entreprises et le transfert technologique... « Le mobiLAB a été conçu et réalisé avec et pour les chercheurs afin de répondre au mieux à leurs besoins » souligne Jean-Marie Ripart. En guise de 1^{er} démonstrateur, un service expérimental et gratuit de navettes électriques autonomes est déjà proposé sur le plateau de Satory. Baptisées Litchi et Framboise, deux navettes (EZ10) de 12 places chacune assurent le dernier kilomètre entre l'arrêt de bus « Cité des Cadres », le mobiLAB et les entreprises avoisinantes : Nexter, Arquus, PSA Motorsport...

Le nouvel espace de travail et de collaboration proposé aux acteurs de la recherche automobile



**UN BÂTIMENT
CONÇU ET RÉALISÉ
AVEC ET POUR LES
CHERCHEURS**

Financé à hauteur de 17 millions d'euros, le bâtiment accueillera à terme près de 300 chercheurs et ingénieurs dont plus de la moitié sont rattachés à Vedecom. Cet institut de recherche dédié à la mobilité individuelle décarbonée et durable a en effet choisi le mobiLAB comme nouveau siège social. Installées depuis novembre dernier, ses équipes sont aujourd'hui rejointes par celles de l'fsttar et de l'opérateur Transdev.





Quel cadre juridique pour le véhicule du futur ?

Au-delà des aspects techniques, le déploiement du véhicule automatisé sur la voie publique soulève une multitude de questions juridiques. Directrice de recherche au Laboratoire Mécanismes d'Accidents de l'Ifsttar, Michèle Guilbot les explore depuis 2006.

Comment indemniser les victimes d'un accident impliquant une voiture autonome ? Comment imputer les responsabilités ? Qui aura accès aux données personnelles collectées pendant la conduite ? Encore en phase d'expérimentation et de développement, le véhicule autonome, ou plus simplement automatisé, pose déjà de nombreuses interrogations d'ordre juridique. Spécialiste en droit de la circulation routière, Michèle Guilbot s'intéresse en particulier à **3 sujets clés : la délégation de conduite, les responsabilités et la protection des données personnelles**. « *Le conducteur est supposé avoir le pouvoir de direction et de contrôle de son véhicule*

mais il va en être dessaisi par des fonctions automatisées : direction, accélération, freinage, etc. » prévient la chercheuse. À ce jour, l'automatisation d'un véhicule est classée en 5 niveaux. À partir du 4^e niveau, l'humain pourra ne plus superviser la conduite. Au niveau le plus élevé, le système sera capable d'effectuer toutes les tâches de conduite, avec ou sans conducteur. « *Actuellement, la convention de Vienne sur la circulation routière (1968) n'autorise pas la circulation de véhicules "autonomes" de niveau 3 et plus. Des travaux sont en cours au sein des groupes de travail WP1 et WP29 de la Commission économique pour l'Europe des*

Nations-Unies (ECE-ONU) pour faire évoluer les textes sur la circulation routière et la réglementation technique automobile. » La confidentialité des données personnelles des usagers de ces véhicules connectés et communicants représente une autre problématique à traiter afin de respecter les réglementations, notamment le RGPD et celles portant sur la cybersécurité. Dans ce cadre, les travaux de Michèle Guilbot nourrissent par exemple les débats pour la protection des données engagés par la CNIL.

↳ Michèle Guilbot
michele.guilbot@ifsttar.fr

Anticiper la fulgurance des crues

Mieux prévoir les crues soudaines pour limiter leurs dommages. Voilà l'objectif du projet collaboratif PICS auquel participent des chercheurs de l'Ifsttar.

Finistère, Aude, Var, Lozère... On ne compte plus les départements frappés par des crues soudaines aux conséquences parfois dramatiques. « *Ces crues-éclair sont dévastatrices car elles concernent de petits cours d'eau qui débordent rapidement*, explique Olivier Payrastré, hydrologue au laboratoire Eau et Environnement. *Par*

ailleurs, l'absence de capteurs dans ces rivières, la méconnaissance des champs d'inondation et l'incertitude des prévisions météo rendent difficile l'anticipation de ces phénomènes. » Pour mieux y faire face, une trentaine de météorologues, hydrauliciens ou économistes sont réunis au sein de PICS (Prévision immédiate intégrée des impacts des crues soudaines). Ce projet ANR coordonné par l'Ifsttar a pour objectif de « *concevoir et évaluer un système de prévision des crues soudaines offrant jusqu'à 6 heures d'anticipation et permettant une estimation directe des impacts* ». Les scientifiques travaillent à perfectionner et à coupler des modèles de prévision des pluies et débits des cours d'eau, des zones inondées et des impacts socio-économiques des



Crue du Vidourle à Villetelle

crues. Assureurs, secours, autorités locales, gestionnaires de réseaux de transport... Les utilisateurs finaux sont aussi impliqués dans le projet « *afin de favoriser le transfert vers de futurs systèmes opérationnels* ».

↳ <http://pics.ifsttar.fr>
Olivier Payrastré
olivier.payrastré@ifsttar.fr

Inondation du 31 mai 2016 à Saint-Rémy-lès-Chevreuse





Mieux informer et accompagner les voyageurs du réseau francilien

Enjeu majeur pour les métropoles, la mobilité multimodale est au coeur du projet collaboratif IVA (Information Voyageurs Augmentée) dont l'Ifsttar est partenaire. Mené en Île-de-France, il vise à proposer des services innovants pour faciliter les déplacements des usagers des transports en commun.



Application mobile basée sur une intelligence artificielle, calculateur d'itinéraires avec indicateurs prédictifs, modèles d'estimation des flux et des comportements de mobilité... Autant d'outils et de travaux développés dans le cadre d'IVA afin d'optimiser la mobilité multimodale sur l'ensemble du réseau francilien. Lancé en 2017 pour une durée de 4 ans, ce projet coordonné par l'IRT SystemX associe l'Ifsttar et des acteurs privés : Île-de-France Mobilités, la SNCF, Kisio (filiale numérique du groupe Keolis) et l'entreprise SpirOps. « *L'objectif est de valoriser les données de mobilité pour enrichir*

l'information voyageurs, en particulier en cas de situation perturbée : incidents, retards, forte affluence... » résume Latifa Oukhellou, directrice de recherche au sein du laboratoire GRETTIA (Génie des Réseaux de Transport Terrestres et Informatique Avancée). Dans ce cadre, l'Institut s'intéresse à deux objectifs scientifiques mêlant *big data* et sciences humaines et sociales. Le premier porte sur la modélisation et la prévision des flux des voyageurs à l'aide de modèles d'apprentissage statistique. Il doit notamment permettre d'estimer la charge sur le réseau en cas d'événements perturbants comme un match ou un concert. Le second objectif vise à mieux comprendre le comportement des usagers, en particulier l'impact de l'information voyageurs : « *En cas de*

perturbation sur une ligne de métro, l'usager va-t-il patienter, se reporter sur une autre ligne ou bien préférer emprunter un bus ou encore avoir recours au covoiturage ? Nos travaux s'appuient à la fois sur l'analyse de big data anonymisées et sur des études comportementales » précise la chercheuse. À terme, IVA doit permettre aux opérateurs de transport de délivrer en temps réel une information fiable, adaptée, individualisée et contextualisée. « *Depuis son smartphone, le voyageur pourrait planifier ses déplacements en fonction des conditions de trafic mais aussi de ses contraintes et préférences, comme le souhait d'avoir une place assise.* »

↳ **Latifa Oukhellou**
latifa.oukhellou@ifsttar.fr

Biomimétisme et construction additive : que pouvons-nous apprendre des abeilles ?

Transposer les méthodes de construction des ruches par les abeilles à la construction additive. C'est le défi fixé par l'équipe du projet BioAdd. Elle s'intéresse en particulier au comportement mécanique de la cire et à une forme spécifique maîtrisée par les insectes : l'hexagone.

Comment optimiser l'utilisation de matériaux dans la construction comme le font les abeilles pour bâtir leur ruche ? La question anime les chercheurs engagés dans BioAdd, projet « exploratoire » de l'I-Site Future. « *Les abeilles ont optimisé le process de construction de leurs ruches*, détaille Jean-Michel Torrenti, directeur du département MAST (Matériaux et structures) de l'Ifsttar. *Pour réaliser un plan au pavage régulier, elles utilisent la structure qui nécessite le moins de matière : l'hexagone.* » D'abord réalisées sous

forme de cellules cylindriques, les alvéoles de cire se transforment en empilement compact d'hexagones sous l'effet de phénomènes physiques, notamment l'évolution de la température de la ruche lors de sa construction (environ 37°C). Afin de reproduire cette transformation en structure ordonnée, les chercheurs s'attachent aujourd'hui à caractériser le comportement mécanique de la cire. Leurs résultats contribueront à modéliser ce comportement et à évaluer s'il peut être imité dans la construction additive, l'impression 3D

à partir de matériaux cimentaires. « *On peut imaginer déposer des gouttes de matériau et mettre en jeu des forces physiques pour construire des structures ayant des formes et une utilisation de matière optimisées* » s'enthousiasme le chercheur.

↳ **Jean-Michel Torrenti**
jean-michel.torrenti@ifsttar.fr

 **BioAdd :**
youtu.be/h1SJb_BPFP4





**Sécurité et maintenance
des ouvrages d'art:**

L'IFSTTAR EN PREMIÈRE LIGNE

Plus que précieux, son avis est souvent déterminant. Acteur majeur de la maintenance des ouvrages d'art de génie civil, l'Ifsttar est régulièrement consulté par la DGITM, les collectivités territoriales, les gestionnaires d'autoroutes, les entreprises, les acteurs du nucléaire...

L'expertise scientifique et technique de ses chercheurs contribue à surveiller et entretenir de nombreuses infrastructures du paysage français. Exemples d'interventions et de travaux de recherche.

Viaduc d'Echinghen



Pont de l'île de Ré

Fissures, déformations, corrosion, tassement du sol... Les ouvrages d'art sont sujets à de multiples pathologies dont les conséquences peuvent être dramatiques. En atteste la catastrophe du pont Morandi à Gênes le 14 août dernier. Les images du viaduc brisé et son dramatique bilan (43 victimes) ont fait le tour du monde. « *Cet effondrement tragique a marqué les esprits et ravivé les préoccupations sur la sécurité des ponts* » commente Bruno Godart, directeur adjoint international du département Matériaux et Structures (MAST). « *Depuis, une liste de l'état des grands ponts du réseau routier français a été publiée dans le domaine public. C'est une première* » souligne l'expert. Ces ponts font l'objet d'un contrôle annuel, d'une visite d'évaluation spécifique tous les 3 ans et d'une inspection détaillée tous les 6 ans en moyenne. Malgré cette surveillance, des incidents surviennent parfois dans l'hexagone : affaissement d'un mur de soutènement du viaduc de Gennevilliers en mai dernier, rupture d'un câble de précontrainte du pont de l'île de Ré en septembre (lire page 8)...

Quelles sont les causes de ces désordres? Comment réparer l'ouvrage et prédire son comportement à long terme? Ces questions nécessitent bien souvent l'éclairage et les conseils d'experts, en particulier ceux de l'Ifsttar et du Cerema, réunis au sein de comités techniques à l'invitation des services de l'État, de collectivités ou de sociétés d'autoroutes. L'intervention des chercheurs et ingénieurs

GARANTIR UN BON COMPORTEMENT ET UN BON VIEILLISSEMENT DES MATÉRIAUX

consiste par exemple à prélever des matériaux pour les analyser en laboratoire, à recommander des méthodes d'auscultation et de surveillance des ouvrages (lire encadré), à proposer des techniques de réparation... Acteur scientifique incontournable sur ces sujets pointus, l'Ifsttar s'appuie sur **plus de 30 années de recherche et d'expertise** en gestion et maintenance des ouvrages d'art de génie civil : ponts et viaducs, tunnels, ouvrages de soutènement, écluses, barrages, enceintes de confinement de réacteurs nucléaires... Aux côtés du

Cerema, l'Institut contribue notamment à définir les procédures de surveillance et d'entretien des ouvrages du réseau routier national. Actualisées et présentées sous la forme d'instructions techniques détaillées par type d'ouvrage (ITSEOA), ces procédures guident les choix de gestion des services de l'État et des Départements mais aussi de la SNCF ou de la RATP.

« *Nos travaux contribuent à améliorer nos connaissances des phénomènes de dégradation des matériaux comme la réaction sulfatique interne du béton, de la durabilité des composites ou des techniques de réparation comme la projection de BFUP (lire page 9)* » détaille Bruno Godart. Les interventions de l'Institut auprès des gestionnaires d'ouvrages ou des entreprises de réparation **enrichissent et valorisent par ailleurs ses travaux de recherche** : « *Nos constats sur le terrain alimentent une démarche de prévention des problèmes pour les ouvrages neufs, mettent en évidence les besoins d'amélioration des connaissances et nous aident à améliorer les méthodes d'essais afin de garantir un bon comportement et un bon vieillissement des matériaux.* » En lien direct avec les professionnels du secteur, l'Ifsttar partage ses connaissances au travers d'articles ou de guides méthodologiques ainsi qu'au sein de fédérations et d'associations nationales et internationales. L'Institut participe aussi activement à la certification des matériaux et à l'élaboration des normes européennes dans le domaine du génie civil. Finalité : écarter tout risque d'endommagement et préserver le patrimoine.

UN CAHIER INTERACTIF POUR L'AUSCULTATION DES OUVRAGES D'ART

Proposé sous la forme d'un site web, ce cahier interactif élaboré par l'Ifsttar et le Cerema propose un **recueil de fiches techniques consacrées aux méthodes d'auscultation et de diagnostic** des ouvrages d'art. Quel est le principe de la méthode? Ses modalités d'applications? Son coût et sa disponibilité? Didactique, pratique et actualisé, l'outil s'adresse aux maîtres d'ouvrage, aux gestionnaires d'infrastructures de transport, aux bureaux d'études... Il s'intéresse à la fois aux structures, aux fondations, aux équipements et aux éléments de protection et aborde l'ensemble des principaux matériaux constitutifs des ouvrages : béton, métal, maçonnerie, bois.

www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CI11/

LE PONT DE L'ÎLE DE RÉ AUSCULTÉ

Sollicités par le Département de la Charente-Maritime (17), deux agents du laboratoire SMC (Structures Métalliques et à Câbles) de l'Ifsttar participent à l'analyse d'un incident survenu dans les voussoirs du pont de l'île de Ré : la rupture d'un câble de précontrainte. Objectif de leur mission d'expertise : déterminer les causes du désordre.

Alors qu'il a fêté ses 30 ans en 2018, le pont de l'île de Ré est placé sous surveillance accrue... En septembre dernier, lors d'une visite de contrôle, il a été constaté la **rupture d'un des 36 câbles de précontrainte dans l'un des 6 viaducs constitutifs du pont**. Le Département prend des mesures immédiates de restriction de la circulation et sollicite l'intervention des services spécialisés du réseau scientifique et technique de l'État, en

l'occurrence les experts du Cerema et de l'Ifsttar. Sur place, Laurent Gaillet et Michel Grasset, respectivement directeur et technicien supérieur du SMC, partagent la même observation : « *La zone de rupture se situe au niveau de la tête d'ancrage. La corrosion est l'une des causes de la rupture de ce câble de 19 torons de fils d'acier* ».

Réunis au sein d'un comité technique avec leurs homologues du Cerema, les agents de l'Ifsttar conseillent le Département sur le remplacement du câble rompu, sur les **méthodes d'inspection et de diagnostic des autres câbles** et préparent des recommandations afin de définir les contours du chantier de réparation. Dans un premier temps, le câble défectueux devrait être remplacé avant le printemps 2019. « *La présence de mousse polyuréthane semble être à l'origine de cette*



rupture, soulignent les deux experts. *Les désordres au niveau des gaines de précontrainte, notamment au niveau de leur liaison, est une pathologie déjà rencontrée...* » Elle fait d'ailleurs l'objet d'un groupe de travail commun avec le Cerema afin de mieux répondre aux problématiques et attentes des gestionnaires d'ouvrages.

APRÈS 30 ANS,
LE PONT DE L'ÎLE
DE RÉ EST PLACÉ
SOUS SURVEILLANCE
ACCRUE...

RÉSISTER À LA CORROSION

C'est la première cause de pathologie des ouvrages d'art. Face à la corrosion, 3 choix sont possibles : protéger l'acier contre la corrosion, utiliser des aciers résistants à la corrosion ou les remplacer par d'autres matériaux non susceptibles à la corrosion. Sur le terrain des matériaux durables, l'Ifsttar explore deux réponses à la corrosion : les aciers autopatinables et les polymères renforcés de fibres (PRF).

La réaction chimique est implacable et parfois source de drames. Du métal, de l'eau et de l'oxygène produisent invariablement une oxydation et un composé : la rouille. Le phénomène est bien caractérisé et il est possible de retarder son apparition. La parade

communément déployée est d'isoler les éléments métalliques pour empêcher l'oxydation. Ainsi, les structures métalliques sont recouvertes de peinture et l'enrobage béton est optimisé pour protéger les armatures du béton armé. Sur ces sujets, l'Ifsttar produit

des savoirs scientifiques essentiels mais ne néglige pas pour autant d'autres stratégies. Au sein du laboratoire Structures Métalliques et à Câbles (SMC), des chercheurs proposent de diversifier le panel des solutions à la corrosion.

Une solution est élémentaire : se passer de métal ! Sans acier, pas de rouille. Au laboratoire SMC, Sylvain Chataigner, en collaboration avec d'autres laboratoires du département MAST (EMGCU et Navier), conduit des recherches sur une alternative à l'acier : les polymères renforcés de fibres (PRF). Ces matériaux composites, alliant une matrice polymère à des fibres naturelles ou synthétiques, peuvent remplacer les armatures métalliques ►►►

Passerelle de Bussy Saint-Georges en acier autopatinable
(laboratoire Structures métalliques et à câbles)



►►► dans les structures en béton. Pour les PRF, la preuve de concept est faite mais l'utilisation reste encore marginale. « *Nous avons un recul de 15 à 20 ans mais nous devons encore construire un retour d'expérience.* » C'est ce à quoi œuvre Sylvain Chataigner en participant à l'élaboration d'un guide au sein de l'Association Française de Génie Civil. Invulnérables à la corrosion et plus légers que l'acier, on pourra compter sur les PRF dans les environnements les plus critiques comme les environnements marins ou les infrastructures soumises aux sels de déverglaçage.

Seconde solution, cette fois pour les aciers de structure: rendre l'acier autoprotecteur. Dans un bureau mitoyen, Jean-Michel Morel participe à mettre en avant l'acier autopatinable, un acier à corrosion superficielle: « *En l'espace de 3 à 5 ans, une couche d'oxydes adhérente et cohérente se forme à sa surface et le protège de la corrosion atmosphérique.* » Développé aux États-Unis dans les années 1930, cet acier n'a jamais véritablement pris son essor en France. Son inévitable couleur rouille et quelques déboires sur des bâtiments et des équipements de la route ont freiné son utilisation dans

UNE SOLUTION EST ÉLÉMENTAIRE: SE PASSER DE MÉTAL

les structures. Aujourd'hui, sa protection naturelle qui rend inutiles les coûteux et polluants chantiers de remise en peinture et son aspect naturel qui plaît aux architectes lui donnent un regain d'intérêt. Dans le cadre d'une thèse avec RTE, Jean-Michel Morel est au travail pour mieux cerner les limites d'emploi des aciers autopatinsables.

BFUP, LE NEC PLUS ULTRA DES BÉTONS

Dernier aboutissement de la longue histoire du béton: les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUP). Plus durables, plus résistants, ils donnent naissance à des architectures élancées et aériennes comme celles du Mucem ou de la nouvelle gare de Montpellier. L'Ifsttar contribue à leur développement depuis plus de 20 ans, et à leur normalisation qui s'est conclue en 2018 pour la France.

Depuis les années 1990, l'usage du béton a subi une révolution. De matériau pesant et massif, il a pu devenir l'expression de la nervosité et de l'aérien. Et ce, grâce aux BFUP. Trois grandes caractéristiques les distinguent: un rapport entre eau et liant diminué pour la compacité, des granulats mieux sélectionnés pour la résistance et l'incorporation de fibres métalliques pour la ductilité, la capacité à plier sans rompre. Avec ces renforts fibrés, les BFUP résistent à la traction. La conception est libérée du ferrailage secondaire. « *Avant les BFUP, les valeurs limites d'utilisation des bétons s'arrêtaient à 60 Megapascal. Avec les BFUP nous atteignons*

130 à 250 MPa » souligne François Toutlemonde, directeur adjoint en charge de la Recherche et du Développement du département MAST. Il est l'un des artisans du succès des BFUP. Depuis la preuve de concept en 1995, le chercheur participe à développer la connaissance et à mettre au point un consensus technique sur ces matériaux. Des années de travail couronnées en 2018 par la publication de la dernière des trois normes d'utilisation des BFUP: « *La France est le premier pays à s'appuyer sur des normes si complètes.* » Elles vont permettre toutes les utilisations des BFUP sur les chantiers de demain.



Couverture en BFUP incrusté de pavés de verre de la nouvelle gare TGV de Montpellier Sud-de-France

LES EXPERTS DES MATÉRIAUX COMPOSITES EN CONSTRUCTION RÉUNIS À PARIS



L'événement a rassemblé plus de 300 chercheurs et spécialistes issus d'une quarantaine de pays

Organisée par l'Ifsttar, l'ENPC et l'Université Lyon 1 en juin dernier à Paris, la 9^e édition de CICE (Conférence internationale sur les composites à matrice polymère renforcée de fibres (PRF) en génie civil) a permis de dresser le bilan des dernières avancées dans le domaine. Pendant 3 jours, les participants ont échangé sur des sujets tels que le renforcement d'ouvrages métalliques par composites collés, les renforts composites à matrice cimentaire (FRCM) ou encore les structures « tout-composite ».

Les actes de la conférence sont disponibles sur www.iifc.org.

LA ROBUSTESSE STRUCTURALE EN QUESTION

Les « Eurocodes », normes européennes de conception des ouvrages de génie civil, sont clairs : « Une structure doit résister à des événements exceptionnels (incendies, explosions, séismes, chocs, conséquences d'une erreur humaine...) prévisibles ou non, identifiables ou non, sans présenter de dégâts disproportionnés par rapport à la cause d'origine ». C'est ce que l'on nomme la robustesse structurale des ouvrages d'art.

Mais à partir de quelle étendue des dégâts deviennent-ils disproportionnés ? D'après quels critères qualifier et quantifier la robustesse structurale des ouvrages ? Sur quelles méthodologies s'appuyer pour prendre en compte les spécificités de chaque type de structure et les risques associés ? Ces questions sont au cœur des travaux sur

la robustesse des ouvrages menés au laboratoire EMGCU (Expérimentation et Modélisation pour le Génie Civil et Urbain). Pour y répondre, 35 chercheurs et ingénieurs aux spécialités diverses (mécanique et dynamique des structures, mécanique des matériaux, modélisations, fiabilité des structures), participent à l'étude des risques (fonctionnels ou accidentels, naturels ou non), de la durabilité et des mécanismes de vieillissement. Ils simulent, avec des modèles numériques corrélés à des dispositifs expérimentaux, la propagation d'endommagement jusqu'à la ruine et mesurent et/ou quantifient la déformation des matériaux, la redistribution des efforts, etc. Les équipes étudient également les ouvrages existants et donc la prévision des effets du vieillissement, en



tenant compte de l'augmentation du trafic, des nouvelles mobilités (trams, pistes cyclables, *platooning* de poids lourds...) et du changement climatique. Leurs objectifs : enrichir les connaissances et élaborer, à partir de critères fiables, des recommandations destinées aux professionnels pour l'évaluation de leur parc d'ouvrages, le calcul (ou recalcul) des infrastructures.

DIAGNOSTIQUER ET RÉPARER LES OUVRAGES D'ART EN MAÇONNERIE



80 % des tunnels du métro parisien, 40 % des ponts du réseau ferré, 70 % des murs de soutènement du réseau routier national... Les structures en maçonnerie représentent une part importante du patrimoine bâti français. Robustes et nécessitant peu d'entretien, leur construction remonte pour la plupart au XIX^e siècle. Aujourd'hui, ces ouvrages présentent donc quelques signes de vieillesse : disparition du liant, rupture dans les blocs, fissures... « Leurs pathologies ne sont

pas nécessairement dangereuses mais comme ces structures sont mal connues, elles sont sur-représentées parmi les ouvrages présentant d'importants désordres » détaille Anne-Sophie Colas, ingénieure de recherche au laboratoire EMGCU de l'Ifsttar. **Ses travaux sur ce sujet peu étudié en France contribuent à développer des outils destinés aux gestionnaires.** Ils s'articulent autour de trois volets. Le premier consiste à mieux comprendre les pathologies des ouvrages en maçonnerie et à prédire leur évolution. « Avec la RATP par exemple, nous avons développé un modèle permettant de représenter au mieux le comportement des voûtes des tunnels et d'évaluer comment les fissures évolueraient en cas de travaux à proximité¹. » Le 2^e champ de recherche porte sur l'élaboration de calculs fiables pour évaluer la stabilité des ouvrages. « Nous avons notamment élaboré une méthode, fondée sur la théorie du calcul à la rupture,

pour déterminer la charge limite qu'un mur de soutènement peut supporter. Elle figure aujourd'hui dans les règles professionnelles de la construction en pierre sèche². » Pour valider leurs modèles et calculs, les chercheurs de l'Institut font notamment appel aux artisans de l'École de la pierre sèche à L'Espinas (48) qui réalisent des structures expérimentales à taille réelle. Enfin, le 3^e volet est consacré à l'analyse du cycle de vie des ouvrages en maçonnerie. L'Ifsttar est par ailleurs à l'origine, avec l'ENPC, des Journées nationales maçonnerie, copilote un groupe de travail de l'Association Française de Génie Civil sur le sujet et fait partie de MaGIS, le groupement d'intérêt scientifique sur les maçonneries.

1. Thèse d'Omar Moreno Regan, Université Paris-Est, 2016.

2. Thèse de Benjamin Terrade, Université Paris-Est, 2017.

L'Ifsttar au pays du Shinkansen

Du 23 au 26 octobre 2018, des chercheurs de l'Ifsttar ont rendu visite à leurs partenaires japonais afin d'échanger sur leurs collaborations en cours et à venir. Retour sur ce *scanning tour* nippon.



La délégation de l'Ifsttar devant l'Université de Tokyo

Ingénierie géotechnique, évaluation de la sécurité et suivi de l'état des structures, recyclage des matériaux, BIM pour le génie civil... Entre l'Ifsttar et ses partenaires japonais, les thématiques de recherche communes sont nombreuses. « Nos relations ont débuté en 2009 avec des échanges entre le *Railway Technical Research Institute (RTRI)* et notre département *GERS* » rappelle Agnès Jullien, directrice des Affaires Européennes et Internationales. Depuis, une convention de collaboration a été signée avec le RTRI, un partenariat s'est développé avec le PWRI (*Public Works Research Institute*) et des relations se sont établies avec le PARI (*Port and Airport Research Institute*) et les universités de Kyoto ou de Kwansai Gakuin. Les échanges avec le Japon se sont aussi récemment développés sur diverses thématiques en sciences humaines et sociales touchant à la

sécurité routière et aux comportements de mobilité. Ces 10 dernières années, une quinzaine de rencontres entre les délégations nippones et françaises ont ainsi eu lieu. **La dernière s'est tenue au Japon du 23 au 26 octobre.** Emmenée par Jean-Bernard Kovarik, directeur général adjoint, la délégation de l'Ifsttar se composait d'une dizaine de directeurs, chercheurs et ingénieurs des départements MAST, GERS et AME. Objectifs de ce voyage baptisé « *scanning tour* » : consolider les collaborations, en initier de nouvelles et élargir les thématiques des partenariats pour inclure davantage de départements de l'Institut.

Première étape du *scanning tour* : l'ambassade de France. « *L'occasion de présenter les activités de l'Ifsttar afin d'être identifié plus rapidement comme un contributeur potentiel à des séminaires franco-japonais,*

L'OPPORTUNITÉ D'INITIER DES COLLABORATIONS DURABLES AVEC UNE PRESTIGIEUSE UNIVERSITÉ JAPONAISE

indique Agnès Jullien. *Cela permet également de mieux connaître les soutiens à la coopération scientifique et technique et de faciliter la mobilité des doctorants et des chercheurs.* » La délégation française a ensuite rencontré Kenji Watanabe, ancien chercheur au RTRI aujourd'hui à l'Université de Tokyo, et son superviseur, le professeur Koseki, directeur des relations internationales et géotechnicien. « *Une belle opportunité d'initier des collaborations durables avec une prestigieuse université japonaise* » se réjouit la directrice des Affaires Européennes et Internationales. Le tour scientifique s'est poursuivi par **le renouvellement de la convention signée en 2014 avec le PWRI** afin de développer des collaborations sur des sujets comme les crues et inondations ou les matériaux composites. En parallèle, une partie de la délégation participait à un symposium franco-japonais de la JATP (Japan Association of Traffic Psychology) sur la perception du risque et la réalité virtuelle. Enfin, la délégation a rendu visite au partenaire historique de l'Ifsttar, le RTRI, afin « *d'échanger sur de nouvelles perspectives de collaborations avec les départements COSYS, MAST et AME.* »

Géolocalisation intérieure

L'Ifsttar rassemble les experts internationaux à Nantes

Fin septembre, l'Institut réunissait les experts industriels et académiques de la navigation intérieure à l'occasion de la conférence internationale *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*. Retour sur cet événement scientifique majeur.

« Cette 9^e édition a été un vrai succès, se réjouit Valérie Renaudin, directrice du laboratoire GeoLOC (Géolocalisation). Elle a notamment permis de **renforcer la visibilité nationale et interna-**

tionale de l'Ifsttar dans le domaine de la géolocalisation intérieure. Nous sommes par exemple invités à d'autres grands rendez-vous et la SNCF et l'agence européenne du GNSS (Global Navigation Satellite System)

nous ont sollicité pour de nouvelles collaborations. » Organisé par l'Ifsttar du 24 au 27 septembre à la Cité des congrès de Nantes, IPIN a réuni plus de 300 chercheurs et industriels issus de 37 pays et spécialistes « des technologies ubiquitaires de géolocalisation ». Objectif du rendez-vous :



« Accompagner les nouvelles formes de mobilité intelligente et connectée et le partage des données de localisation intérieure pour l'internet des objets ».

Les six jours du congrès ont été rythmés par deux *masterclass*, 97 présentations

orales de recherches, 33 posters, une compétition de géolocalisation (voir encadré) et quatre *keynotes* animées par des spécialistes internationaux. Dans l'une d'elles, le professeur américain Andrei Shkel a fait état des avancées dans le domaine des microtechnologies.

« Il a par exemple expliqué comment un verre de vin a inspiré l'invention d'un gyromètre en verre soufflé. Des chercheurs se sont en effet rendu compte que le son provoqué par un verre tapé se propageait toujours dans la même direction » relate Valérie Renaudin. Justyna Redelkiewicz, responsable du programme Galileo, a pour sa part rappelé les **quatre exigences moteurs de l'innovation dans le domaine des technologies de géolocalisation** : l'ubiquité du calcul de traces, une meilleure précision, davantage d'échange de données avec l'infrastructure et une sécurité accrue des systèmes de positionnement. Pour la prochaine édition d'IPIN, les participants se sont donné rendez-vous à Pise (Italie) en septembre 2019.

RENFORCER LA VISIBILITÉ NATIONALE ET INTERNATIONALE DE L'IFSTTAR

Géolocaliser 180 cibles dans 9000 m²

Équipés de smartphones ou d'ordinateurs, 15 équipes de chercheurs et d'industriels ont sillonné pendant une journée les allées, escalators, ascenseurs ou parkings du centre commercial Atlantis. Ils participaient ce 22 septembre à la **compétition d'IPIN organisée pour la 1^{re} fois dans un espace public**. Leur défi ? Se géolocaliser le plus précisément possible et en temps réel en suivant un chemin matérialisé par 180 cibles disséminées dans les 9000 m² du centre commercial nantais. S'appuyant sur des technologies de navigation inertielle - une technique utilisant des capteurs d'accélération et de rotation -, les équipes de l'Université d'Ariel (Israël) et de Sony (Japon) se sont distinguées dans les catégories « avec caméra » et « sans caméra ». Dans deux autres catégories, cette fois-ci hors-site (sans se déplacer dans le centre commercial), 19 autres équipes devaient estimer les positions des cibles uniquement à partir de données fournies par les organisateurs d'IPIN. Deux équipes chinoises de l'Université de Wuhan sont arrivées en tête. Le laboratoire GeoLOC prépare une publication afin de détailler les résultats de la compétition et en particulier les technologies déployées.



« Affiner le potentiel géothermique des grandes métropoles »

Fruit d'une collaboration entre Antea Group et le Laboratoire Sols, Roches et Ouvrages géotechniques de l'Ifsttar, la thèse CIFRE que s'apprête à soutenir Yvon Delerablée vise notamment à étudier l'impact de la circulation des nappes d'eau souterraines sur les systèmes géothermiques urbains. Ces travaux qui s'appuient à la fois sur un modèle numérique et expérimental devraient permettre de mieux cerner le potentiel géothermique des gares du futur métro Grand Paris Express.

QUEL EST L'OBJET DE VOTRE THÈSE ?

Yvon Delerablée : Mon travail de thèse porte sur la géothermie très basse température en milieu urbain. Cette technologie repose sur l'utilisation de tubes échangeurs de chaleur dans lesquels de l'eau est mise en circulation entre +1°C et +35°C. Lors de la construction d'infrastructures souterraines comme des parkings ou des gares, ces tubes peuvent être intégrés dans les parois en béton de leurs fondations ce qui permet de chauffer le bâtiment en hiver et de le refroidir en été de manière efficace et à moindre coût. L'objectif de ma thèse était d'analyser les

COMPRENDRE L'IMPACT DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES SUR LES INFRASTRUCTURES GÉOTHERMIQUES

performances de tels dispositifs géothermiques au niveau d'un bâtiment ainsi que leurs interactions éventuelles avec d'autres dispositifs géothermiques localisés dans son voisinage immédiat. Il s'agissait par ailleurs de mieux comprendre l'impact de la circulation des nappes d'eau souterraines sur le fonctionnement de ces systèmes géothermiques à l'échelle d'une agglomération.

COMMENT AVEZ-VOUS PROCÉDÉ POUR MENER VOS INVESTIGATIONS ?

Y. D. : Nous avons d'abord conçu un modèle numérique en trois dimensions permettant de simuler l'écoulement d'une nappe d'eau souterraine autour d'un parking ou d'une gare. Ce modèle couplé a notamment permis d'analyser l'influence de la vitesse d'écoulement de l'eau de la nappe sur les échanges thermiques à l'échelle d'un ou plusieurs ouvrages souterrains de ce type. Cette modélisation a été complétée par une phase d'expérimentation au sein de la chambre climatique Sense-City de Champs-sur-Marne. Dans cette cuve de 400 m² pour une profondeur de 3 m, nous avons reconstitué à l'échelle 1/10^e la structure de plusieurs ouvrages souterrains équipés de dispositifs géothermiques. En modifiant l'orientation et la vitesse d'écoulement d'une nappe d'eau dans cet espace par ailleurs



rempli de sable, nous avons pu mesurer, à l'aide de capteurs, les variations de température au sein de la structure en béton armé de ces bâtiments en miniature ainsi que dans le terrain environnant.

EN QUOI VOS RECHERCHES DEVRAIENT-ELLES AIDER À AMÉLIORER LES PERFORMANCES DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES SUSCEPTIBLES D'ÉQUIPER CERTAINES GARES DU GRAND PARIS EXPRESS ?

Y. D. : Grâce à ces travaux, les maîtres d'ouvrage des gares du futur métro francilien souhaitant les équiper de systèmes géothermiques disposent désormais de recommandations pour optimiser leur efficacité en tenant compte à la fois de la nature du terrain, des installations géothermiques existantes et de la présence éventuelle d'une nappe d'eau souterraine. Lorsque cette dernière rencontre la façade d'un bâtiment doté d'un dispositif géothermique, mes recherches ont montré qu'elle pouvait faire barrage à l'écoulement et modifier la recharge thermique du système. Une nappe d'eau souterraine en circulation peut également capter la chaleur d'ouvrages géothermiques situés en amont, ce qui provoque la diffusion d'un panache thermique à même de réduire les performances géothermiques d'une gare qui serait construite plus en aval. En prenant en compte des facteurs de ce genre, ma thèse devrait contribuer à affiner le potentiel géothermique de métropoles comme le Grand Paris.

↳ **Yvon Delerablée**
yvon.delerablee@ifsttar.fr

Partie enterrée de la chambre climatique Sense-City au sein de laquelle s'est déroulé le volet expérimental des travaux d'Yvon Delerablée



Confort et aviation civile L'expertise de l'Ifsttar prend son envol

Étude de l'impact biomécanique d'une nouvelle configuration de siège d'avion sur un volontaire au LBMC

À l'issue de quatre années d'un partenariat inédit, l'Ifsttar et l'entreprise Zodiac Seats France sont parvenus à concevoir un siège à la fois plus confortable et plus léger pour les futures classes économiques des compagnies aériennes.

Rester assis dans un avion de ligne des heures durant peut s'avérer pénible pour ceux qui n'ont pas la chance de voyager en première classe. Partant de ce constat, Zodiac Seats France s'est associée au Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC, UMR Université Claude Bernard-Lyon 1/Ifsttar) pour mettre au point un siège d'avion plus léger au confort accru. Pour relever ce défi, les scientifiques du LBMC se sont appuyés sur leur expertise dans les domaines de l'ergonomie automobile et de la modélisation du corps humain. « *Nous avons pour principale mission de définir des critères biomécaniques d'inconfort du siège* » résume Xuguang Wang, directeur de recherche au LBMC. S'inscrivant dans le cadre d'un projet financé par la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), le travail de l'Institut a tout d'abord consisté à mettre au point un siège expérimental à même d'analyser les facteurs perturbant le

confort du passager. Constitué d'une assise recouverte d'une cinquantaine de vérins équipés de capteurs de pression, ce simulateur conçu et développé au LBMC permet d'ajuster tout un ensemble de paramètres comme l'inclinaison du dossier, la hauteur du siège mais surtout la géométrie de la surface de l'assise grâce à ses multiples vérins.

MOINS DE MOUSSE MAIS PLUS DE CONFORT

À partir d'une cohorte d'hommes et de femmes de taille et de corpulence variables, les chercheurs du laboratoire ont d'abord testé l'impact biomécanique de diverses configurations de sièges sur le corps humain. Après une première série d'analyses destinées à établir les principales caractéristiques d'un siège à la fois confortable et plus léger, l'équipe a comparé le confort de deux nouvelles configurations particulièrement prometteuses avec celui du siège qui équipe aujourd'hui la classe économique de la plupart des avions de ligne. « *Reposant à la fois sur des critères subjectifs et des mesures concrètes, cette étude a montré la supériorité, en termes de confort, de*



JEAN-MARC OBADIA,
Responsable Projet
et Innovation au sein de
la branche Zodiac Seats
France du groupe Zodiac
Aerospace

QUEL BILAN TIREZ-VOUS DE CE PARTENARIAT AVEC L'IFSTTAR ?

Le premier mot qui me vient à l'esprit est complémentarité. Tandis que l'Ifsttar apportait son expertise en matière d'ergonomie des transports et de modélisation du corps humain, notre entreprise fournissait la structure de base du siège ainsi que le cadre normatif très exigeant de l'aviation civile. Pour Zodiac Seats France, ce partenariat a été l'occasion d'étudier en profondeur le confort de ses sièges à partir de critères objectifs et quantifiables, ce que nous n'avions jamais eu l'opportunité de faire à cette échelle. Mais la meilleure preuve de satisfaction de cette collaboration avec l'Ifsttar réside sans doute dans le fait que nous avons décidé de prolonger ce travail d'investigation en commun sur d'autres éléments de nos sièges d'avion comme le dossier. ■

nos deux nouvelles configurations de siège », souligne Xuguang Wang. À l'appui de ces résultats, les chercheurs du LBMC ont finalement proposé tout un ensemble de préconisations pouvant aider Zodiac Seats France à améliorer le confort de ses sièges tout en réduisant l'épaisseur des mousses : « *Pré-optimiser la structure du siège dès sa conception facilite par exemple une répartition plus homogène de la mousse au niveau de l'assise ce qui réduit la quantité nécessaire sans que cela nuise au confort du passager* » illustre le chercheur.



Le recyclage du béton : état des lieux et perspectives

6 années de recherches et l'expertise de 80 spécialistes résumées dans près de 800 pages: Le béton recyclé. Synthèse des travaux menés dans le cadre du programme RECYBETON, cet ouvrage détaille tous les aspects techniques et environnementaux liés à l'utilisation de granulats de béton recyclé dans la fabrication de nouveaux bétons : propriétés, estimation des ressources, pratiques, recommandations pour un recyclage respectueux des impératifs du développement durable...

Quels sont les avantages à recycler le béton? Le béton recyclé a-t-il une qualité équivalente à celle du béton neuf? Réponses détaillées dans *Le béton recyclé*, un ouvrage collectif qui dresse un état de l'art et restitue les résultats du programme national de recherche collaborative RECYBETON conduit entre 2012 et 2018. Son objectif? **« Lever tous les obstacles qui empêchent de recycler les ouvrages en béton en fin de vie et de réutiliser les matériaux obtenus dans de nouveaux bétons »** précise François de Larrard, directeur scientifique du projet et également directeur scientifique du groupe LafargeHolcim. Articulé en 35 chapitres, *Le béton recyclé* présente notamment des résultats illustrés par 5 chantiers expérimentaux réalisés à Lyon, Nîmes ou Paris. *« Leurs conclusions sont très encourageantes, témoigne le chercheur. Si le béton recyclé voit certaines de ses propriétés modifiées, nous avons prouvé qu'il pouvait techniquement remplacer 100 % des granulats naturels pour faire du nouveau béton. »*

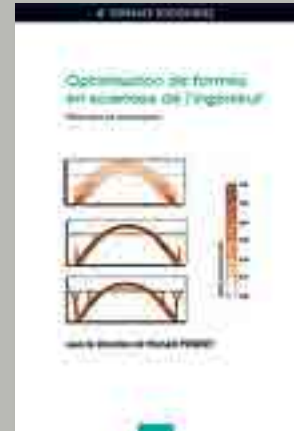


« On construit plus qu'on ne casse. Le béton issu des chantiers de démolition représente aujourd'hui 20 à 30 % des volumes utilisés pour fabriquer de nouveaux bétons mais la tendance va s'inverser, juge François de Larrard. Avec la déconstruction prochaine des grands ensembles construits dans les années 1950 et 1960, nous allons avoir de plus en plus de béton à recycler. Il faut préparer cette transition. » Si l'objectif est d'économiser les ressources naturelles, il est aussi de réaliser des économies financières en favorisant les circuits courts. Chercheurs, maîtres d'ouvrages, industriels, assureurs, ingénieurs... Près de 80 acteurs de la filière béton ont participé à la rédaction de l'ouvrage avec une ambition commune : *« Confirmer le béton comme matériau de construction performant, innovant et répondant aux enjeux contemporains »*. Le béton recyclé sera suivi de recommandations publiées prochainement afin d'encourager les professionnels à adopter de nouvelles pratiques. Un recueil de propositions d'évolution des normes liées à l'usage du béton recyclé paraîtra également en 2019.

De Larrard F. et Colina H. (Dir.), *Le béton recyclé*. Marne-la-Vallée : Ifsttar, 2018. Ouvrages Scientifiques, OSI4, 792 pages, ISBN 978-2-85782-747-4.

↳ François de Larrard : francois.delarrard@lafargeholcim.com

Optimisation de formes en sciences de l'ingénieur : Méthodes et applications - OSI3



Sous la direction de Peigney M. Novembre 2018

Recommendations for preventing disorders due to delayed ettringite formation - GT15-A



Ifsttar Octobre 2018



↳ Découvrez ou re-découvrez notre dernier dossier thématique

Dossier thématique n°1

« Un béton "vert" est-il possible ? »

Coordonnée par Nicolas Roussel

Paru en février 2013 et mis à jour en novembre 2018



LIBRAIRIE



↳ Découvrez les nouvelles parutions de l'Ifsttar en ligne : www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/librairie



Nicolas Bardou,
directeur technique
de la Maîtrise d'Ouvrage
de Cofiroute

Directeur technique VINCI Autoroutes (réseau Cofiroute - couvre le nord-ouest de la France), Nicolas Bardou est membre du comité technique « Ponts » de l'Association mondiale de la route (AIPCR), dont est aussi membre l'Ifsttar.

SUR QUELS PROJETS VINCI AUTOROUTES ET L'IFSTTAR COLLABORENT-ILS ?

Nicolas Bardou: Sur de très nombreux projets mais nous avons deux sujets d'études principaux. Je pense d'abord à la réaction sulfatique interne (RSI) : une pathologie du béton. Longtemps confondue avec la réaction alcali-granulats, ce phénomène est identifié depuis les années 1980 seulement. La RSI provoque des gonflements des bétons qui génèrent des fissures et des

« LA ROUTE, UNE COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE »

endommagements pouvant être graves. Cette réaction est lente, ce qui donne la possibilité à la communauté scientifique de prendre le temps de la comprendre et de prévoir ses conséquences. Les études actuelles se concentrent sur la modélisation du phénomène et de sa cinématique. Sur ce sujet, nous avons confié à l'Ifsttar des missions de modélisation de l'expansion du béton et de qualification de produits d'étanchéité spécifiques qui permettraient de stopper la réaction. Il s'agit d'un vrai travail de pointe mené en partenariat avec l'Institut. Nous sommes pionniers.

L'autre axe de collaboration, c'est celui de l'affouillement des ouvrages d'art en rivière. Ce phénomène qui provoque le déchaussement des ponts est également difficilement modélisable. L'Ifsttar nous a invités à rejoindre un consortium avec la SNCF et le Cerema dans le cadre d'un projet ANR (Agence nationale de la recherche). Dans le cadre de ce projet, nous mettons là encore nos données et nos ouvrages à disposition des scientifiques. Nous sommes très intéressés par les résultats de ces travaux.

DANS QUELS CADRES DIALOGUEZ-VOUS AVEC LE MONDE DE LA RECHERCHE ?

N.B.: Les transports et les réseaux routiers sont des milieux très ouverts au partage de savoirs. C'est principalement dans le cadre des grandes associations internationales que nous retrouvons les scientifiques. C'est le cas avec l'Association mondiale de la route au sein de laquelle l'Ifsttar est très présent sur le sujet des nouvelles mobilités ou des chaussées. C'est aussi le cas avec l'action « groupe international sur la standardisation des indicateurs d'état et les objectifs

de performance sur les ponts routiers » du programme européen COST. À l'échelle nationale, au-delà de l'AFGC (Association française de génie civil), il existe notamment un dialogue entre l'Ifsttar et l'ASFA (Association des sociétés françaises d'autoroutes). Nous y avons des échanges réguliers lors desquels chacun présente ses problématiques et ses besoins. L'Ifsttar est attentif aux débouchés industriels de ses travaux de recherche.

ANTICIPER LA TRANSITION VERS LES NOUVELLES MOBILITÉS

QUELS SONT LES GRANDS ENJEUX POUR LE RÉSEAU ROUTIER ?

N.B.: L'enjeu premier, c'est toujours celui de la maintenance et de l'amélioration de son pilotage. Je pense en particulier au réseau routier où les collectivités sont parfois dans des situations difficiles compte tenu de leurs moyens limités. Sur le long terme, l'enjeu actuel est d'anticiper la transition vers les nouvelles mobilités. La mobilité électrique, les véhicules autonomes ou le covoiturage vont provoquer de grandes mutations dans les usages tout en réduisant significativement l'empreinte carbone des véhicules. L'infrastructure ne sera plus un ouvrage de génie civil sur lequel circuler mais un vecteur de services. Dans le cas de la voiture autonome, par exemple, nous devons imaginer une infrastructure intelligente qui dialogue avec les véhicules. Nous avons un gigantesque chantier à partager avec les scientifiques de l'Ifsttar ces prochaines années.

↳ Suivez-nous sur les réseaux sociaux

