

CAMPUSmag

LE MAGAZINE DU CAMPUS SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE DU GROUPE COLAS

N°3 / FÉVRIER 2016

LA ROUTE SOLAIRE

DÉCOUVREZ LE REVÊTEMENT
ROUTIER PHOTOVOLTAÏQUE
WATTWAY.



CAMPUS
SCIENTIFIQUE
& TECHNIQUE



ÉDITO

PHILIPPE RAFFIN

DIRECTEUR TECHNIQUE, RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT

L'année passée, nous levions le voile sur un des projets phares du Campus : la « Route Solaire ». Désormais baptisée « Wattway », cette innovation de rupture a fortement mobilisé les troupes pour atteindre un niveau de maturité technologique permettant un déploiement de chantiers d'application courant 2016. Un large focus vous présentera la genèse de Wattway ainsi que le b-a-ba du photovoltaïque.

Au-delà des équipes du Campus, Wattway ne serait pas Wattway sans la mobilisation des Directions du Siège qui se sont fortement impliquées, en particulier les équipes de la Direction de la Communication qui ont œuvré sans relâche et largement contribué au succès de ce lancement. Un grand bravo à tous !

2015 ne se résume évidemment pas à Wattway. Le Campus a poursuivi sa mission de contributeur aux solutions orientées clients. En témoignent les nombreux résultats issus des partenariats avec les entités opérationnelles d'une part, et la prise en compte du marché en collaboration en particulier avec la Direction Marketing au sein de nos processus de R&D d'autre part. Vous pourrez les découvrir au gré des pages de ce nouveau numéro de *CAMPUSmag*. Je vous souhaite une bonne lecture !

VOTRE AVIS
NOUS INTÉRESSE :



SOMMAIRE

4

SAVOIR-FAIRE

- 4 - Les enrobés et la fissuration
- 5 - Collage des couches d'enrobés
- 6 - Expertise chimique en cas de pollution d'un enrobé
- 7 - Un nez électronique pour Colas
- 8 - Représentations professionnelles
- 9 - La géotechnique : une offre globale pour le sol
- 10 - Étalonnage des matériels dynaplaques
- 11 - Formations

12

WHO'S WHO

- 12 - Le service Matériaux et Liants Hydrauliques
- 13 - Écoliant Métrologie : le service de métrologie du Groupe

14

DOSSIER FOCUS

- 14 - La route solaire

22

RÉSULTATS DES PARTENARIATS

- 22 - Sacerlift® embellit les revêtements urbains
- 23 - Colmat® au bitume paraffinique
- 24 - La durabilité des bétons, une nouvelle compétence au CST
- 25 - Thermeco®, le Béton Isolant Structurel Colas
- 26 - Enrobé colorable pour voie BHNS à la Réunion
- 27 - Compomac® s'exporte en Europe centrale

28 - Atterrissage de Bétoflex® à Calgary

29 - Valortière®, 100% d'agréats d'enrobés recyclés

30 - Les nouveaux produits en développement

31 - L'activité d'Écoliant Produits

32

SÉCURITÉ

32 - Prévention du risque chimique au CST

34

RENCONTRES

34 - Les Rencontres Scientifiques Colas : « L'envol des drones »

36 - Les Rencontres Scientifiques Colas : « Robots : vers une collaboration homme-machine »

38

PORTRAITS

38 - Cédric Le Gouil

39 - Franck Leclerc

40

NEWS

40 - Échelle TRL / BRL

40 - Éco-socio-conception

41 - Coltec, nouvelle génération

42 - Des moutons, des abeilles et des hommes

42 - Agrément Laboroute

43

LES UNS ET LES AUTRES

LES ENROBÉS ET LA FISSURATION

► L'ACQUISITION D'UNE NOUVELLE PRESSE HYDRAULIQUE PAR LE SERVICE ENROBÉS A PERMIS DE DÉVELOPPER LA COMPÉTENCE DU CST DANS LE DOMAINE DE LA FISSURATION DES PRODUITS HYDROCARBONÉS. ILLUSTRATION EN DEUX ESSAIS.

» L'ESSAI DE RETRAIT EMPÊCHÉ

Un enrobé soumis à une baisse de température se rétracte. Si cette rétractation est empêchée, des contraintes se créent et sont à l'origine de fissures qui s'ouvrent à basse température.

L'essai de retrait empêché, appelé TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test), décrit dans la norme NF EN 12697-46, permet de caractériser la résistance à la fissuration à basse température d'un mélange hydrocarboné. Le principe de l'essai est de maintenir un corps d'épreuve à longueur constante et de le soumettre à un abaissement de la température à un taux de -10°C/h . Les résultats de l'essai sont la contrainte de rupture cryogénique $\sigma_{\text{cry, failure}}$ à la température de rupture T_{failure} .

Cet essai permet d'évaluer le seuil de fragilité des mélanges hydrocarbonés aux basses températures dans le cadre du développement de nouveaux liants. Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous montrent la sensibilité au froid d'un enrobé à base d'un bitume dur (10/20) comparé à celui à base d'un bitume plus mou (35/50), issus d'un même site d'approvisionnement.

Produit	Bitume 35/50	Bitume 10/20
$\sigma_{\text{cry, failure}}$ (MPa)	4,44	4,08
T_{failure} ($^{\circ}\text{C}$)	-20,3	-11,4

» L'ESSAI DE FISSURATION

Un essai de flexion 4 points sur barreaux pré-entaillés a également été développé. Les barreaux sont soumis à un chargement jusqu'à rupture. L'objectif est de déterminer l'énergie de rupture G_F , qui quantifie la résistance à la propagation de fissures, à partir de la courbe force-déplacement. L'essai est pratiqué à température régulée.

Les premiers essais ont permis de mettre en évidence la fragilité d'un enrobé fabriqué avec un bitume 10/20 comparé à celui à base d'un bitume 50/70. Deux liants clairs, un Bituclair® et un Végécol®, ont également été testés. Les résultats ont montré que le comportement du Bituclair® se rapprochait de celui d'un bitume, tandis que celui du Végécol® était très atypique. Des essais sur liants vieilliss réalisés prochainement devraient permettre d'en apprendre davantage sur la fissuration de ces produits.

Yves Le Gal et Julien Van Rompu



Essai de flexion 4 points

COLLAGE DES COUCHES D'ENROBÉS



LE SERVICE ENROBÉS DU CST DISPOSE DES TROIS ESSAIS, FIGURANT DANS LE PROJET DE NORME EUROPÉENNE EN 12697-48, QUI PERMETTENT DE MESURER L'ADHÉSION INTERCOUCHE.

La durée de vie d'une chaussée est tributaire du collage des différentes couches entre elles. Un collage efficace des couches est primordial, une défaillance à ce niveau pouvant conduire à diviser par quatre la durée de vie de la chaussée.

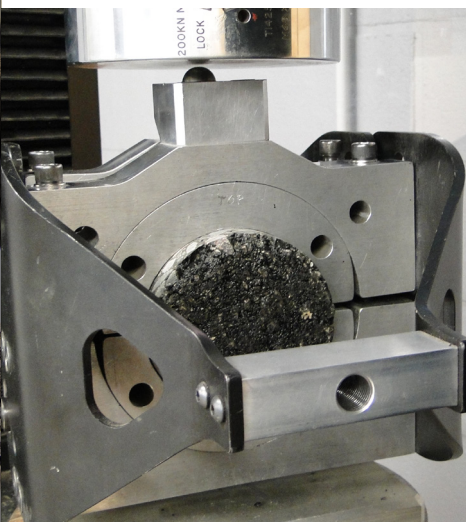
De nombreuses études portent sur l'amélioration des performances de l'émulsion d'accrochage mise en oeuvre en couche mince entre les différentes couches, ceci afin d'en assurer le collage. La finalité ? Optimiser et rendre pérenne la liaison des couches d'enrobés. Aussi, le service Enrobés du CST s'est équipé des trois essais, figurant dans le projet de norme européenne pr 12697-48, qui permettent de quantifier la qualité de la liaison entre deux couches d'enrobés.

La prise en main et l'évaluation objective de la pertinence de ces différents appareillages retenus pour mesurer le collage des couches se sont faites au travers d'une étude menée à bien par deux élèves ingénieurs de l'ENSAM (École Nationale Supérieure des Arts et Métiers) dans le cadre de leur travail de fin d'études réalisé au CST. Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes confectionnées

et testées en laboratoire. Un grand nombre de paramètres d'essais (température, compacité, type émulsion, dosage...) ont été testés, en suivant un plan d'expérience. Les conclusions ont fait l'objet d'une note de synthèse et d'une publication dans la revue RGRA (Revue Générale des Routes et de l'Aménagement) n°928, et permettront d'alimenter les réflexions du groupe de travail normalisation.

Parmi tous les paramètres testés, la température à laquelle l'essai a été réalisé s'est toujours avérée être le facteur de loin le plus impactant sur le résultat de la mesure, et ce quelle que soit la méthode d'essai. Ces trois méthodes d'essai ne sont pas adaptées à des contrôles in situ.

Bernard Yvinec 



Essai de cisaillement



Essai de torsion



Essai de traction

EXPERTISE CHIMIQUE EN CAS DE POLLUTION D'UN ENROBÉ



LA DISTILLATION SIMULÉE, UNE MÉTHODE PERFORMANTE, A ÉTÉ DÉVELOPPÉE AU CST POUR EXPERTISER UNE ÉVENTUELLE POLLUTION DE LIANT.

Chaque année, le CST est sollicité pour rechercher l'explication de désordres observés sur des chantiers qui n'ont pas posé de problème de réalisation particulier en première analyse. Ces dégradations peuvent survenir parfois très rapidement après la mise en œuvre, d'autres fois plus tardivement.

Les causes de dégradations peuvent être d'origines diverses, mais une fois les possibilités de dysfonctionnement classique à la fabrication des enrobés ou à la mise en œuvre écartées, reste la possibilité d'une pollution du liant par une substance diminuant ses performances.

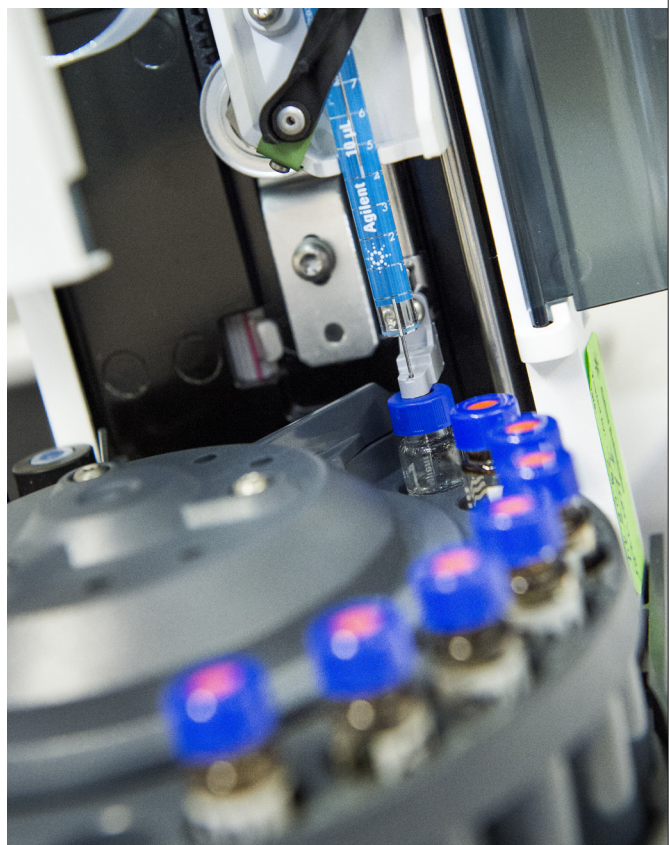
La connaissance du contexte et l'état précis des dégradations doivent être recherchés afin de cerner les hypothèses probables. Les liants comportent des molécules de la même famille que les hydrocarbures les plus susceptibles de les avoir pollués : huile ou carburants par exemple. Ces molécules contiennent les mêmes éléments chimiques de base mais diffèrent notamment par leur taille. Une analyse chimique classique, telle que la spectroscopie infrarouge¹, ne permet ni de démontrer, ni d'identifier la présence de ces produits.

Pour pallier ce manque, une méthode d'analyse a été développée au CST : la distillation simulée. Il s'agit d'une technique chromatographique² qui permet la détection de produits volatils dans le liant. Les profils des polluants potentiels obtenus par cette méthode se distinguent clairement des profils des bitumes purs ou modifiés ou des liants de synthèse. Certains produits d'origine végétale peuvent également être détectés.

Chaque année, le service Chimie Routière réalise entre dix et vingt études d'expertise de ce type. Dans les cas de pollution avérée, ces analyses ont permis de mettre en évidence des déversements accidentels sur les revêtements en service, des pollutions par

des produits anti-adhérents ou de nettoyage utilisés sur chantier, des fuites de fluide caloporteur dans les cuves de stockage, etc. L'identification précise de la cause et de l'origine des désordres permet, notamment en cas de pollution du revêtement par un tiers, de contribuer à déterminer les responsabilités du sinistre et de gérer au mieux la reprise des travaux.

Éric Godard et Aurélie Lorserie 



¹ Technique d'identification de la structure des molécules.

² Technique de séparation des molécules.

UN NEZ ÉLECTRONIQUE POUR COLAS

UNE ODEUR INHABITUELLE OU INCONNUE EST SOUVENT ASSOCIÉE, À TORT OU À RAISON, À LA PRÉSENCE D'UNE SUBSTANCE DANGEREUSE. LA CHROMATOGRAPHIE HEADSPACE QUI PERMET D'IDENTIFIER ET DE COMPARER LES ÉMISSIONS ODORANTES DES PRODUITS, PEUT SERVIR DE « NEZ ÉLECTRONIQUE ».



Dans le cadre de sa démarche d'éco-socio-conception (lire p. 40), Colas s'engage à évaluer et minimiser les risques HSE (hygiène sécurité environnement) ainsi que les nuisances olfactives. Parmi les matières premières employées dans le Groupe, certaines sont chauffées lors de leur utilisation, ce qui entraîne l'émission de composés organiques volatils (COV) potentiellement odorants. Ces émissions peuvent occasionner une gêne pour les collaborateurs et les riverains. Afin d'y remédier, une compétence spécifique a été acquise au CST par le service Chimie routière, pour une meilleure compréhension du phénomène.

Dans cette optique, la chromatographie Headspace¹, adaptée pour l'analyse des molécules volatiles présentes dans les émissions, a constitué le point de départ du développement d'un outil. Cette technique consiste à chauffer l'échantillon de telle sorte que les composés volatils migrent dans la phase gazeuse. Une fois l'équilibre atteint, les émissions formées sont prélevées puis analysées : les molécules sont séparées par chromatographie, puis identifiées

par spectrométrie de masse². Certaines familles de molécules ont d'ores et déjà été identifiées comme particulièrement génératrices de gênes olfactives.

Ainsi, dans le cas des enrobés tièdes, il a été mis en évidence que la réduction de la température de mise en œuvre de 20 à 30°C entraînait une diminution notable des COV, et par conséquent, une atténuation des odeurs.

Il a également été constaté que certains bitumes, compte tenu de leur composition, émettaient davantage de COV que d'autres et étaient plus enclins à générer des odeurs.

Ce travail est complété par des tentatives de corrélation entre des odeurs senties par des « nez » professionnels et les analyses de laboratoire. À ce stade, il n'est pas encore possible de conclure, mais une meilleure connaissance de l'impact olfactif des émissions mesurées serait une avancée importante.

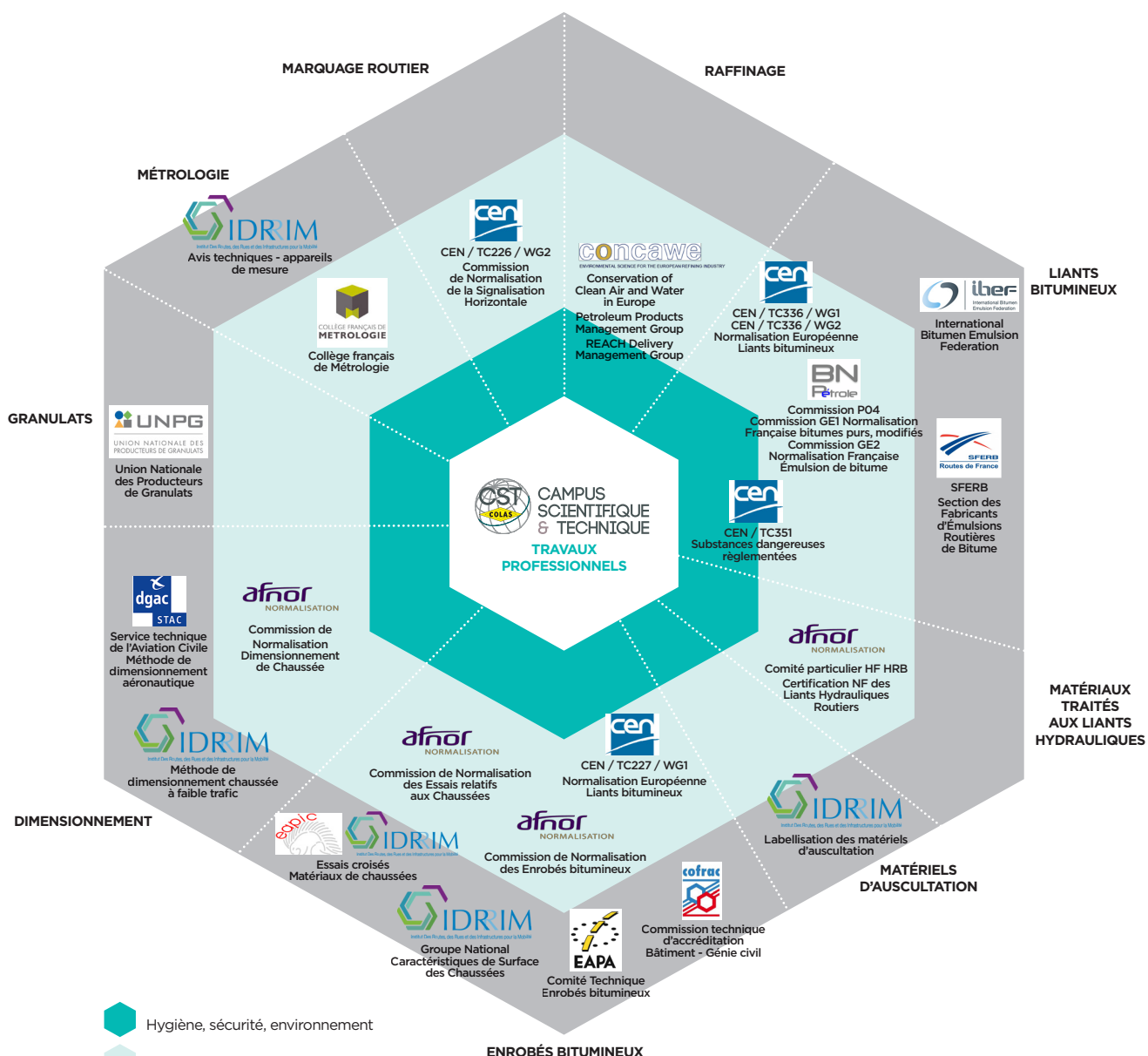
Ludivine Fanouillet 

¹ Espace de tête.

² Technique qui permet d'identifier des molécules et leur structure.

REPRÉSENTATIONS PROFESSIONNELLES

EN COMPLÉMENT DE SES ACTIONS DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT, D'EXPERTISE ET D'ASSISTANCE TECHNIQUE, LE CST PARTICIPE À DIFFÉRENTS GROUPES DE TRAVAIL, DE NORMALISATION OU DE RÉFLEXION DANS LE DOMAINE DES TRAVAUX PUBLICS ET DU GÉNIE CIVIL.



Thierry Delcroix

LA GÉOTECHNIQUE : UNE OFFRE GLOBALE POUR LE SOL

DEPUIS 2009, LE SERVICE GÉOTECHNIQUE DU CST INTERVIENT AU TITRE DE CONSEIL ET D'EXPERT POUR TOUT TYPE DE TRAVAUX EN INTERACTION AVEC LE SOL, COMME LE TERRASSEMENT, LES SOUTÈNEMENTS OU LES AMÉLIORATIONS DES SOLS. DEPUIS UN AN, UN RÉSEAU GÉOTECHNIQUE EST DÉVELOPPÉ EN FILIALE.

Le service Géotechnique intervient pour l'ensemble des filiales de Colas en France métropolitaine dans le cadre de missions d'expertise, d'assistance technique et de conseil afin de concevoir des solutions adaptées à l'exécution des travaux.

Sont à sa disposition tous les moyens de calculs nécessaires au dimensionnement des ouvrages géotechniques tels que les terrassements, les soutènements ou les écrans, les améliorations des sols compressibles, les fondations et également certains ouvrages hydrauliques.

Le service intervient aussi sur des projets de digues, de bassins, de rabattements, de bâtiment, de génie civil et d'auscultation, et de mesures.

En moins d'un an, la filière géotechnique s'est étoffée avec la constitution d'un réseau de 5 personnes en filiale routière, dont les savoir-faire doivent être développés par la veille normative, la formation interne, l'utilisation de logiciels, l'animation de réunions techniques spécifiques ainsi que la capitalisation des retours d'expériences et le développement de nouvelles compétences.



À retenir : Le service Géotechnique met à la disposition du Groupe son expérience tant en dimensionnement qu'en travaux et déploie ses compétences dans le domaine de la conception de digues en rivière.

Jean-Pierre Sanfratello

» CHIFFRES CLÉS

Environ **250** dossiers
traités par le service
Géotechnique par an

- » 50% en phase d'appel d'offres
- » 50% en phase travaux
- » 80% concernent des routes et des plateformes

+10 préchargements
dimensionnés

- » IKEA à Bayonne, ALSTOM à Saint-Nazaire et EUROTUNNEL à Calais...

+100 000 M³
Volume de matériaux
pour les chantiers de
terrassement étudiés en
exécution

Jusqu'à **12 M** : hauteur
de soutènements dimensionnés

- » murs, enrochements, palplanches, parois clouées, etc.

ÉTALONNAGE DES MATÉRIELS DYNAPLAQUES

▶ LE SERVICE ÉCOLIANT MÉTROLOGIE A DÉVELOPPÉ UN BANC D'ÉTALONNAGE POUR LES MATÉRIELS DYNAPLAQUES DU GROUPE. CE BANC PERMET AUJOURD'HUI UN RACCORDEMENT AUX ÉTALONS NATIONAUX DE NOS MESURES DE PORTANCE DES PLATESFORMES.



Pour mesurer la rigidité des plateformes supports de chaussée, le réseau technique Colas utilise des « Dynaplaques ». L'appareillage, embarqué sur un véhicule, permet la sollicitation dynamique des sols, afin d'en déterminer le module. Ce matériel est utilisé aussi bien en prospection avant travaux qu'en réception de chantier. Il simule en fait le passage d'un essieu chargé à 13 tonnes roulant à 60km/h.

Pour répondre aux besoins des filiales du Groupe en termes d'étalonnage de ce type de matériel, Écoliant Métrologie a développé un banc spécifique. Ce matériel réalise en simultané la mesure de l'effort et celle du déplacement engendré par l'impact d'une masse tombant sur une plaque cylindrique, afin de déterminer le module du support. Ainsi, ce système permet les mêmes mesures mais avec, d'une part, des capteurs métrologiques raccordés aux étalons nationaux, et d'autre part, des boîtes à ressorts

qui permettent en laboratoire de simuler des sols de différentes portances. L'ensemble, après un étalonnage au Laboratoire National d'Essai (LNE), a fait l'objet d'une réception au CST afin de garantir son implantation sur un massif spécifiquement réalisé pour l'accueillir.

La validation métrologique ainsi obtenue, l'étalonnage et la vérification de l'ensemble des matériels du Groupe ont pu être réalisés cette année.

Au-delà des besoins en étalonnage, ce banc devrait permettre de mieux comprendre la réponse de ce genre d'appareillage et d'appréhender les incertitudes de mesure sur les mesures de module en dynamique. Ces connaissances seront ensuite applicables plus largement pour l'étalonnage des différents matériels d'essais dynamiques dont disposent les laboratoires.

Sébastien Denaes 

FORMATIONS

LE CST PROPOSE DES FORMATIONS DANS LES DIFFÉRENTS DOMAINES DE SES MÉTIERS, DISPENSÉES EN INTERNE AU SEIN DU GROUPE OU DANS UN CADRE PLUS ÉLARGI À L'ENSEMBLE DE LA PROFESSION.



LE SERVICE MATÉRIAUX ET LIANTS HYDRAULIQUES

➤ AU SEIN DE LA DIRECTION DES LABORATOIRES DU CST, LE SERVICE MATÉRIAUX ET LIANTS HYDRAULIQUES (MLH) TRAVAILLE À L'ASSISTANCE TECHNIQUE DES FILIALES DU GROUPE ET À LA RECHERCHE ET AU DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX PRODUITS.

Composé d'une équipe de sept personnes, installé sur 450 m² de laboratoires, disposant de plus de 500 matériels différents, et avec plus d'une centaine d'essais au « catalogue »... le service Matériaux et Liants Hydrauliques du CST répond aux diverses demandes des filiales du Groupe : formulation de béton pour ouvrage d'art, valorisation d'excédents de carrières en remblais autocompactants, conformité de liants hydrauliques utilisés en traitement de sol à portance rapide, etc.

Depuis le début des années 2000, le service MLH a progressivement développé ses compétences dans ses domaines d'activités historiques (granulats, traitement des sols et matériaux traités aux liants hydrauliques) et, plus récemment, dans les domaines des liants eux-mêmes, des bétons, des coulis et mortiers, etc. À partir de 2015, quatre essais permettant d'évaluer la durabilité des bétons employés dans le génie civil jusqu'à 100 ans et plus sont venus enrichir les compétences du service (lire p.24).

L'ambition de l'équipe ? Au-delà des prestations réalisées en qualité de laboratoire expert accrédité, il s'agit de contribuer au développement des filiales via la mise au point de nouvelles solutions techniques. Ainsi, depuis quelques années, la majeure partie de l'activité en études laboratoire est dédiée à des sujets de Recherche. La collaboration avec les filiales et les Directions Techniques et Industries est essentielle pour la réussite de ces projets. Après quelques années de travaux en association avec la direction technique Routes Colas France, Colas Nord-Picardie, Colas Midi-Méditerranée et Colas Sud-Ouest, deux nouvelles solutions techniques ont vu le jour en 2015 : le Béton Isolant Structuel (lire article p. 25) et une nouvelle solution Colas pour le pavage (Colpav®).

Des solutions pour le traitement de sols dits « difficiles », un nouveau liant « pas complètement hydraulique », et des solutions innovantes pour la formulation de bétons plus « durables » sont à venir.

Cédric Le Gouil 



ÉCOLIANT MÉTROLOGIE : LE SERVICE DE MÉTROLOGIE DU GROUPE



COLAS A DÉCIDÉ EN 1999 DE CRÉER UNE ENTITÉ DESTINÉE À RÉPONDRE AUX BESOINS DES SERVICES TECHNIQUES DU GROUPE EN TERMES DE MÉTROLOGIE.



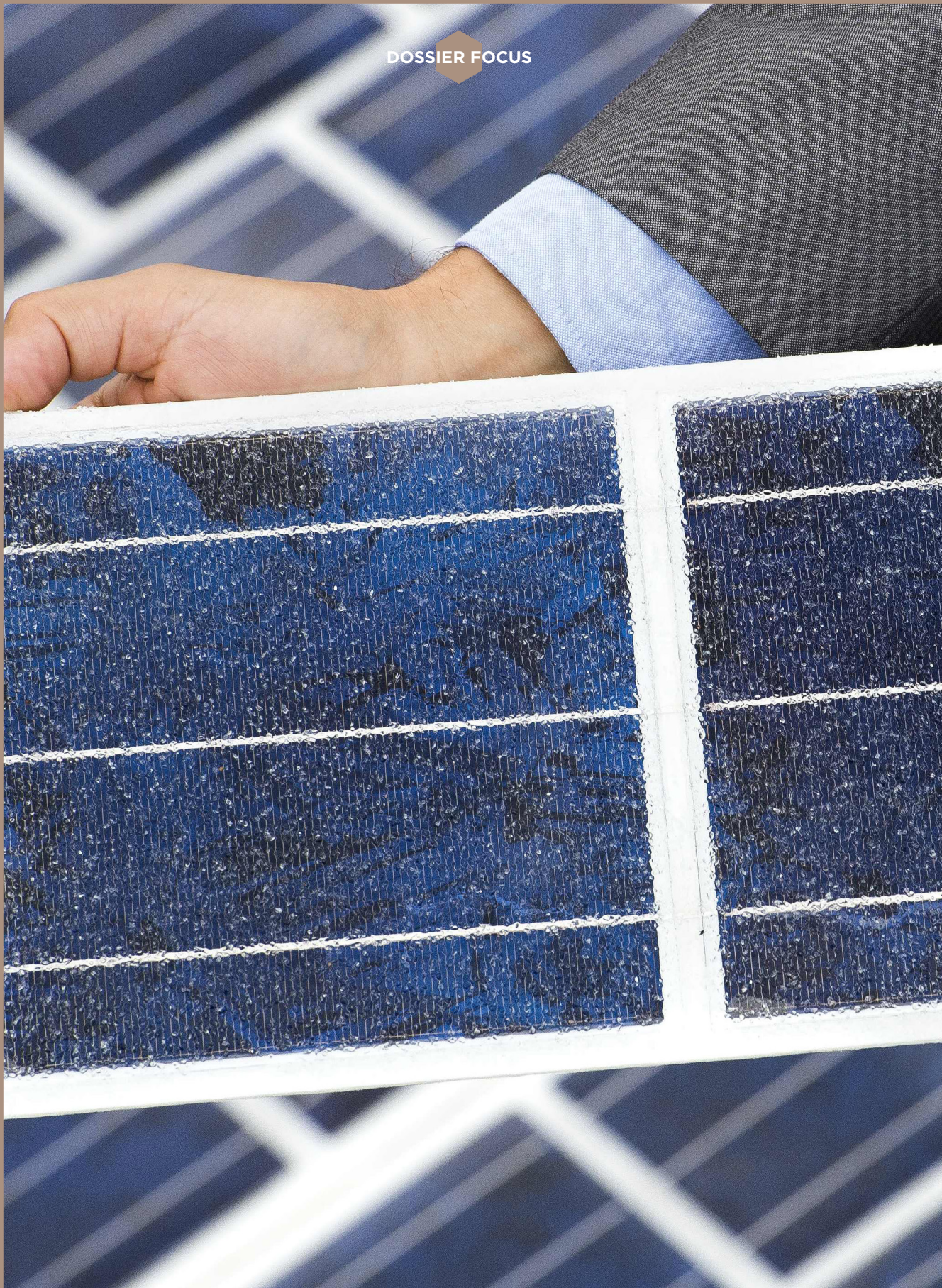
Écoliant Métrologie est une entité, unique en son genre au sein des groupes de BTP, qui intervient dans les différents laboratoires du Groupe en France métropolitaine, mais aussi aux DOM-TOM, en Afrique, en Belgique et en Suisse. Elle est certifiée ISO 9001 en métrologie et accréditée COFRAC dans trois domaines différents (presses béton, tamis, matériel pour essais sur enrobés). Avec deux laboratoires mobiles et un jeu de matériel en fly-case pour les interventions outre-mer, l'équipe de dix métrologues sillonne les laboratoires du Groupe mais aussi les sites industriels en fonction des besoins.

Afin de compléter son offre et d'assister au mieux le réseau technique, Écoliant Métrologie a développé des modules de formation. De la sensibilisation à la métrologie jusqu'à la réalisation de calculs d'incertitudes de mesure, ces modules couvrent des domaines dont la maîtrise par le réseau technique est primordiale pour répondre aux exigences en termes de certification ou d'accréditation (marquage NF, CE, certification Laboroute, etc.).

Un logiciel de pilotage et de gestion de l'ensemble des matériels de mesure et de laboratoire est en cours de déploiement, cette année, en France métropolitaine puis ensuite dans l'ensemble du Groupe. Ce logiciel permettra de répondre aux exigences des différents référentiels tout en optimisant le temps de gestion au sein des laboratoires du Groupe.

Toutes ces actions ainsi que le développement de nouveaux moyens d'étalonnage (PCG, Dynaplaques) permettent à Écoliant Métrologie de répondre aux besoins du Groupe et d'être également un acteur reconnu dans la profession. Ainsi, l'entité compte, parmi ses clients, des laboratoires extérieurs au Groupe (CEREMA, Conseils départementaux ou laboratoires de contrôle extérieurs) et des laboratoires de Bouygues Construction.

Sébastien Denaes 





LA ROUTE SOLAIRE

DÉCOUVREZ LE REVÊTEMENT ROUTIER PHOTOVOLTAÏQUE WATTWAY

LE 13 OCTOBRE 2015, LE VOILE A ÉTÉ LEVÉ SUR L'UN DES PROJETS PHARES DU CST : WATTWAY, LA ROUTE SOLAIRE. FRUIT DE CINQ ANNÉES DE R&D EN PARTENARIAT AVEC L'INSTITUT NATIONAL DE L'ÉNERGIE SOLAIRE, CETTE INNOVATION MAJEURE DONNE À LA ROUTE UNE NOUVELLE FONCTION DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE.



Les objectifs poursuivis dans le projet de recherche consacré à la « Route Solaire » consistent à intégrer de manière pérenne des éléments photovoltaïques à la surface d'une chaussée, tout en garantissant le maintien des qualités de la structure routière (tenue mécanique, adhérence des véhicules), et ce, dans des conditions économiques comparables à celles des déploiements de technologies photovoltaïques concurrentes (ombrières, toitures, etc.).

Partant d'une situation vierge, le projet de « Route Solaire » mené en partenariat avec CEA Tech a permis successivement :

- de vérifier la faisabilité du concept de route photovoltaïque,
- de développer une technologie nouvelle de modules adaptés à l'insertion dans une chaussée, à partir des différents types de cellules disponibles sur le marché, et en utilisant l'unité de production prototype de l'INES (Institut National de l'Énergie Solaire),
- de proposer un système global (chaussée, modules, connectique), validé par la construction et le suivi des performances et de la durabilité de plusieurs prototypes.



Wattway supporte les sollicitations lourdes.

CHRONOLOGIE D'UNE INNOVATION DE RUPTURE

Retour sur l'histoire du développement d'une solution technologique de rupture qui a permis, en rapprochant deux mondes a priori très éloignés, de doter la chaussée d'une nouvelle fonction dans un objectif de développement responsable, tout en restant compatible avec les outils industriels de construction routière.

» 2005

Le concept initial de chaussée photovoltaïque est proposé, sous forme d'un simple photomontage, lors d'un séminaire de réflexion sur les axes de recherche futurs de Colas. Objectifs : « Fonctionnaliser » la route et élargir l'horizon au-delà du domaine des matériaux constitutifs des couches de chaussée. Ce concept est basé sur l'intuition, vite vérifiée par des calculs simples, que les chaussées routières ou assimilées (trottoirs, pistes cyclables, places et autres) offrent une surface qui « regarde le ciel » près de 90% du temps, et sont donc susceptibles de constituer des collecteurs d'énergie solaire valorisables, en particulier sous forme photovoltaïque.

» 2006 - 2010

Le projet de recherche lancé suite à ce séminaire vise à explorer les différentes technologies de récupération d'énergie à partir des routes. Sont alors réalisés différents prototypes, en laboratoire puis dans la cour du CST. Successivement les aspects thermique (par circulation de fluide dans la chaussée),

thermoélectrique (avec des céramiques sensibles à l'effet Seebeck) et piézoélectrique sont testés, mais sans obtenir de résultats suffisamment satisfaisants en termes de quantité d'énergie récupérable.

» ÉTÉ 2010

Une maquette d'intégration de mini-cellules sur une surface représentant une chaussée est fabriquée pour amorcer la réflexion autour des multiples points durs auxquels l'équipe sera confrontée : quel matériau utiliser pour les cellules ? Quel mode d'insertion des cellules dans la chaussée, de connexion des cellules entre elles et vers le réseau ? Quelle sera l'influence du « taux d'ombrage » dû au passage des véhicules sur les performances énergétiques ? Quid de la résistance mécanique des cellules sous le passage des roues et du maintien des propriétés d'adhérence ? Quelle sera l'évolution des performances électriques sous l'effet de l'encrassement, des rayures ou de l'usure des cellules ? Quelle résistance à l'humidité des cellules, des connexions

et du réseau de raccordement ? Quel sera l'impact de la température de la chaussée sur les performances énergétiques ? Quelles possibilités de réparation de la chaussée, des panneaux, du réseau de raccordement ? Quid du recyclage de la chaussée et des cellules ? Quid de la sécurité électrique vis-à-vis du vandalisme, ou de l'endommagement consécutif à un accident de circulation qui viendrait aggraver mécaniquement les panneaux ? Des pages et des pages de questions, et pas le moindre début de réponse.

» MARS 2011

Lors de la première rencontre avec le CEA organisée à l'initiative d'Yves François, ancien Directeur des Systèmes d'Information du Groupe, le concept de chaussée photovoltaïque est présenté aux spécialistes de l'INES à Chambéry. Franck Barruel, alors chef du laboratoire des systèmes photovoltaïques au sein du CEA Tech, se souvient : *« Lorsque mon collègue responsable des programmes est venu me présenter ce projet de mettre des panneaux solaires sur la route, je lui ai dit de repasser avec des choses sérieuses ! Mais en quelques jours, l'idée a fait son chemin. Il s'agissait d'un challenge intéressant avec un cahier des charges complexe... La décision de prendre ce projet et de rencontrer les représentants de Colas s'est vite imposée. »*

» MAI 2011

Hervé Le Bouc se rend à Grenoble pour rencontrer les équipes de CEA Tech dans la perspective de la création d'un laboratoire commun. Celles-ci se sont complètement approprié le concept, et leur présentation enthousiaste conduit à imaginer un programme de tests préliminaires, sans même attendre la signature officielle du contrat actant la création de ce laboratoire commun.


» AOÛT 2011

Une chaussée d'une trentaine de mètres, baptisée depuis « Route martyre », est construite dans l'enceinte de l'INES à Chambéry, avec la collaboration des équipes travaux de Colas Rhône-Alpes Auvergne. Des panneaux souples en couche mince de silicium amorphe, fournis par Smac, qui utilise alors cette technologie en les contre-collant sur des membranes bitumineuses d'étanchéité, sont collés au bitume chaud et vont être soumis à de multiples tests : passage de piétons, circulation de véhicules légers puis lourds, freinages, roulage sur des dépôts de terre puis de gravillons. Les performances de production électrique enregistrées parallèlement ne montrent alors aucune dégradation notable.

PRÉSENTATION DE CEA TECH ET INES

CEA Tech est le pôle « recherche technologique » du Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, constitué des trois instituts LETI, LITEN, LIST et de l'Institut CEA Tech en région, qui lui permet de disposer d'un portefeuille complet de technologies dans les domaines de l'information et de la communication, de l'énergie et de la santé. Bénéficiant d'un savoir-faire unique issu d'une culture de l'innovation, CEA Tech a pour mission de produire et diffuser des technologies pour en faire bénéficier l'industrie, en assurant un « pont » entre le monde scientifique et le monde économique. CEA Tech donne également accès aux technologies génériques développées par les autres pôles opérationnels du CEA.

L'Institut National de l'Énergie Solaire (INES) est un institut centré sur l'énergie solaire photovoltaïque, thermique, le stockage, le bâtiment et les réseaux. Les équipes du CEA Tech à l'INES forment le département « recherche », en plus d'un département « formation continue et évaluation ». L'INES en chiffres, c'est 22 000 m² de laboratoires, bureaux et salles de formation, 1 800 professionnels formés chaque année, 400 chercheurs et techniciens, 200 partenaires industriels, 85 brevets déposés par an, 13 laboratoires.

Franck Barruel, CEA Tech 



Premiers essais sur la « Route martyre » (août 2011).

» DÉBUT 2012

Avec la signature du contrat de laboratoire commun, qui unit Colas et CEA Tech pour une période de trois ans, commence le programme de R&D. L'orientation donnée consiste à adapter les panneaux testés sur la « Route martyre » en dotant la face supérieure de propriétés d'adhérence permettant aux usagers, véhicules ou piétons de se déplacer en toute sécurité, tout en garantissant le passage des rayons lumineux jusqu'aux couches de silicium. Le défi n'est pas mince, sachant que la surface traditionnelle des panneaux est généralement recouverte d'un revêtement téflonné ! De nombreux produits et technologies sont testés, pour aboutir à la sélection d'une résine translucide et de grains de verre d'une granulométrie précise, dont les performances en absorption sont vérifiées, notamment après de multiples cycles de vieillissement. Cette technologie fait alors l'objet d'un dépôt de brevet, conjointement aux noms du CEA et de Colas. Il apparaît que les multiples réflexions provoquées par les facettes des grains de verre compensent l'impact de la face avant, et que les pertes optiques sont ainsi négligeables.

Des panneaux sont aussi régulièrement testés sur les ornières du laboratoire de Colas Rhône-Alpes Auvergne à Chassieux, avec l'aide des équipes de P. Andraud, et passent en retour les tests de performance électrique pour vérifier leur intégrité. D'autres éléments sont testés sur la machine Wehner et Schulze du service Enrobés du CST, afin de qualifier l'évolution sous trafic des performances d'adhérence.

En parallèle, et afin de fonder cette coopération sur des bases solides, une formation croisée est organisée. Cinq personnes de l'équipe du CEA Tech partent chez Colas pour apprendre les fondamentaux de la route. Puis les membres de l'équipe Colas viennent à l'INES apprendre le B-A-BA du photovoltaïque. « *Il fallait éviter ce qui se produit trop souvent : croire qu'on parle de la même chose parce qu'on utilise le même mot. Des cultures professionnelles différentes peuvent conduire à des dérives d'approche préjudiciables* », explique Franck Barruel.

» ETÉ 2013

Un premier démonstrateur de 50 m² et d'une puissance de 3 kWc (kilowatt crête) est construit sur la voie d'accès à l'INES et rapidement ouvert à la circulation. Cette première étape d'intégration système constitue une avancée significative du projet, mais l'équipe n'est pas au bout de ses peines.

En effet, le marché des cellules photovoltaïques

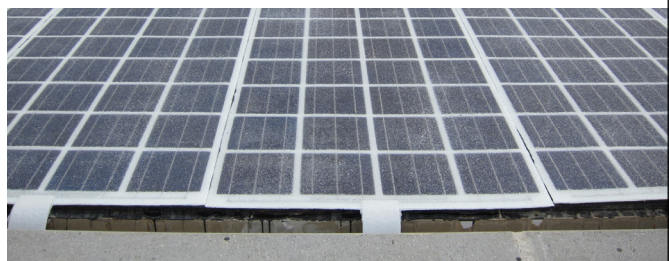
subit à cette époque le déferlement des modules de fabrication chinoise, dont les prix de vente extrêmement bas conduiront l'Union européenne à ouvrir une procédure anti-dumping qui se conclura par la définition d'un prix plancher. La majorité des fournisseurs de panneaux en couche mince subit de plein fouet ce cataclysme. Trois fournisseurs potentiels, avec lesquels des contacts ont été établis, déposent leur bilan. Le projet doit alors être réorienté vers une technologie permettant de maîtriser les approvisionnements.



Premier démonstrateur (été 2013).

» DÉBUT 2014

Alors que l'INES se dote d'une chaîne prototype de fabrication de modules photovoltaïques, la structure des panneaux est remise à plat avec l'utilisation des cellules, cette fois-ci, en silicium cristallin. Cette solution offre de nombreux avantages (approvisionnements possibles chez de multiples fournisseurs, rendements électriques parmi les plus élevés), mais engendre également une difficulté spécifique... Le silicium se présente ici sous forme cristalline, plus précisément en cellules d'une épaisseur de 150 µm, cassantes comme du verre. De simulations en essais mécaniques, un complexe constitué de plusieurs couches de polymères et de résines est alors mis au point et testé, pour garantir la tenue mécanique des panneaux sous la circulation de charges lourdes ou le poinçonnement éventuel de gravillons, l'étanchéité autour des cellules, la compatibilité entre couches aux coefficients de dilatation différents et, bien évidemment, la transparence aux rayons lumineux.



Deuxième démonstrateur (automne 2014).

» AUTOMNE 2014

La structure des nouveaux modules est validée en laboratoire et protégée par un second brevet conjoint. Un deuxième démonstrateur est construit, toujours dans l'enceinte de l'INES. Différentes technologies de collage des panneaux sont testées (bitume pur, émulsion de bitume), pour finalement aboutir à une colle développée par le laboratoire d'Aximum Produits de Marquage. Ce démonstrateur permet également d'intégrer, dans un caniveau adjacent, des boîtiers assurant la connectique entre modules. Ils remplacent les boîtes de jonction traditionnellement collées en saillie en face avant des panneaux, mais incompatibles avec le passage de véhicules.

» ÉTÉ 2015

Un troisième démonstrateur est construit, sur l'emplacement du premier, qui, ayant rempli ses objectifs, est démonté par micro-rabotage ce qui permet de tester les premières technologies de recyclage. 59 m², soit 42 dalles, pour une puissance de 6 kWc permettent de valider de nouvelles avancées. Le renforcement de la structure mécanique des panneaux réduit le risque de délamination. Une disposition des cellules en quinconce permet d'imiter l'aspect des pavés traditionnels et de s'intégrer plus harmonieusement. La face avant est mise en oeuvre par répandage au rouleau d'un mélange de résine Aximum et de grains de verre. Enfin, une bande latérale incorporant des LEDs conduit à imaginer un pilote de signalisation dynamique, ouvrant la voie à de nouveaux développements fonctionnels.

Le 20 août 2015, c'est sur ce démonstrateur que François Hollande en visite à l'INES appelle ses collaborateurs à « venir se recharger en énergie » !

» AUTOMNE 2015

Alors que se précise le lancement public de Wattway, nom retenu pour la Route Solaire, deux nouveaux démonstrateurs sont construits, cette fois-ci sur les parkings du CST à Magny-les-Hameaux. La structure des panneaux est à nouveau optimisée, tant mécaniquement que d'un point de vue économique. De nombreux essais ont permis de vérifier les performances mécaniques, telles que la résistance aux chocs lors de la chute de masses calibrées depuis une hauteur de 120 cm, la résistance aux agressions chimiques de produits susceptibles d'être déversés par les véhicules (huiles, essence, liquide de freins, acides...), ou l'endurance des panneaux, d'une part en soumettant des échantillons à un essai prolongé d'un million de cycles sur les



Éric Coquelle, responsable prospective CST.

orniéreurs du CST (alors que les enrobés sont traditionnellement testés pendant 30 000 cycles) et, d'autre part, en faisant circuler une noria de bus pendant plusieurs jours sur les panneaux posés au milieu du parking.

En parallèle, des essais de comportement électrique et l'analyse des modes de défaillance potentiels sont menés par les spécialistes de l'INES pour définir les préconisations de sécurisation des panneaux. L'absence de normes spécifiques contraint à adopter des systèmes redondants de sécurité, basés sur des cartes électroniques permettant d'assurer le contrôle à distance des modules et leur mise en court-circuit en cas de problème électrique. Ces cartes sont insérées dans des boîtiers profilés situés sous le panneau et développés avec une société savoyarde déjà partenaire de l'INES.



Marche présidentielle sur Wattway (août 2015).

VERS LA ROUTE DU FUTUR

Le projet de « Route Solaire » a abouti à la mise au point d'une technologie de rupture qui ouvre des perspectives radicalement nouvelles quant à l'utilisation d'une chaussée. Les défis à relever restent nombreux, en particulier ceux qui consisteront à imaginer puis développer les utilisations, et à passer de l'échelle de prototypes à un déploiement commercial à grande échelle qui nécessitera la mise au point d'un outil industriel adapté.

La mutualisation des expertises, la complémentarité entre les apports des deux partenaires CEA Tech et Colas, la mobilisation de plusieurs services du CST et des filiales Colas Rhône-Alpes Auvergne et Aximum ont été des facteurs déterminants pour franchir les nombreuses étapes qui ont jalonné ces années. 2016 est une année charnière, qui verra le déploiement de Wattway sur des chantiers d'application réalisés sur des surfaces réduites, limitées à 100 m². L'objectif est d'atteindre un niveau de maturité et de robustesse élevé, préalable indispensable au développement commercial futur, sur la base d'une technologie éprouvée et maîtrisée.

Les équipes de R&D de CEA Tech et de Colas mobilisées pendant près de cinq ans repartent vers de nouvelles aventures : le contrat de laboratoire commun a été renouvelé jusqu'en 2018 et les technologies développées pour cette première génération de route solaire offrent de nombreuses perspectives de développement. Toutes proportions gardées, Wattway pose les bases d'une histoire qui reste à écrire.

Jean-Luc Gautier et Éric Coquelle 

Pour visualiser le film
« La route solaire »,
flashez ce code.



Pour visualiser
l'animation « Wattway,
la route solaire Colas »,
flashez ce code.



Présentation de Wattway au Bourget lors de la COP21 (novembre/décembre 2015).



LE PHOTOVOLTAÏQUE

» Un peu d'histoire

L'effet photovoltaïque a été décrit en premier par le physicien français Edmond Becquerel en 1839. En 1877, W.G. Adams et R.E. Day créent la première cellule photovoltaïque (PV) au sélénium avec un rendement de 1 %. Albert Einstein explique cet effet en 1904 et reçoit pour cela le prix Nobel en 1921. Les laboratoires Bell (Charpin, Pearson et Price) présentent la première cellule au silicium le 25 avril 1954 avec un rendement de 4 %. La première utilisation photovoltaïque date de 1958 dans un satellite artificiel américain « Vanguard 1 », avec un rendement de 9 % et une puissance de 0,1 Wc. La première application terrestre apparaît dans un phare japonais en 1963 (242 Wc). La première maison équipée, Solar One, est construite à l'université de Delaware aux Etats-Unis en 1973. On peut aussi citer le premier bateau solaire en 1975, l'avion et la voiture solaires en 1979. La première installation photovoltaïque reliée au réseau électrique date de 1982 en Europe (TISO en Suisse) et de 1992 en France, avec une puissance de 900 Wc.

» Les notions de puissance et de rendement

L'unité de puissance utilisée est le Watt crête (Wc) ou Watt peak (Wp). Elle traduit la puissance d'une cellule ou d'un panneau dans des conditions standard d'utilisation (STC), à savoir 1 000 W/m² d'irradiance à 25°C. Le rendement est le ratio entre la puissance électrique produite et la puissance solaire reçue sur 1 m². Par exemple, si un panneau d'1 m² a une puissance de 200 Wc, cela veut dire qu'il produira 200 W quand le soleil émettra 1 000 W/m², soit un rendement de 20 %.

» Quelles sont les technologies ?

Il existe 4 familles de technologies :

- la première, et la plus répandue, concerne les technologies à base de silicium cristallin. Elle représente plus de 90 % du marché avec des rendements en laboratoire compris entre 20 et 27 % ;
- la deuxième famille concerne les couches minces (silicium amorphe, CIGS, CdTe) avec un rendement en laboratoire entre 13 et 23 % ;
- les technologies multi-jonctions constituent la troisième famille avec des rendements record entre 26 et 46 % ;
- enfin, les technologies émergentes (organique, perovskite, ...) ont des rendements compris entre 9 et 20 % avec des courbes d'apprentissage rapides.

Franck Barruel, CEA Tech

LE PHOTOVOLTAÏQUE (PV) AUJOURD'HUI ET DEMAIN, QUANTITÉ ET PRIX

En 2014, le photovoltaïque représente une puissance installée de plus de 180 GWc (source JRC PV Status Report 2014) contre 20 GWc il y a 5 ans. L'agence internationale de l'énergie annonce qu'en 2020, la puissance cumulée photovoltaïque atteindra 400 GWc, soit un doublement de la capacité actuelle en 5 ans.

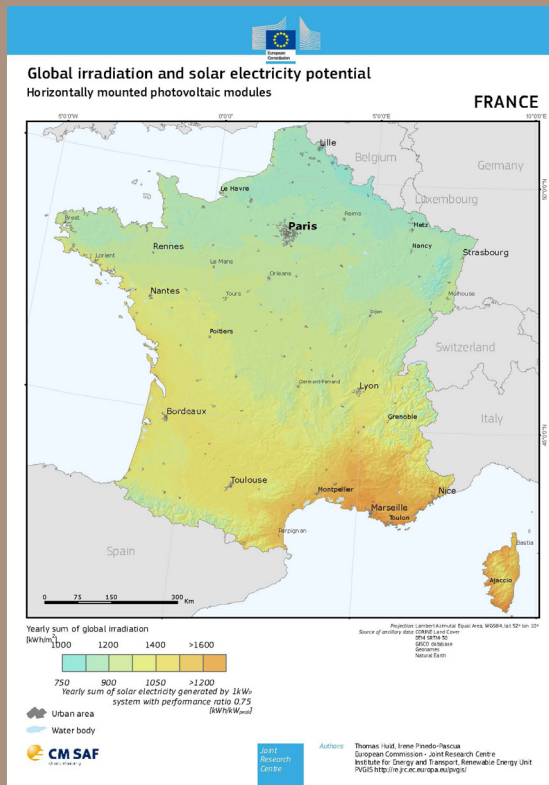
Parallèlement, le coût des panneaux n'a fait que baisser, passant en moyenne de 20 €/Wc en 1980 à 0,6 €/Wc en 2015, soit une division par 30 en 35 ans.

Les puissances des installations vont de 3 kWc pour des particuliers à plus de 850 MWc pour la plus grande ferme solaire au monde en Inde (environ 2 000 ha).

POTENTIEL DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE POUR 1 kWc INSTALLÉ (SOIT ENVIRON 8,7 m²)

Dunkerque :	882 kWh/an
Magny-les-Hameaux :	907 kWh/an
Chambéry :	1 041 kWh/an
Nice :	1 220 kWh/an
Saint-Denis de la Réunion :	1 396 kWh/an

À comparer à la consommation moyenne d'un foyer français (hors chauffage et eau chaude) de 2 700 kWh/an (source ADEME 2014).



Carte du potentiel de production d'électricité d'origine photovoltaïque en France métropolitaine.

SACERLIFT® EMBELLIT LES REVÊTEMENTS URBAINS

➤ **SOLLICITÉE POUR ÉVALUER LE RÉEL APPORT DES TRAITEMENTS DE MINÉRALISATION DU PROCÉDÉ SACERLIFT®, LA SECTION REVÊTEMENTS COMPOSITES DU CST A MIS AU POINT DEUX NOUVEAUX PRODUITS PLUS RESPONSABLES, COMMERCIALISÉS PAR COLAS.**

Sacerlift® est un procédé d'entretien et de rénovation, en deux étapes, destiné à redonner de l'éclat et à préserver les surfaces minérales (pierres de taille, bétons, pavés...). Le traitement Sacerlift® protège efficacement les revêtements par minéralisation.

La première étape consiste en un nettoyage approfondi qui allie une action mécanique vigoureuse à une action chimique si besoin (produit de nettoyage bio-sourcé). Ce nettoyage est suivi d'un traitement de minéralisation pour faire pénétrer par capillarité des solutions à catalyseur dont la réaction de durcissement aboutit à la formation de cristaux de silice qui vont venir s'intégrer durablement dans la structure du matériau.

Ce procédé, commercialisé depuis 2011 par Colas Centre-Ouest, nécessitait l'emploi de deux produits de minéralisation : un produit aqueux pour les supports très poreux (non étiqueté) et un produit solvanté pour les supports peu poreux (étiqueté nocif et inflammable).

La section Revêtements Composites du CST a été sollicitée pour évaluer le réel apport de ces traitements, notamment en termes de durabilité de leur effet sur l'anti-salissure et la glissance, et pour développer des produits « maison » plus responsables. Deux produits à l'eau ont ainsi été mis au point, respectivement pour supports poreux et peu poreux. L'accent a été mis sur le greffage d'un agent hydrophobant sur ce liant minéral, pour pérenniser l'effet « barrière antisalissure » et faciliter les nettoyages futurs.

Des analyses au Microscope Électronique à Balayage (MEB) ont permis de vérifier la bonne imprégnation sur 10 à 20 µm des traitements en fonction de la porosité des supports.

L'effet hydrophobant a été vérifié par des mesures d'angles de contact avant et après des cycles de vieillissement accéléré en enceinte climatique (norme NFT 30 049). Cet effet est accru et plus durable que les produits anciennement utilisés.



Application de Sacerlift® au CST

Des essais complémentaires de détermination de la sensibilité à la salissure accidentelle (NF EN 16301) et de tenue au verdissement ont permis de démontrer l'efficacité des traitements vis-à-vis des salissures.

Ces traitements ne modifient pas la glissance des revêtements qui reste conforme (NF EN 1342 – mesure au pendule SRT).

Ces nouveaux produits ont été validés par deux chantiers réalisés au CST en avril 2014 et septembre 2015. Ces planches font l'objet d'un suivi de l'effet hydrophobant et de mesures de colorimétrie et d'adhérence.

Le procédé Sacerlift® a été retenu par l'IDRRIM dans le cadre d'une charte Innovation « Routes et Rues », pilotée par la Direction Technique Routes France de Colas. Des chantiers sont en projet à Lyon, avec Colas Rhône-Alpes Auvergne, ainsi qu'à Poitiers, avec Colas Centre-Ouest.

Laurence Durivault-Reymond 

COLMAT® AU BITUME PARAFFINIQUE

➤ **QUAND LA FORMULATION DE L'ENROBÉ COULÉ À FROID COLMAT® TROQUE LE BITUME NAPHTÉNIQUE POUR LE BITUME PARAFFINIQUE. RETOUR SUR UNE ÉVOLUTION LIÉE À DES CONTRAINTES D'APPROVISIONNEMENT.**

Colmat® est un enrobé coulé à froid (ECF) à l'émulsion de bitume. Le mélange est fabriqué en place à l'aide d'une machine spécifique. Il constitue une couche de roulement imperméable et rugueuse. Plusieurs millions de m² sont ainsi mis en œuvre chaque année en France par Colas.

Lors de la mise en œuvre, le mélange passe de l'état liquide, dans le malaxeur, à l'état solide, pour une remise sous circulation dans les trente minutes. Ce durcissement correspond à la rupture de l'émulsion. La formulation de l'émulsion, et particulièrement l'origine des bruts chimiquement différents (naphténiq ou paraffinique) dont est issu le bitume, est un point clé de la réussite des campagnes d'ECF.

Depuis de nombreuses années, en France, les émulsions pour Colmat® sont à base de bitume naphténiq. L'avantage de ce dernier réside dans des temps de prise très courts même en condition d'arrière-saison. Son inconvénient est sa rareté.

En septembre 2014, le principal fournisseur annonçait officiellement la rupture définitive d'approvisionnement en bitume naphténiq en 2015. Le compte à rebours s'est alors déclenché. Chaque filiale devait trouver une solution en bitume paraffinique.

Des travaux menés sur des solutions alternatives dès 2013 ont alors servi de base à une série d'expérimentations. Durant l'hiver 2014/2015, les laboratoires de filiales, Chemoran ainsi que le CST ont continué le travail de formulation pour affiner les solutions et en trouver de nouvelles. La campagne 2015 a vu de nombreuses expérimentations se réaliser pour confirmer sur chantier les formulations établies durant l'hiver. La reprise des livraisons du bitume naphténiq a finalement laissé le choix aux filiales de garder les anciennes formulations ou d'adopter les nouvelles au bitume paraffinique. Entre 2014 et 2015, une quarantaine de planches expérimentales ont été réalisées et certaines filiales ont pu complètement basculer en bitume paraffinique.



Chantier Colmat® en couche d'accrochage

Ce bel exemple de synergie illustre le travail réalisé par les services techniques afin de maîtriser l'interchangeabilité des matières premières et de sécuriser l'approvisionnement des chantiers en matériaux. Ce bilan très positif a également été rendu possible grâce aux équipes de mise en œuvre, qui ont compris l'enjeu de ces planches expérimentales remettant parfois en question les habitudes de travail.

Abdeltif Belkahia 

LA DURABILITÉ DES BÉTONS, UNE NOUVELLE COMPÉTENCE AU CST

LA DURABILITÉ SE PLACE AU CŒUR DU NOUVEAU CONCEPT DE FORMULATION DES BÉTONS POUR LE GÉNIE CIVIL. AFIN DE RÉPONDRE À CETTE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE, LE CST S'EST ÉQUIPÉ DE PLUSIEURS DISPOSITIFS D'ESSAIS PERMETTANT DE CARACTÉRISER LES PROPRIÉTÉS DE DURABILITÉ DES BÉTONS.



Perméabilimètre à gaz

Parfois exposés à des conditions d'exposition sévères (attaque chimique par les ions chlorures contenus dans l'eau de mer, carbonatation par le dioxyde de carbone atmosphérique, cycle de gel-dégel...), les bétons de Génie Civil font de plus en plus l'objet de fortes exigences de la maîtrise d'ouvrage en termes de durabilité. La tendance aujourd'hui est ainsi de pouvoir garantir une durée de vie la plus longue possible à ces ouvrages, allant même parfois au-delà de 100 ans.

À ce titre, la normalisation a évolué ces dernières années et introduit la démarche de formulation des bétons selon l'approche performantielle. Fondée notamment sur des notions d'indicateurs de durabilité du béton, cette méthode innovante, globale et prédictive de la durabilité des ouvrages est un saut technologique majeur par rapport aux pratiques actuelles basées sur une approche de prescription de moyens (composition du béton,

caractéristiques des constituants), qui reste utilisable pour les ouvrages plus courants.

Pour répondre à cette nouvelle démarche, le Campus Scientifique & Technique s'est ainsi doté des équipements permettant la caractérisation des bétons selon certains de ces indicateurs :

- Porosité accessible à l'eau P_{eau} - NF P18-458
- Perméabilité au gaz K_{gaz} - XP P18-463
- Profondeur de pénétration d'eau sous pression - NF EN 12390-8
- Coefficient de migration des ions chlorures D_{app} - NT Build 492

Selon l'environnement de l'ouvrage, des risques d'attaque du béton et la durée de vie visée, des seuils sont définis pour ces indicateurs et il convient de formuler les bétons en respectant ces seuils en plus des critères habituels comme la résistance en compression.

Le chantier de la Nouvelle Route du Littoral à La Réunion est le premier projet du groupe Colas à s'inscrire dans cette démarche. Parallèlement à la création d'un laboratoire béton et durabilité dédié à ce grand chantier, GTOI, filiale réunionnaise de Colas, et le CST collaborent sur ce sujet en étudiant notamment des optimisations de formules.

Ces dispositifs d'essais ont également permis de réaliser une étude visant la valorisation et le développement du métakaolin* d'Argéco, filiale de Colas Midi-Méditerranée, en addition dans un béton. Des ouvrages témoins ont été programmés début 2016 sur le chantier de la Rocade L2 à Marseille.

Guillaume Lacire

* Composé déshydraté d'origine argileuse.

THERMECO[®], LE BÉTON ISOLANT STRUCTUREL COLAS

➤ **ALLIANT À LA FOIS PERFORMANCES MÉCANIQUES ET PROPRIÉTÉS THERMIQUES ISOLANTES, CE NOUVEAU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI DESTINÉ À LA RÉALISATION DES MURS DE FAÇADE PERMET DORÉNAVANT À COLAS DE PROPOSER UNE NOUVELLE SOLUTION POUR RÉDUIRE LES DÉPERDITIONS THERMIQUES DES BÂTIMENTS.**

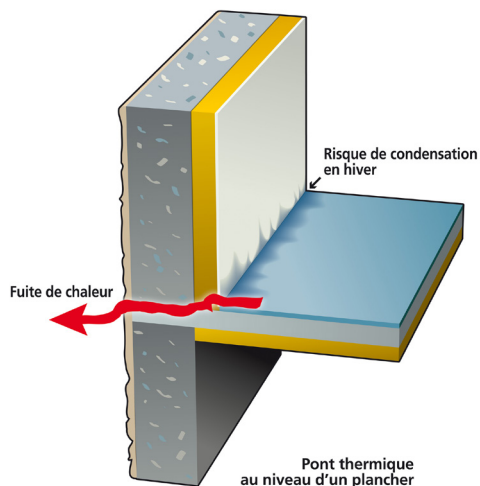
Dans le cadre de la Réglementation Thermique RT 2012, la conception des nouveaux bâtiments exige désormais de réduire les dépenses énergétiques à 50 kWh/m²/an et oblige le constructeur à mettre en place des moyens permettant de traiter les ponts thermiques (cf. schéma).

Fruit d'une collaboration efficace entre Bronzo Perasso, filiale de Colas Midi-Méditerranée, et le CST, Thermeco[®] est un béton prêt à l'emploi alliant à la fois performances mécaniques et propriétés thermiques isolantes. Conforme à la norme produit béton NF EN 206/CN, sa formulation spécifique constituée de gravillons légers et isolants (argile expansée) lui confère une conductivité thermique inférieure à 0,6 W/m°C, soit une isolation quatre fois plus importante qu'un béton standard. Intégré dans un système classique d'Isolation Thermique par l'Intérieur (ITI), le béton Thermeco[®] garantit ainsi des performances énergétiques conformes à la RT 2012.

Pouvant être produit en centrale classique, ce béton présente une bonne ouvrabilité et est mis en œuvre comme un béton traditionnel, sans modification des habitudes de chantier. Véritable solution alternative à l'Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) et à la pose de rupteur thermique, ce béton permet ainsi de continuer à travailler avec les méthodes constructives traditionnelles tout en conservant une liberté architecturale pour la conception des façades.

Encore en phase expérimentale sur les centrales à béton de Bronzo Perasso, ce nouveau procédé Thermeco[®] permet dorénavant aux filiales du Groupe de répondre aux marchés des Bétons Isolants Structurels. Six chantiers, représentant près de 2 050 m³ de Thermeco[®], sont réalisés sur la région marseillaise. À noter que la collaboration continue avec Colas Rhône-Alpes Auvergne afin de valoriser des solutions Groupe à base de granulats isolants naturels.

Guillaume Lacire 



ENROBÉ COLORABLE POUR VOIE BHNS À LA RÉUNION

LA RÉUNION VISE À DOTER SON TERRITOIRE D'UN RÉSEAU DE TRANSPORT À HAUT NIVEAU DE SERVICE ET À DÉVELOPPER DES SITES PROPRES POUR LES TRANSPORTS URBAINS. DANS CE CONTEXTE, LE CST EN COLLABORATION AVEC GTOI, FILIALE RÉUNIONNAISE DE COLAS, A FORMULÉ UN COMPLEXE D'ENROBÉS BITUMINEUX À BASE DE LIANT CLAIR PERMETTANT DE RÉPONDRE AUX SOLlicitATIONS SPÉCIFIQUES EN ORNIÉRAGE DES VOIES BHNS (BUS À HAUT NIVEAU DE SERVICE).

Dans le cadre de la réalisation de voies TCSP (Transport commun en site propre) dans le Sud de l'île, les maîtres d'œuvre (EGIS France) et d'ouvrage (CIVIS : Communauté Intercommunale des Villes Solidaires de la micro région Sud de la Réunion) ont souhaité une voie de bus avec un revêtement distinct et une coloration spécifique des voies VL et PL traditionnelles.

Afin de répondre à ce marché, une variante a été proposée par GTOI afin de limiter l'épaisseur de la couche de roulement ainsi que l'importation des matériaux. En effet, les matériaux de couleur rouge n'étant pas disponibles localement, le choix des granulats s'est porté sur les matériaux de la carrière Roy La Gouraudière, en Métropole.

Le CST a été sollicité afin de tester différents complexes d'enrobés bitumineux anti-orniérants de couleur rouge à base de liant Bituclair® BHNS (liant

de grade dur, développé au sein du service Chimie Routière, en provenance de l'usine de Vitrolles).

Des essais d'orniérage ont été réalisés conformément à la norme, mais également dans des conditions plus sévères (vitesse plus lente, température de l'essai supérieure, pression pneumatique plus importante) afin de sélectionner le complexe ayant les meilleures performances mécaniques en termes de résistance à l'orniérage.

À l'issue de cette étude, la structure BBMc sur GB avec 20% d'agrégats d'enrobés a été retenue.

Elle a été mise en oeuvre sur la commune de Saint-Pierre de La Réunion fin mars 2015, pour une mise en service du TCSP en juillet 2015. Des lots complémentaires ont été réalisés en novembre 2015.

Émilie Combes



COMPOMAC® S'EXPORTE EN EUROPE CENTRALE



CHRONIQUE D'UN ENROBÉ STOCKABLE FABRIQUÉ À CHAUD.

Tout est parti d'une idée originale de Jean-Paul Dupuy, directeur technique Colas en Slovaquie, qui cherche à développer un produit nouveau adapté au contexte local.

En France, l'enrobé dense stockable est plus connu sous le nom de Compomac®. Le principe ? Enrober séparément le sable et les gravillons avec deux émulsions différentes spécialement formulées. À la clé, un produit maniable et surtout bien enrobé. D'emblée, l'idée de développer un tel produit en Slovaquie séduit mais se heurte à une contrainte. Le Groupe ne dispose pas de centrale à froid dans ce pays. La solution ? Elle se trouve dans l'Est de la France.

Depuis quelques années, Colas Est réalise du simple enrobage pour les enrobés stockables. Ce procédé, qui peut surprendre, consiste à utiliser non pas du bitume, mais de l'émulsion dans une centrale à chaud. L'astuce est de chauffer les granulats à une température d'environ 110°C, puis d'injecter l'émulsion sur les granulats. La qualité d'enrobage est alors au rendez-vous.

Et le procédé convainc. Le CST est alors mobilisé pour formuler un enrobé avec les matériaux de Slovaquie. La Direction matériel Europe Centrale (DEC) procède à des modifications de la centrale de Zilina.

Se met alors en place une synergie entre Colas Est, le CST, la DEC et Colas Slovaquie. Pendant trois jours intenses, sur le site même de la centrale, les compétences de chacun sont mobilisées. Puis la DEC forme les opérateurs, suite aux modifications matérielles réalisées (conduite émulsion spécifique, extracteur pour les vapeurs...). Colas Est et le CST participent aux ajustements de formule (proportions des constituants, teneur en émulsion...) et réalisent in situ des essais de maniabilité sur les formules fabriquées. Après une dizaine de fabrications différentes, Tatracol® naît en Slovaquie.

Quelques mois après, ces mêmes compétences sont réunies en Pologne, à la centrale de Poznan. Même synergie, même succès. L'enrobé stockable arrive alors en Pologne.

La Hongrie et la Roumanie ont modifié une de leurs centrales pour fabriquer du Tatracol®. Une belle success story !

Thomas Zamaron 

ATTERRISSAGE DE BÉTOFLEX® À CALGARY



L'ADMINISTRATION AÉROPORTUAIRE DE CALGARY EN ALBERTA A SOLlicitÉ STANDARD GENERAL INC.-CALGARY, FILIALE DE COLAS CANADA, POUR RÉPONDRE À UNE PROBLÉMATIQUE RÉCURRENTE DE DÉFORMATION PERMANENTE SUR LES AIRES D'ATTENTE DES TAXIWAYS CHARLIE ET ALPHA.

La solution devait répondre à deux exigences :

- interruption minimum de l'exploitation de l'aéroport par une rapidité d'exécution des travaux,
- forte résistance à l'orniérage (profondeur d'ornière < 5 mm à 30 000 cycles à 60°C).

Le procédé Bétoflex®, déjà mis en œuvre sur des zones aéroportuaires (Ile de la Réunion, Ile Maurice, Sumburgh en Écosse, Toulouse en France, etc.), a été proposé par Standard General Inc.-Calgary.

Pour répondre à l'exigence de temps de mise en œuvre réduit, un Bétoflex® 0/16 mm a été préconisé (e= 10 cm). Restait alors la problématique concernant l'orniérage : la formulation du liant a été réalisée au laboratoire GECAN à Acheson, en Alberta. La formulation de l'enrobé s'est effectuée au CST, puis a été complétée par Colas Canada selon les standards locaux.

Le liant est un Colflex® fortement modifié et offrant des performances accrues tout en maintenant des viscosités de malaxage et compactage à des températures réalisables in situ.

Le Bétoflex® 0/16 a été formulé au CST avec des matériaux Sphyhill Calgary, 100% concassés. Le granulats de très bonne qualité et associé au liant PG 58 E-28 (PG : Performance Grade qui définit, selon un référentiel américain, les plages de températures d'utilisation du bitume) a permis aux équipes de relever le défi de résistance à l'orniérage. Le chantier a donné toute satisfaction au client, qui compte continuer à utiliser Bétoflex® sur de futures réalisations.

Florence Leroy-Mallol

VALORTIÈDE[®], 100% D'AGRÉGATS D'ENROBÉS RECYCLÉS

VALORTIÈDE[®] EST UN PRODUIT MIS AU POINT PAR COLAS SUISSE COMPOSÉ EXCLUSIVEMENT D'AGRÉGATS D'ENROBÉS TRAITÉS AU VÉGÉFLUX[®], FLUXANT À BASE D'HUILE VÉGÉTALE. SA SPÉCIFICITÉ ? VALORISER LE RECYCLAGE À 100% D'AGRÉGATS D'ENROBÉS TOUT EN GARDANT DES PERFORMANCES MÉCANIQUES APPROPRIÉES POUR DES UTILISATIONS BIEN DÉFINIES (ROUTES À FAIBLE TRAFIC, USAGE PIÉTONNIER, CYCLABLE ET/OU DE STATIONNEMENT POUR VÉHICULES LÉGERS).

C'est en 2011 qu'ont été testées différentes modalités de production d'un mélange d'agrégats composé à 100 % d'agrégats d'enrobés, chauffé et traité avec des taux variables d'additif. Colas Suisse a ainsi travaillé sur la valorisation de ces agrégats d'enrobés en utilisant la centrale (TECVIA), installée à Genève, qui possède un tube permettant la chauffe des agrégats (130°C). La maniabilité de ces mélanges a ensuite été évaluée par les équipes de mise en oeuvre, et les produits ont fait l'objet d'une caractérisation en interne. Six formulations ont ainsi été étudiées. Les études de laboratoire ont permis d'optimiser le dosage en Végéflux[®], pour une température de fabrication de 130°C.

Un programme d'essais complémentaires a été engagé par le service Enrobés du CST afin de suivre l'évolution mécanique des agrégats d'enrobés traités au Végéflux[®] avec des dosages différents sur deux lots d'agrégats venant respectivement de Suisse et de Belgique. Les résultats sur les essais PCG, Duriez, orniérage, module et résistance à la fatigue ont été concluants et ont permis d'obtenir des performances équivalentes à celles exigées pour une grave bitume de classe 2.

Ce travail a également permis de quantifier l'évolution du module de l'enrobé et des caractéristiques du liant extrait de l'enrobé Valortière[®] durant une période de 2 ans. Le suivi des performances de ces recyclés sur une longue période a mis en évidence le mûrissement de ces enrobés par la siccativité du Végéflux[®].

Le retour d'expérience sur les chantiers réalisés depuis 2011 par Colas Suisse (voiries temporaires, pistes cyclables, zones de trottoirs, parkings pour VL)

est très satisfaisant. Aucune dégradation notable n'est signalée. L'optimisation de la formulation (dosage en Végéflux[®]) se fait en fonction des conditions de mise en oeuvre et de l'usage prévu ainsi que des recyclés utilisés (granulométrie et teneur en liant étant fixées).

Ce type de produit pourrait évoluer à terme mais être aussi valorisé dans le cadre d'études visant à formuler des enrobés à très fort taux de recyclés (70%).

Flavien Lubineau



LES NOUVEAUX PRODUITS EN DÉVELOPPEMENT

➤ AU COURS DU SECOND SEMESTRE 2015, TROIS NOUVEAUX PRODUITS MIS AU POINT AU CST ONT ÉTÉ MIS À LA DISPOSITION DES FILIALES DU GROUPE.

COLFLEX® BH

La composition inédite de ce liant modifié formulé permet de conjuguer la maîtrise de la fluctuation chronique du coût du polymère utilisé dans les bitumes modifiés et la réduction de la température des enrobés à base de ce type de liant.

Désormais disponible en France, Colflex® BH met le cap sur l'Asie. Des formulations adaptées aux marchés chinois et thaïlandais viennent d'être mises au point par le laboratoire de Tipco, filiale thaïlandaise de Colas.

SACERLIFT®

Cure de jouvence pour ce procédé d'entretien et de rénovation des surfaces minérales, qui avait remporté en 2011 le Prix de l'Innovation au Salon des Maires et des Collectivités Locales. Une nouvelle formulation optimisée de ce procédé a permis d'améliorer considérablement ses performances (lire article p.22).

L'ADDITIF GYS

Les enrobés tièdes à base d'additif GYS marquent l'aboutissement des recherches dans ce domaine. Déjà évoquée dans le dossier Focus du premier numéro du CampusMag en mars 2014, cette option a permis de confirmer industriellement, principalement avec l'aide de Colas Île-de-France Normandie, les premières tendances favorables perçues en laboratoire.

La réduction de 40°C de la température de production des enrobés est validée, sans perte de maniabilité ou de performances par rapport aux fabrications standard.

Thierry Delcroix



L'ACTIVITÉ D'ÉCOLIANT PRODUITS



ENTITÉ DU CAMPUS, ÉCOLIANT PRODUITS APPORTE SON EXPERTISE POUR LA FABRICATION ET LA DISTRIBUTION DE PRODUITS EXCLUSIFS.

Écoliant Produits dispose d'un stock de produits codés qui sont distribués à la demande.

Le codage des produits assure une confidentialité, indispensable pour une utilisation dans les industries du Groupe et en GIE (Groupement d'Intérêt Économique).

Les matériels d'Écoliant Produits permettent la fabrication de produits exclusifs à Colas dans des conditions semi-industrielles. Ils permettent également de réaliser des fabrications expérimentales pour le CST, ainsi que des émulsions claires à base de bitume de synthèse, et d'élaborer ou de tester des processus industriels en collaboration avec la direction Matériel de Colas.

Le contrôle des matières premières et des produits finis est un gage de qualité. Tous les produits sont vérifiés, y compris ceux revendus à travers un réseau de partenaires.

Tous les produits peuvent être envoyés dans les différents pays où Colas est implanté. L'international représente 25 % de l'activité d'Écoliant Produits, en nette progression du fait notamment de la distribution depuis juillet 2014 de fluxants végétaux, aujourd'hui distribués jusqu'en Australie.

EKOFLUX® : sa mise sur le marché en 2014 a permis de redynamiser les ventes de fluxant végétal Colas, contribuant à obtenir un prix compétitif. Avec 800 tonnes vendues en 2015, il représente 80 % du marché de fluxant végétal vendu par Écoliant Produits, dont 20 % à l'international.

VÉGÉFLUX® : son domaine d'utilisation est étendu aux bitumes fluxés et complémentaire de Ekoflux®. En 2015, 200 tonnes de Végéflux® ont été vendues, dont 40 % à l'international.

Écoliant Produits a été récemment choisi pour la distribution des mortiers de pavage Colpav® pose et Colpav® joint, mis au point au CST en partenariat avec la Direction Technique Routes France. Colpav® est un produit innovant, bi-composant sans ajout d'eau, permettant une application sur des supports semi-rigides.

Dominique Tresal 



PRÉVENTION DU RISQUE CHIMIQUE AU CST

➤ **DE NOMBREUX PRODUITS CHIMIQUES PEUVENT AVOIR DES EFFETS SUR L'HOMME ET SON ENVIRONNEMENT. IL EST IMPORTANT DE LES IDENTIFIER EN EXAMINANT LEUR FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ.**

Dans les cas où il n'a pas été possible de supprimer l'usage d'agents chimiques présentant un risque, il convient de mettre en place non seulement des mesures de protection collective mais aussi des équipements de protection individuelle (EPI) adaptés, tels que des masques. Il existe de nombreux types d'appareils respiratoires conçus par les fabricants pour s'adapter chacun à un domaine précis et restreint de situations d'utilisation. En s'appuyant sur la brochure réalisée par l'INRS sur les appareils de protection respiratoire, le CST a sélectionné les masques et cartouches filtrantes appropriés aux besoins de ses collaborateurs et a mis en place la gestion de ces EPI. Un « Safety Meeting » a ensuite été réalisé afin d'informer chaque collaborateur, notamment du bon équipement et du délai de remplacement des cartouches. Les trois principaux masques utilisés au CST sont :

- le masque anti-poussières,
- le masque protégeant des produits chimiques organiques ayant un point d'ébullition inférieur à 65°C,

- le masque protégeant des produits chimiques organiques ayant un point d'ébullition supérieur à 65°C.

En complément, le CST s'est équipé d'une pompe permettant de réaliser des prélèvements d'air en vue d'analyses par un laboratoire extérieur. En suivant certaines conditions, le résultat obtenu peut alors être comparé aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) contraignantes définies pour certains agents chimiques dans le décret n° 2012-746 du 9 mai 2012. Ces contrôles d'exposition des salariés permettent ainsi d'évaluer le risque chimique résiduel au cours des essais pratiqués en laboratoire.

Agnès Prot et Graziella Durand 



Masque anti-poussières



Masque protégeant des produits chimiques organiques - PE < 65°C

UN SAFETY DAY 2015 TRÈS ANIMÉ AU CST

» CETTE JOURNÉE S'EST OUVERTE AVEC LES INTERVENTIONS DE **PHILIPPE SIMARIK**, DIRECTEUR DE LA PRÉVENTION SANTÉ ET SÉCURITÉ DE COLAS, ET **JEAN-YVES BIGNON**, DIRECTEUR RISQUES ET ASSURANCES DE COLAS.

L'équipe des animateurs sécurité du CST a ensuite organisé quatre ateliers participatifs sur les thèmes suivants :

- la sécurité routière,
- l'ergonomie à son poste de travail,
- la sécurité spécifique au CST,
- les accidents de la vie domestique.

Les récompenses aux vainqueurs du quizz Sécurité ont été remises par Philippe Raffin au cours d'un buffet très convivial !

Graziella Durand



Masque protégeant des produits chimiques organiques - PE > 65°C



Pompe pour prélèvement d'air

LES RENCONTRES SCIENTIFIQUES COLAS

L'ENVOL DES DRONES

DES JOUETS DISPONIBLES POUR QUELQUES DIZAINES D'EUROS AUX AÉRONEFS MILITAIRES, LES DRONES PRENNENT POSSESSION DE L'ESPACE AÉRIEN. LES UTILISATIONS COMMERCIALES SONT RÉALISÉES PLUTÔT DANS L'ÉVÉNEMENTIEL ET L'AUDIOVISUEL, MAIS DES USAGES INDUSTRIELS ONT ÉMERGÉ. À L'IMAGE DE COLAS QUI EN EXPLOITE DÉJÀ DANS SES CARRIÈRES. CLAUDE LE TALLEC, CHARGÉ DE LA MISSION « SYSTÈMES DE DRONES » AU SEIN DE L'ONERA, ÉTABLISSEMENT PUBLIC FRANÇAIS DE RECHERCHE DÉDIÉ AU SECTEUR AÉRONAUTIQUE ET SPATIAL, ET EMMANUEL DE MAISTRE, CO-FONDATEUR ET PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ REDBIRD, FONDATEUR DE LA FÉDÉRATION PROFESSIONNELLE DU DRONE CIVIL, ONT PARTAGÉ LEURS CONNAISSANCES CONCERNANT LES USAGES ACTUELS ET FUTURS DES DRONES, LORS DES RENCONTRES SCIENTIFIQUES ORGANISÉES AU CST EN MARS DERNIER.

POUVEZ-VOUS NOUS PRÉCISER CE QU'EST UN DRONE, SELON VOUS?

Claude Le Tallec : En anglais, le nom « drone » désigne le faux bourdon au vol erratique et au bourdonnement agaçant. Ce mot a été adopté quasi universellement pour nommer un engin volant ressemblant à un avion, un hélicoptère ou un ballon, et piloté à distance. Deux types de drones doivent être distingués. D'une part, les aéromodèles, des engins pilotés et utilisés exclusivement à des fins de loisir ou de compétition. Le pilote est à tout instant en mesure d'en contrôler directement la trajectoire pour éviter les obstacles et les autres aéronefs. D'autre part, pour tous les autres usages, le système

constitué par un aéronef télé-piloté équipé d'éléments, en particulier logiciels, servant à sa commande et à son contrôle, un pilote dans une station au sol et un système d'échange d'informations entre l'engin volant et le pilote. Cette distinction est importante pour définir les conditions d'utilisation, les règles à respecter pour éviter des accidents et permettre une mise en œuvre sécurisée de ces nouveaux outils.

Emmanuel de Maistre : Cette distinction a permis de poser les bases des arrêtés publiés en 2012 qui réglementent l'utilisation des drones civils. C'est à partir de ce cadre juridique que l'activité commerciale a pu prendre son envol. Ainsi en novembre 2012, la Direction Générale de l'Aviation

« Les drones sont des outils privilégiés de développement de capteurs de logiciels et de nouveaux équipements... »

CLAUDE LE TALLEC



Civile (DGAC) dénombrait environ 70 sociétés exploitant une centaine de drones immatriculés. Début 2015, plus de 1 000 sociétés fabriquent ou opèrent environ 2 300 drones.

En fixant les règles du jeu (le cadre réglementaire), l'État fournit aux assureurs un moyen d'évaluer les risques de cette activité et ainsi d'assurer les sociétés qui se sont lancées sur ce marché. En 2013, le chiffre d'affaires a été évalué entre 30 et 50 millions d'euros, dont 90 % réalisés dans le secteur audiovisuel (médias, communication, événementiel).

QUELS SONT LES USAGES DE CES ENGINS VOLANTS ?

Emmanuel de Maistre : Pour le secteur principal, les médias, il s'agit de produire des images. Les applications industrielles, qui représentent le gisement de croissance du secteur, peuvent être regroupées en quatre grands domaines :

- les réseaux de transport : le rail, la route et les pipelines,
- la construction, les travaux publics : pour le suivi des chantiers, l'inspection des ouvrages en hauteur, la cartographie en 3 dimensions,
- les mines et les carrières : la cartographie, la topographie, le suivi des stocks, l'évaluation des cubatures,
- l'agriculture et l'environnement : le diagnostic des populations de végétaux, le suivi de leur niveau de maturité, de leur état hydrique.

Claude Le Tallec : Bien sûr, nous travaillons sur la mise au point de drones en tant que tels, toujours plus sûrs et plus performants, mais nous les utilisons aussi comme moyen de recherche. Ce sont des outils privilégiés de développement de capteurs

de logiciels et de nouveaux équipements, et de démonstration de la pertinence des concepts que nous inventons, notamment concernant le transport aérien, pour autant que soient surmontées quelques difficultés.

À VOUS ÉCOUTER, IL SEMBLE QUE NOUS SOYONS À UN TOURNANT ?

Claude Le Tallec : Effectivement, il faut trouver des réponses pertinentes à deux questions majeures. Quel niveau de sécurité est nécessaire pour exploiter des drones et mettre en oeuvre ces nouveaux usages ? Comment sécuriser, sans bloquer, le développement de ces usages ? Cela passe par la formation des pilotes, par la conception de systèmes de détection et d'évitement légers et fiables, par la mise en commun des plans de vols des différents utilisateurs de l'espace aérien, par la conception d'une réglementation qui garantisse le respect de la vie privée et qui permette la prévention des utilisations malveillantes.

Emmanuel de Maistre : La structuration de la filière, couplée avec ce besoin d'évolution de la réglementation, est en effet le point-clé actuellement. Il faut ouvrir aux usages générateurs d'activité commerciale et d'emplois. Je pense par exemple aux vols longues distances, sur plusieurs dizaines de kilomètres, hors de la vue du pilote. Cela doit se faire en maintenant un niveau de sécurité et de sûreté accepté par la société.

Jean-Éric Poirier



ROBOTS : VERS UNE COLLABORATION HOMME-MACHINE

➤ **EXOSQUELETTES, BRAS CHIRURGICAUX, ROBOTS PORTEURS DE CHARGES... ET SI LA MACHINE NE REMPLAÇAIT PAS L'HOMME, MAIS LE SECONDAIT DANS SES TÂCHES LES PLUS PÉNIBLES ? C'EST LÀ TOUT L'ENJEU DE LA « COBOTIQUE » OU ROBOTIQUE COLLABORATIVE. CES « COBOTS » ONT VOCATION À AMÉLIORER LES CONDITIONS DE TRAVAIL, RÉDUIRE LA FATIGUE ET LES RISQUES D'ACCIDENTS. EN SUISSE, COLAS EXPÉRIMENTE UN EXOSQUELETTE CONÇU PAR LA SOCIÉTÉ RB3D ET LE CEA, QUI FAIT PARTIE DE CETTE FAMILLE DES ROBOTS COLLABORATIFS. EN OCTOBRE DERNIER, LORS DES RENCONTRES SCIENTIFIQUES COLAS, YANN PERROT, CHEF DU LABORATOIRE DE ROBOTIQUE INTERACTIVE AU CEA, ET SERGE GRYGOROWICZ, FONDATEUR ET PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA SOCIÉTÉ RB3D, SONT VENUS EXPLIQUER L'INTÉRÊT ET LES PRINCIPES DE LA « COBOTIQUE ».**

DES BRAS CHIRURGICAUX QUI OPÈRENT À DISTANCE, DES EXOSQUELETTES POUR RÉAPPRENDRE À MARCHER OU DES ROBOTS PORTEURS DE CHARGES... EN QUOI CONSISTE LA COBOTIQUE OU ROBOTIQUE COLLABORATIVE ?

Serge Grygorowicz : Le rêve des roboticiens est de construire une machine qui remplacerait l'homme dans la totalité de ses capacités. Mais entre ce rêve et la réalité actuelle des robots, même les plus expérimentaux, il existe encore un large fossé. Alors, lorsqu'on veut concevoir un robot pour accomplir une tâche donnée, on a souvent le choix entre deux options.

Yann Perrot : Soit on conçoit un robot complètement autonome, qui serait capable d'effectuer la totalité des actions nécessaires à la réalisation de la tâche envisagée. Mais, dans ce cas, la tâche ne doit pas être trop complexe. Par exemple, se déplacer sur un chantier réel est une tâche que les robots bipèdes ne savent pas encore réaliser. Soit on conçoit un

robot qui réalise une partie de ces tâches pendant que l'homme, qui reste alors au cœur du système, en réalise d'autres. Cette famille de robots a été baptisée « cobot » pour la distinguer des robots autonomes.

Serge Grygorowicz : Concevoir un « cobot », c'est chercher à associer l'humain et la machine dans ce qu'ils ont de plus efficace chacun de leur côté. À l'homme, la perception et la cognition des conditions imposées par l'environnement sur la manière de réaliser la tâche à accomplir. À l'humain encore, le soin de mettre en œuvre le savoir-faire et l'expertise de son métier pour arriver au résultat voulu. À la machine, de fournir les efforts mécaniques, les actions répétitives, les cadences élevées. Cette répartition des tâches présente l'avantage de redonner de l'intérêt aux travaux nécessitant des efforts physiques, et d'éviter d'exposer l'être humain au risque de troubles musculo-squelettiques, qui sont aujourd'hui la principale cause des maladies professionnelles.

« Associer l'humain et la machine dans ce qu'ils ont de plus efficace chacun de leur côté. »

SERGE GRYGOROWICZ



Yann Perrot : Un autre intérêt de cette solution - attribuer les efforts mécaniques à la machine, et les actions cognitives comme percevoir, s'adapter, choisir, décider, à l'humain - est d'ouvrir des postes à des personnes qui n'ont pas la capacité physique de tenir les postes en question s'ils ne sont pas assistés mécaniquement.

L'EXOSQUELETTE, OPÉRÉ PAR COLAS EN SUISSE, EST-IL CONSIDÉRÉ COMME UN « COBOT » ?

Serge Grygorowicz : Tout à fait. L'exosquelette au cinéma, c'est Iron Man dans le film de Shane Blake. Un exosquelette s'enfile comme une sorte de vêtement. L'homme fait les mouvements mais c'est l'exosquelette qui porte les charges et réalise les efforts. C'est une structure motorisée qui prend en charge la masse à porter, la charge à tirer ou à pousser, l'effort à faire.

Yann Perrot : Les premiers projets d'exosquelette ont vu le jour dans les années 1960. Trop lourds, trop volumineux, ils ne sont pas sortis des laboratoires. La numérisation, la miniaturisation des calculateurs, la baisse des coûts de l'informatique et enfin les appels à projets émis par les complexes militaro-industriels ont relancé ces projets à l'aube du XXI^e siècle.

CET EXOSQUELETTE A ÉTÉ CONÇU POUR ASSISTER LA MISE EN ŒUVRE DES ENROBÉS AU RÂTEAU. QUELLES ONT ÉTÉ LES DIFFICULTÉS À RÉSOUDRE ?

Serge Grygorowicz : La première difficulté était de capter l'intention de l'homme et de l'accompagner dans son mouvement, en tenant compte de l'intensité, de la direction, de l'amplitude. La solution adoptée par le « cobot » japonais Hal, souvent cité en exemple dans les médias, consiste à se coller des électrodes sur la peau. Si elle est acceptable dans le milieu médicalisé, pour lequel Hal a été conçu, elle est complètement inadaptée à une situation de travail à l'extérieur.

Yann Perrot : Une technologie d'actionnement - qui transforme l'énergie fournie en un phénomène physique utilisable - a été inventée. Nous nous sommes inspirés du fonctionnement des muscles. Un des avantages que nous en avons retirés est que les actionneurs sont très allongés, comme les muscles. Leur encombrement est très bien adapté à la morphologie de l'homme, que l'exosquelette doit épouser.

Serge Grygorowicz : Cette technologie, couplée à une exploitation des performances des batteries et des matériaux utilisés, a permis de diviser la masse de l'exosquelette par un facteur deux et demi entre le premier démonstrateur et le prototype qui sera utilisé sur un chantier.

Serge Grygorowicz et Yann Perrot : Mais l'invention technique la plus remarquable, puisque c'est une première mondiale, est que nous sommes arrivés à reprendre les efforts horizontaux et à fournir une assistance à ces efforts. Le tireur au râteau exerce une poussée qui peut souvent avoisiner les 60 à 80 kg. L'exosquelette en fournit 90 %, les 10 % restants permettent à l'homme d'exercer son savoir-faire et son expertise, par exemple lors de la finition de la surface de la couche d'enrobés.

Jean-Éric Poirier



CÉDRIC LE GOUIL

37 ANS, CHEF DE SECTION
SERVICE MATÉRIAUX ET LIANTS HYDRAULIQUES (MLH)



« Fluctuat nec mergitur »

(DEVISE DE PARIS : « BATTU PAR LES FLOTS,
MAIS NE SOMBRE PAS »)

Passionné. Cédric Le Gouil est un homme passionné, que ce soit par son travail, sa famille, ses amis ou le football. Titulaire d'un DESS Matériaux avancés et management, réalisé au CNAM de Paris, il rejoint le CST par le biais de l'apprentissage en 2001, au sein du service Enrobés. Grâce à ses précédentes expériences dans le domaine du béton, acquises avant d'intégrer le CST, Cédric introduit la notion d'adjuvant* alors qu'il travaille sur des coulis pour enrobés percolés. Le résultat ? Le prix est divisé par deux et la performance mécanique multipliée par deux. Fin 2003, alors que le CST est réorganisé, il intègre le service Matériaux et Liants Hydrauliques. À partir de 2006, il met à profit son expérience « béton » lors de plusieurs missions techniques à l'international. Martinique, Hongrie, Roumanie, Slovaquie ou encore Gabon, il se rend sur place pour auditer les centrales, les méthodes de mise en œuvre et optimiser les formulations de béton. Responsable du service depuis 2008, ses missions sont l'assistance technique, l'expertise, l'innovation et la recherche de nouveaux produits. « Chercher c'est facile, trouver moins ! L'envie, l'optimisme, l'ouverture d'esprit, la rigueur, et la collaboration sont les clés pour maximiser les chances de faire aboutir un projet. »

C'est ainsi que le service MLH a contribué à la mise au point d'un béton isolant structural (lire article p. 25). « Un projet qui a abouti grâce à l'implication des filiales, notamment Colas Midi-Méditerranée », souligne Cédric. Du laboratoire à la réalité du terrain, il y a souvent un fossé. Alors, en amateur de ballon rond et fervent supporter du Paris-Saint-Germain, Cédric encourage l'action collective. « Associer les filiales aux projets de R&D et échanger avec les collaborateurs sur le terrain sont primordiaux. » Le collectif comme fil conducteur de sa carrière ? Il compte également à son actif la création et l'animation d'un réseau technique béton pour l'ensemble du Groupe. Chaque année, entre 40 et 60 collaborateurs de Métropole et de l'international se réunissent afin de partager leurs expériences.

Pour Cédric : « Rester proche du terrain, c'est d'abord rester proche des matériaux, comprendre les mécanismes. L'un de nos principaux objectifs est de trouver des solutions optimisées et essayer d'anticiper les futurs marchés pour travailler suffisamment en amont sur les sujets. »

* Dans la composition des bétons, un adjuvant est incorporé pour améliorer les caractéristiques du matériau à l'état frais ou à l'état durci.

FRANCK LECLERC

30 ANS, TECHNICIEN MÉTROLOGUE



« Le destin n'est pas une question de chance, c'est une question de choix »

(WILLIAM JENNINGS BRYAN)

Entre deux déplacements, c'est à peine si Franck a le temps de souffler ! France métropolitaine, Afrique, Océan Indien, Guyane, Antilles, Europe... Huit mois sur douze, il parcourt les océans. Hyperactif ce technicien métrologue ? « *Je cours souvent après le temps, confie le jeune homme de 30 ans. Les missions, qui peuvent parfois durer cinq semaines, s'enchaînent rapidement.* » Sa mission justement : vérifier la bonne mesure des différents matériels utilisés dans le groupe Colas ou le bon réglage des appareils servant à mesurer ces mêmes pièces. Une tâche qui exige minutie, précision, « *souci du détail et du travail bien fait* », précise-t-il. Une tâche à laquelle il n'était pourtant pas prédestiné... En 2007, Franck, alors étudiant en IUT mesures physiques à Orsay, cherche un job d'été pour financer ses vacances. Contacté par Jean Carroget, devenu directeur adjoint du Centre d'expertise et de documentation, il intègre le service métrologie d'Écoliant. « *Je n'y connaissais rien, se souvient-il. J'ai donc été formé pendant un mois. On m'a proposé de continuer un mois de plus.* » Qu'à cela ne tienne, il annule ses vacances et saisit l'opportunité ! Sans oublier toutefois de préciser qu'il souhaiterait réaliser son stage de 2^{ème} année au CST. Embauché en CDI en 2008, il est formé pendant deux

ans. Depuis 2010, il gère la métrologie pour l'international, ainsi que depuis 2015, pour Colas Midi-Méditerranée. Il est également suppléant technique sur certains dossiers COFRAC (Comité Français d'Accréditation). « *L'aspect logistique est primordial dans mon travail. De la balance à la presse béton en passant par le thermomètre, le compacteur ou la presse à cisaillement giratoire, l'éventail des matériels utilisés dans le Groupe est large. Chaque matériel répond à une norme qui requiert des exigences, il faut donc tout prévoir en conséquence lors des déplacements, gérer le transport du matériel (près de 800 kilos.)* » Sans oublier de contacter les clients, d'établir les devis, d'organiser les prestations, les déplacements, de rédiger les procès-verbaux, de suivre les réclamations clients, de préparer les audits...

Pour Franck : « *Il n'y a jamais deux journées identiques. Il faut savoir s'adapter à chaque nouvelle situation et à chaque nouvel environnement. J'aime aller sur le terrain, rencontrer d'autres personnes du Groupe ou en externe. J'en retire un épanouissement personnel et une ouverture d'esprit.* »

ÉCHELLE TRL / BRL

➤ **EXPLORATION, CRÉATION, DÉVELOPPEMENT : COMBINER R&D ET MARKETING POUR RÉPONDRE AUX ENJEUX D'AUJOURD'HUI.**

Afin d'améliorer l'adéquation de l'offre Colas aux besoins du marché, le Campus vient de revoir en profondeur son processus de conception et de mise au point de produits et procédés en intégrant, entre autres, deux outils de pilotage de l'avancement des projets, basés sur des échelles de maturité :

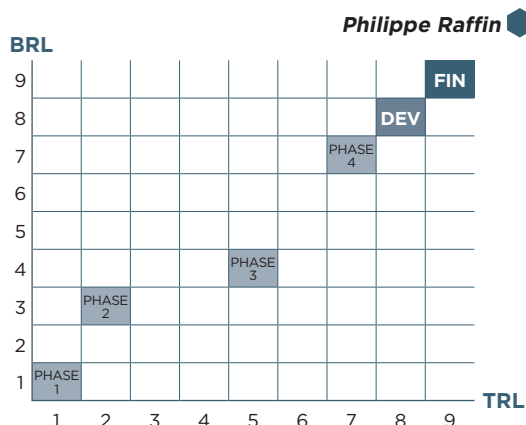
- **l'échelle TRL** (Technology Readiness Level ou degré de maturité technologique),
- **l'échelle BRL** (Business Readiness Level ou degré de maturité marché).

Conçue initialement par la NASA, puis également adoptée par l'Agence Spatiale Européenne pour leurs projets, l'échelle TRL, normalisée depuis 2012, traduit un état de maturité technologique en neuf niveaux répartis en trois phases :

- Recherche de base et appliquée
- Recherche avancée et démonstration technologique
- Qualification

L'échelle BRL n'est aujourd'hui pas normalisée mais obéit à la même logique d'évolution sur une échelle de 1 à 9.

Le pilotage des projets de R&D à partir de ces outils permettra un management optimisé, facilitera l'identification des freins et risques technologiques (techniques, environnementaux, équipements, etc.) et de marché pour permettre une meilleure adéquation de l'offre Colas aux attentes clients. Cette démarche mobilisera les expertises des directions fonctionnelles du Groupe, en complément de celles du CST.



ÉCO-SOCIO-CONCEPTION

➤ **LA RECHERCHE EST AU CŒUR DE LA CAPACITÉ D'INNOVATION DE COLAS. ELLE S'INSCRIT DANS LA DÉMARCHE DE DÉVELOPPEMENT RESPONSABLE DU GROUPE.**

Depuis les années 1990, la démarche de remplacement des matières premières dangereuses et la diminution de l'impact environnemental des solutions proposées se sont progressivement imposées dans la formulation des nouveaux produits. Aujourd'hui, le CST va plus loin en formalisant un processus d'éco-socio conception.

Il s'agit de prendre en compte, avant même le démarrage du travail de recherche, l'évaluation des risques potentiels pour la santé ou pour l'environnement. Ceci afin de les minimiser au maximum tout au long des études de laboratoire

et d'en évaluer les effets, soit par des mesures, soit par des calculs ou des simulations numériques. Le but est de proposer in fine une solution responsable sur le plan de l'environnement et de la santé, et performante. Cette démarche d'éco-socio-conception inclut la prise en compte des contraintes économiques pour une mise sur le marché. Le processus doit donc aboutir à un résultat représentant le meilleur compromis technico-économique, environnemental et sociétal.

Éric Godard 

COLTEC, NOUVELLE GÉNÉRATION

➤ **CRÉÉ EN 1990, L'INTRANET TECHNIQUE COLTEC DU SERVICE DOCUMENTATION A ÉVOLUÉ AU FIL DES ANNÉES POUR OFFRIR DE NOUVELLES FONCTIONNALITÉS AUX UTILISATEURS. CETTE QUATRIÈME VERSION PROPOSE DE NOUVELLES ALERTES ET UNE MEILLEURE GESTION DE L'INTRANET AVEC LE CHOIX D'UN LOGICIEL DOCUMENTAIRE.**

Actuellement plus de 17 000 documents sont à la disposition des collaborateurs du groupe Colas et sont consultables via l'adresse **http://coltec**, avec reconnaissance des droits d'accès à la connexion.

AMÉLIORATIONS ET NOUVEAUTÉS

- **Un espace personnel** - Chaque utilisateur peut y retrouver en permanence :
 - ses recherches et ses documents enregistrés,
 - ses demandes effectuées au Service Documentation et les réponses qui lui ont été apportées.
- **Évolution de la recherche :**
 - possibilité de faire aussi bien une recherche simple, avancée ou en texte intégral,
 - mise en place de filtres pour affiner la recherche par mots-clés, types de document, langue et auteurs.
- **Accès à SagaWeb** (normes Afnor) désormais disponible sur toutes les pages de Coltec.
- Possibilité de naviguer entre la version française et la version anglaise.
- **Abonnement à de nouvelles alertes** comme les textes réglementaires, les actualités...
- Aperçu des derniers documents intégrés dans Coltec dès la page d'accueil.
- Mise à disposition de FAQ.
- **Nouvelle organisation des données**, notamment des produits et ressources documentaires.

Claudine Foucault 

Pour tous renseignements complémentaires, merci de contacter le Service Documentation :

- Claudine Foucault : +33 (0)1 39 30 94 10
- Chloé Hutter : +33 (0)1 39 30 94 11
- Claire Galoué : + 33 (0)1 39 30 94 13
- Cendrine Marchand : +33 (0)1 39 30 94 12

documentation@campus.colas.fr



DES MOUTONS, DES ABEILLES ET DES HOMMES

➤ **EN 2015, LE CAMPUS SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE A ACCUEILLI DE NOUVEAUX PENSIONNAIRES.**

Depuis le printemps dernier, quatre moutons ont investi le site de Magny, avec pour mission d'assurer le maintien des espaces verts, une pratique connue sous le nom d'« éco-pâturage ». Ce jardinage naturel permet un développement des plantes à fleurs et de la biodiversité. Les moutons réalisent une tonte « sélective » des espaces verts en épargnant les fleurs et les insectes, contrairement aux tondeuses et autres outils mécaniques.

Vecteurs indispensables de la pollinisation, des abeilles ont également rejoint Magny. Installées dans quatre ruches, elles ont déjà permis la récolte d'une centaine de kilos de miel, qui sera distribué aux collaborateurs et visiteurs.

Sophie Bignault 

NOS ABEILLES

- 4 ruches,
- Pollinisation dans un rayon de 500 m à 1 km
- La production a été de 25 kg de miel par ruche, soit **100 kg** !



NOS MOUTONS

- **Écologique** : Plus besoin de carburant pour tondre, le sol est naturellement fertilisé à la juste mesure
- **Économique** : Plus besoin d'acheter de carburant ni d'engrais
- **Sympathique** : plus de bruit de moteur mais le charme paisible des « Moutondeurs »



AGRÉMENT LABOROUTE

➤ **L'AGRÉMENT PROFESSIONNEL N°15-127 A ÉTÉ DÉLIVRÉ PAR L'INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ (IDRRM) EN MAI 2015.**

Cet agrément atteste de la capacité des laboratoires du CST à réaliser des essais sur les matériaux de construction routière, en France et dans de nombreux autres pays. Près de 70 essais sont à ce jour concernés mais la liste devrait être chaque année incrémentée de nouveaux essais.

Six mois seulement se sont écoulés entre la décision d'initier la démarche Laboroute et l'audit pour l'obtention de cet agrément. Un groupe de travail inter-services s'est constitué pour établir le programme

et définir les échéances. Le travail efficace de l'ensemble des collaborateurs des laboratoires a ensuite contribué à satisfaire les exigences du référentiel Laboroute.

Deux auditeurs internes du CST sont désormais intégrés au groupe d'auditeurs Laboroute de Colas. Ils contribueront à la dynamique d'échange des bonnes pratiques.

Graziella Durand 

LES UNS ET LES AUTRES

BIENVENUE AUX NOUVEAUX



Philippe Hauza
Directeur Technique
en provenance de Colas Île-de-France
Normandie (18 mai 2015)



Benoît Tapin
Ingénieur R&D
(16 novembre 2015)



Stéphanie Hofmann
Comptable fournisseurs
en provenance de Colas Île-de-France
Normandie (1^{er} décembre 2015)



Yann Lefeuvre
Directeur du Centre d'Expertise
et de Documentation
en provenance de Colas Limited
(1^{er} janvier 2016)



Laurent Brissaud
Chef de Service Enrobés
en provenance de
Colas Rhône-Alpes Auvergne
(1^{er} janvier 2016)



Sophie Coulardeau
Ingénieur Géotechnique
(1^{er} janvier 2016)



Jean Lalo
Directeur en charge
des Financements à l'innovation
en provenance de Colas SA
(1^{er} janvier 2016)

BONNE CONTINUATION AUX MUTÉS *en interne*



Germain Caillet
Technicien R&D Service Enrobés
a rejoint le Service Matériaux
et Liants Hydrauliques
(1^{er} octobre 2015)



Caroline Levêque
Ingénieur R&D Service Matériaux
et Liants Hydrauliques a rejoint
la section Dimensionnement
(1^{er} octobre 2015)



Jean-Luc Gautier
Directeur Technique en charge
du Centre d'Expertise
et de Documentation a rejoint
la Direction Générale Internationale
(1^{er} janvier 2016)



Xavier Carbonneau
Chef de Service Enrobés
a rejoint la Direction
des Laboratoires
(1^{er} janvier 2016)

CAMPUSmag, magazine du Campus Scientifique et Technique du groupe Colas, 4 rue Jean Mermoz, 78772 Magny-les-Hameaux cedex, France - Mail : recherche-et-developpement@campus.colas.fr - www.colas.com.

Directeur de la publication : **Philippe Raffin** - Directeur de la rédaction : **Thierry Delcroix** - Comité de rédaction : **Jean-Luc Gautier, Éric Godard, Sophie Bignault, Julien Roux, Cendrine Marchand, Laurence Durivault-Reymond, Arnaud Leroy** - Rédacteurs : **Yves Le Gal, Julien Van Rompu, Bernard Yvinec, Éric Godard, Aurélie Lorserie, Ludvine Fanouillet, Thierry Delcroix, Jean-Pierre Sanfratello, Sébastien Denaes, Cédric Le Gouil, Jean-Luc Gautier, Éric Coquelle, Franck Barruel, Laurence Durivault-Reymond, Abdeltif Belkahia, Guillaume Lacire, Émilie Combes, Thomas Zamaron, Florence Leroy-Mallol, Flavien Lubineau, Dominique Tresal, Agnès Prot, Graziella Durand, Jean-Éric Poirier, Philippe Raffin, Claudine Foucalt, Sophie Bignault, Stéphanie Beauvais.**

Crédits photos : **J. Bertrand** (couverture, p.2, p.4, p.6, p.7, p.14, p.15, p.16, p.19 haut, p.20, p.24, p.32, p.33, p.37, p.38, p.39, p.41), **J. Campos-Swissmovie** (p.36), **CEA/P. Avavian** (p.19 bas), **Colas Canada** (p.28), **Colas CST** (p.5, p.9, p.12, p.17, p.22, p.23, p.25 gauche, p.27, p.33 haut, p.41, p.42), **Colas Suisse** (p.29), **R. Cosstick** (p.41), **H. Douris** (p.26), **Graphis.thque-Fotolia** (p.25 droite), **E. Herchaft** (p.30), **P. Stroppa** (p.12 droite, p.13, p.31), **P. Zito-Ufly** (p.35) - Conception et réalisation : **Free-lance's l'Agence 01 47 93 20 20.** Imprimé à 6 000 exemplaires par **PDI SA** sur papier Condat Silk 100% PEFC (issu de forêts durablement gérées) avec des encres végétales, finition de la couverture avec un vernis à l'eau.

CAMPUSmag

LE MAGAZINE DU CAMPUS SCIENTIFIQUE
& TECHNIQUE DU GROUPE COLAS

4, RUE JEAN MERMOZ
78772 MAGNY-LES-HAMEAUX
FRANCE
recherche-et-developpement@campus.colas.fr



CAMPUS
SCIENTIFIQUE
& TECHNIQUE



La route avance