

MATÉRIAUX INDUSTRIELS ALTERNATIFS

Afoco en plein élan

Entre deux journées d'information technique annuelles de l'association française des opérateurs sur co-produits industriels, revenons sur ses origines et son intégration récente dans la problématique plus large des déchets.



La 17^e journée d'information technique d'Afoco s'est déroulée en novembre 2023 sur le thème : « Les matériaux alternatifs : l'innovation au service de l'économie circulaire ».

L'association française des opérateurs sur co-produits industriels Afoco a été fondée en juillet 1995 avec pour objectifs « la défense des intérêts et la promotion de l'image des entrepreneurs concernés par le traitement, le recyclage et la valorisation des co-produits industriels, plus particulièrement les laitiers et les scories des industries sidérurgique et métallurgique ». Jean-Paul Osswald, secrétaire général, se souvient : « Il s'agissait alors d'une véritable révolution dans la mesure où les entreprises en charge de l'enlèvement des inévitables « sous-produits » au pied des hauts fourneaux et des aciéries, jusque-là simples « prestataires de services », étaient à la recherche d'une responsabilisation dans le domaine de la recherche de solutions de réutilisation et donc

de revalorisation des matériaux qu'elles étaient auparavant essentiellement chargées de débarrasser des usines. La sidérurgie était alors un sujet emblématique en raison des énormes quantités de rejets de fabrication des produits. Et l'expérience s'est révélée concluante. Le développement des techniques et des installations de traitement, souvent en coopération avec les services des administrations publiques, ont permis d'obtenir de nouveaux matériaux capables d'être au niveau voire de dépasser les performances des matériaux traditionnels, comme c'est souvent le cas dans le bâtiment et les travaux publics ».

Laitiers d'aciérie de convertisseur (LAC) de type LD (procédé Linz-Donavitz) ou LWS (procédé Loire-Wendel-Sidélor), laitiers d'aciérie de fours électriques (LAFE) et lai-

tiers de poche, une fois refroidis, présentent en effet une très grande résistance mécanique (similaire à celle du granit de roches massives éruptives) et une densité élevée. Soumis à un refroidissement rapide à l'eau sous pression dans un granulateur (phénomène de trempe) alors qu'ils sont encore en fusion (cas le plus fréquent), ils sont transformés en sable 0-4 : des « laitiers granulés » qui se destinent à la

CARTE DE VISITE

MEMBRES DU BUREAU :

- **Président** : Loïc Danest, société Surschiste ;
- **1^{er} vice-président** : Bruno Dorier, société Valoref ;
- **2nd vice-président** : Julien Waligora, groupe Eiffage ;
- **Trésorier** : Cyril Florentin, Harsco Environmental ;
- **Secrétaire général** : Jean-Paul Osswald, société Capsi.

production de ciment. Soumis à un refroidissement lent à l'air libre, avec ou sans arrosage en surface, ils donnent lieu à du laitier cristallisé sous forme de granulats, qui se destine aux infrastructures routières.

ÉLARGISSEMENT DE LA SPHÈRE D'INTÉRÊT

Les cendres de combustion des fours, qu'elles proviennent de hauts-fourneaux, de centrales à charbon ou maintenant de centrales biomasse présentent quant à elles un caractère de durcisseur. Membre co-fondateur de l'association européenne des laitiers sidérurgiques Euroslag, Afoco s'intéresse aujourd'hui aux co-produits dans tous les secteurs de l'industrie française, qu'il s'agisse de laitiers sidérurgiques ou de cendres volantes, de fraîche production et de stock, de schistes de mines, de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux, de sables de fonderie, de matériaux réfractaires usagés de fours, etc.

« Bien au-delà de la sidérurgie des débuts, c'est cet esprit d'innovation qui anime toujours les adhérents d'Afoco, plus d'une vingtaine à ce jour, qui s'attaquent, souvent avec succès, à bien d'autres marchés tels que la verrerie, les réfractaires,

les additions diverses dans les ciments et bétons, et beaucoup d'autres », poursuit Jean-Paul Osswald. Outre le développement de matériaux alternatifs, Afoco se donne aussi pour mission d'en assurer la traçabilité et la qualité, d'innover en faisant évoluer les techniques ou encore d'informer les utilisateurs. Elle a ainsi contribué à ce qu'un atelier soit consacré à ce sujet lors des 17^e Assises nationales des déchets. Et chaque année, elle organise une journée d'information technique à travers le territoire national. Lieu d'échanges

entre spécialistes autour d'expertises de qualité sur des sujets concrets, ces journées sont aussi pour Afoco l'occasion de capter l'attention des nouvelles générations. Dans les pages suivantes, nous revenons sur la 17^e édition qui s'est tenue le 23 novembre 2023 dans les locaux de l'Institut national des sciences appliquées (Insa) de Toulouse. Et dès à présent, nous vous annonçons la thématique de sa prochaine édition : *« Les matériaux alternatifs dans les infrastructures de demain ».*

CS / R&V

AFOCO COPILOTE

Les matériaux alternatifs aux Assises nationales des déchets 2023

Pour la première fois, les Assises des déchets ont fait place aux matériaux alternatifs en y consacrant un atelier technique. La complémentarité des intervenants, le public nombreux et la richesse de la réflexion témoignent de la pertinence de ce choix.

Les 17^e Assises nationales des déchets qui se sont tenues à Nantes en septembre 2023 sur le thème « *L'économie circulaire au service de la souveraineté* » ont proposé un atelier technique sur « *Les matériaux alternatifs en BTP* » copiloté par Annie Perrier-Rosset d'EdF et Loïc Danest en tant que président d'Afoco. Thomas Muckensturm, directeur technique et commercial d'Eurogranulats a rappelé qu'« *un matériau alternatif est un matériau élaboré à partir de déchets non dangereux pour être utilisé seul ou en mélange avec d'autres matériaux, alternatifs ou non au sein d'un matériau routier.* ». Il a précisé qu'en France

près de 200 millions de tonnes par an de matériaux alternatifs pourraient se substituer à des matériaux naturels, voire beaucoup plus si l'on considère les ordures ménagères, les déchets de la déconstruction, etc.

Laurence Viora, présidente de l'Union française des cendres de charbon (UFCC) a rappelé l'importance des cendres issues de centrales électriques à charbon dont la production est en chute depuis le début des années 2000 (< 50 000 t depuis 2020, stock et production), ce qui se traduit par l'importation de 2,1 millions de tonnes en 2022 (données ECOBA). En 2020-2022, selon l'UFCC, de telles cendres ont été valorisées



© Afoco / Hélène Kirchgesser

Professionnels présents lors de la 17^e journée d'information technique d'Afoco dans les locaux de l'Insa Toulouse jeudi 23 novembre 2023.

en béton (liant et agrégats) pour 56,8 %, en travaux routiers et aménagements (24,7 %), pour la fabrication du clinker dans la filière cimentière (17,1 %) et autres (1,3 %). « Ces cendres ont des propriétés intéressantes pour la filière béton, a-t-elle précisé. Dans les nombreux stocks historiques français, les cendres présentent des taux d'humidité et d'impuretés variables, ce qui se traduit par de nombreux travaux de recherche actuellement au niveau européen pour en garantir la valorisation notamment dans le process cimentier ». Cet usage présente en outre l'intérêt de ne pas rajouter d'émissions carbone au process, les cendres ayant une empreinte carbone quasi nulle (estimée à 50 kg éq. CO₂/t). Loïc Danest, directeur technique et R&D de Surschiste a évoqué les cendres de la filière centrale biomasse qui, pour l'heure, « restent principalement centrées sur le retour au sol, à 60-70 %, mais ça peut changer. C'est donc une nouvelle ressource de matériaux alternatifs ». Dans le public, il sera précisé une demande en cours au niveau ministériel, de reconnaissance du double potentiel de valorisation des centrales biomasse en cimenterie : la biomasse combustible et les cendres dans la composition du cru.

S'en est suivie une discussion sur la valorisation des matériaux alternatifs en technique routière. Sophie Decreuse, représentante de Routes de France, a évoqué à ce titre les agrégats d'enrobés issus du rabotage d'anciennes chaussées, les granulats issus de la déconstruction ou encore les terres excavées (pour les terrassements). « Les besoins sont estimés à environ 435 millions de tonnes par an, dont une grande partie relève de déchets inertes qui, pour la plupart, sont valorisés sur les chantiers, d'autres sur des plateformes, a-t-elle précisé. Aujourd'hui nous sommes déjà à 90 % de taux de recyclage du gisement estimé, mais le taux de couverture des besoins, routes et bâtiments, n'est que de 28 % ». Samyr El Bedoui, ingénieurs d'affaires d'Eurovia-Vinci a évoqué les disparités régionales : « En Moselle, région pauvre en matériaux naturels, l'usage de matériaux alternatifs est historique, dans 90 % des cas quand, en Alsace, ce serait l'inverse ».

Philippe Francisco, adjoint au directeur Matériaux et économie circulaire du Cerib a rappelé que selon le mode de mise en œuvre de tels matériaux dans la fabrication du béton, dans le squelette granulaire ou le liant, plus d'une centaine de normes régissent les



Les comptes rendus de la 17^e édition des Assises nationales des déchets sont en ligne, de même que le programme de la 18^e édition qui se tiendra jeudi 3 octobre 2024 en un format condensé.

pratiques, y compris lorsqu'il s'agit de granulats recyclés. Patrick Vaillant, directeur de projet en économie circulaire et matériaux du Cerema Centre-Est a quant à lui rappelé le premier article du code de l'Environnement : « la gestion des déchets doit se faire sans nuire à la santé humaine et à l'environnement », ce qui repose sur une obligation de résultat qualitatif. « Depuis 20 ans il y a des tentatives de passer à une logique de moyens, quantitative, avec pour hypothèse un usage particulier qui plus est adapté à un gisement précis », a-t-il poursuivi. Ce qui se traduit là aussi par de nombreux textes sous forme de guides avec définition de « classes d'exposition environnementales », pour garantir l'innocuité gage d' « acceptabilité environnementale », dans un contexte où les usages se multiplient : usage routier mais aussi pour plateformes logistiques, sous-bassement de bâtiments, produits de construction (parpaings), travaux maritimes et fluviaux... Sans oublier les guides techniques locaux.

« Le statut de sortie de déchets (SSD) explicite de ces matériaux est dans la loi, a-t-il précisé. La SSD implicite est prévue dans le projet de loi Industrie verte ». Celle-ci a été adoptée le 23 octobre 2023, donnant matière à poursuivre la discussion.

CS / R&V



AT des 17^e Assises des déchets sur « Les matériaux alternatifs en BTP » avec de g. à d. : Patrick Vaillant (Cerema), Laurence Viora (présidente UFCC), Thomas Muckensturm (Eurogranulats), Antoine Lebeau (animateur), Philippe Francisco (directeur adjoint Cerib), Samyr El Bedoui (Eurovia-Vinci) et Sophie Decreuse (Routes de France).

ÉCONOMIE CIRCULAIRE EN MÉDITERRANÉE

Les apports du projet RE-MED au recyclage des déchets du BTP

Le projet européen de coopération scientifique transfrontalière entre pays de l'arc méditerranéen RE-MED a eu pour ambition de favoriser l'économie circulaire de granulats de démolition de qualité. La conférence qui lui a été consacrée lors de la 17^e JT d'Afoco témoigne d'une mission clairement réussie.



Patrick Vaillant, directeur de projets Préservation ressource matériaux BTP à l'Agence d'Autun du Cerema, exposant le projet RE-MED lors de la 17^e JT d'Afoco.

faciliter l'utilisation d'au moins 20 % de granulats recyclés dans la construction routière.

Son intérêt premier a été de permettre la création de référentiels afin de professionnaliser les installations de recyclage existantes en Tunisie et au Liban. Ils incluent :

- Des aides à la modernisation, notamment pour améliorer la collecte et le tri des matériaux, ce qui était un frein à la production de matériaux recyclés.
- Un travail sur les aspects réglementaires et normatifs avec, dès les ministères, des engagements forts sur les obligations d'incorporation de matériaux alternatifs dans les travaux routiers.

« L'objectif était de faire évoluer les normes pour mieux les adapter au contexte de ces pays, résume Patrick Vaillant, directeur de projets Préservation de la ressource et matériaux du BTP à l'Agence d'Autun du Cerema. *Il s'agissait de créer une boucle vertueuse avec des incitations et des modèles économiques pour être en capacité de produire des matériaux de qualité, de les prescrire et d'encadrer la mise en œuvre sur les chantiers.* »

UNE ROUTE DÉMONSTRATEUR EN TUNISIE

Autre avancée à mettre à l'actif du projet RE-MED : des essais en laboratoire et la réalisation d'une route expérimentale d'1,2 km sur

D'un budget de 3,1 M€, le projet RE-MED « *Application de l'innovation pour le développement de l'économie circulaire pour une construction durable en Méditerranée* » s'est terminé le 3 décembre 2023 après 37 mois. Il a été coordonné par l'organisme français Cerema et financé à 90 % par l'Union européenne - le reste par cofinancements du consortium.

L'intérêt et l'efficacité du projet viennent de la composition de celui-ci : des acteurs clés de la chaîne de valeur du recyclage des déchets de construction et de démolition (DC & D) de deux pays du nord de la Méditerranée, la France et l'Italie, et de deux pays

du sud de la Méditerranée, la Tunisie et le Liban (voir Encadré). Ensemble, ils ont pu influencer, décider, soutenir financièrement et agir vite pour mettre en place des outils et des supports efficaces.

DES RÉFÉRENTIELS POUR UPGRADER LES INSTALLATIONS EN PLACE

Le projet RE-MED visait à transférer et à expérimenter des technologies permettant de transformer les DC & D en ressource pour la construction et l'entretien des routes, et également à soutenir les ministères de l'Environnement tunisien et libanais afin de faire évoluer la réglementation pour



Ce guide opérationnel édité par le ministère tunisien de l'Environnement détaille en 32 pages les règles et les étapes de la valorisation des déchets de construction et de démolition.



© Cerema

Partenaires de RE-MED sur le site de recyclage de la société tunisienne REG où ont été produits les granulats recyclés utilisés pour réaliser la portion de la RN3. De g. à d.: Franck Charmaison (Cerema), Mounir Majdoub (consultant auprès du Cerema), Mireille Samaha et Elia El Obeid (SLETP), Gaetano Di Mino (université de Palerme), Ricardo Fernandez et Oumaya Marzouk (Cerema), Abdelaziz Kraiem (CETEC), Pascal Berteaux (directeur général du Cerema), Mahmoud Dammak (REG), Mohamed Guesmi (CETEC) et Bassam Sabbagh (ministère de l'Environnement du Liban).

la RN 3, au nord de la Tunisie, avec le soutien des ministères de l'Environnement et de l'Équipement de Tunisie. Cette route comprend une section témoin et trois sections avec des structures différentes de matériaux alternatifs routiers. La première de ces trois sections incorpore 20 % d'agrégats d'enrobé (AE) recyclés, la seconde 100 % de graves recyclés en couche de forme et en couche de fondation. Et la dernière mixe à la fois 20 % de grave bitume (GB) recyclé en couche de roulement et 100 % de grave non traitée classe C (GNT C) en couche de fondation. Cette route expérimentale a été instrumentée pour assurer un suivi dans le temps. « Il ne s'agit pas uniquement d'un transfert technologique de connaissances du nord vers le sud car les données relevées - déformations, humidité, température... - vont aussi être exploitées en France et en Italie dans le cadre de l'adaptation de nos routes au changement climatique », complète Patrick Vaillant.

UN GUIDE OPÉRATIONNEL

Autre livrable pour la Tunisie : un guide de valorisation des matériaux du BTP en technique routière

avec, notamment, des modélisations hydrogéologiques pour lancer le marché des déchets de construction et de démolition recyclés pour les PME. « Nous avons adapté au contexte tunisien le guide du Cerema intitulé « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les matériaux de déconstruction issus du BTP » publié en 2016, précise Patrick Vaillant. Par rapport à la France, les référentiels environnementaux sont plus stricts, dans la mesure où les aquifères ont des hauteurs plus limitées, entraînant un impact plus rapide des polluants sur les nappes phréatiques. »

DES ACTIONS DE SENSIBILISATION

Enfin, le projet RE-MED a permis de porter le message de l'économie circulaire avec la publication de neuf articles scientifiques, la participation à plus de 12 conférences dans de nombreuses instances en Tunisie et au Liban, la communication des résultats du projet au pavillon Méditerranée de la COP27 (Charm El-Cheikh, Egypte, novembre 2022) et au Bureau de la Coalition méditerranéenne et au

CARTE DE VISITE

PROJET RE-MED

Budget: 3,1 M€, financés à 90 % par l'Union européenne ; programme ENI CBC (European Neighbourhood Policy, cross-border cooperation) Med 2014-2020, convention de subvention n° 28/1682.

Partenaires :

- **France :** Cerema (pilote) et Dynedoc (société experte en développement informatique) ;
- **Italie :** université de Palerme ;
- **Tunisie :** ministère de l'Environnement, Centre d'essais et des techniques de la construction (CETEC), entreprise Respect Environnement Group (REG), Institut supérieur des sciences et techniques des eaux de Gabès (ISSTEG), École nationale des ingénieurs de Tunis, Institut national de normalisation et de propriété intellectuelle (INNORPI) ;
- **Liban :** ministère de l'Environnement, Syndicat libanais des entreprises de travaux publics (SLETP), université américaine de Beyrouth.

Site web : www.enicbcmed.eu/projects/re-med

LinkedIn : <https://fr.linkedin.com/company/re-med>

pavillon France de la COP28 (Dubai, EAU, décembre 2023), ou encore l'organisation de formations et de visites techniques pour les universitaires et les entrepreneurs du BTP. « Grâce à l'engagement de tous acteurs, la Tunisie et le Liban montrent qu'en trois ans on peut arriver quasiment à un référentiel du niveau des pays européens, conclut Patrick Vaillant. C'est une démarche et un exemple très inspirants à l'heure où nous mettons parfois des années à réviser nos référentiels d'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs. »

Cyrille Maury / R&V

Poursuite

Vous êtes un acteur professionnel engagé dans le secteur de la valorisation des déchets de construction et de démolition et souhaitez contribuer au partage de connaissance pratique avec des acteurs du Liban, de Tunisie ou d'autres pays hors de l'Union européenne ? Faites-vous connaître auprès de madame Oumaya Marzouk, directrice de projets à l'Europe et à l'international du Cerema.

Contact : oumaya.marzouk@cerema.fr

CHANTIER AUTOROUTIER BAS CARBONE

Redorer la méthode de retraitement en place avec un liant « biomasse »

Rénover une barrière de péage autoroutier avec un bilan carbone et énergétique optimal, tel fut l'objet du chantier présenté lors de la 17^e JT d'Afoco. À la conduite : le binôme Eiffage Route – Surschiste. À la clé : un liant hydraulique routier à base de biomasse breveté et un procédé de retraitement en place des chaussées consolidé par une FDES en sus de brevets.

Loïc Danest, directeur technique et R&D de Surschiste en bas à gauche, avec au micro Jérôme Dherbécourt, directeur technique de la région Centre Est d'Eiffage Route, lors de la conférence qu'ils ont tenue à l'occasion de la 17^e JT d'Afoco.



La société Autoroutes et tunnel du Mont Blanc (ATMB) recherchait, via un appel d'offres, une variante « bas carbone » vertueuse pour la remise en état des voies de la barrière de péage de Viry (Haute-Savoie) sur l'autoroute A40 à une vingtaine de kilomètres de Genève. Cette portion de 10 000 m² présente la spécificité d'être soumise à un trafic élevé de véhicules et d'être une zone à la fois de freinage et d'accélération, justifiant ce besoin de renforcement. Les sociétés Surschiste et Eiffage Route décident d'y répondre avec une solution innovante et inédite : un liant hydraulique routier

(LHR) « biomasse » élaboré sans clinker, compatible avec le procédé de retraitement en place à froid Eiffage Route conjuguant matériaux Flexocim[®] et atelier de retraitement de chaussée ARC[®] 1000. Ces matériaux et procédé ont pour intérêt de recycler en place tous types de matériaux de chaussée, même hétérogènes. Dans le cas présent, il s'agissait des enrobés et de la grave-laitier de l'ancienne chaussée. « Cette méthode permet de limiter au maximum l'empreinte environnementale du chantier puisqu'elle supprime l'apport de matériaux neufs (granulats) et leur transport. », précisera ATMB dans un

communiqué annonçant aux usagers ces travaux de rénovation à Viry du 25 avril au 20 mai 2022.

UN LHR « BAS CARBONE BIOMASSE » BREVETÉ

Ce LHR « bas carbone » breveté par Eiffage Route et Surschiste est nommé Gardalithe[®], en référence à la tranche 4 de la centrale thermique de Provence située à Meyreuil-Gardanne (Bouches-du-Rhône) exploitée par GazelEnergie (groupe tchèque EPH) et convertie du charbon à la biomasse entre 2013 et 2016. D'une capacité de production annuelle de 150 MW électriques, la chaudière P4B est une installation

classée pour la protection de l'environnement (ICPE) soumise à autorisation et relevant de la rubrique 2910 installation de combustion. Désormais, elle utilise en combustible un mélange de bois sous forme de plaquettes forestières (issues de forêt) et de bois brut (issues de haies, bosquets...) broyé sur place (90 %) et de combustibles fossiles (10 % de produits cendreux de récupération ou PCR) issu de terrils du Gard pour des besoins techniques de masse et d'énergie. Elle est équipée d'une installation de mélange pour le traitement des cendres.

La société Surschiste ayant pour activité la revalorisation de telles cendres, elle a travaillé avec Eiffage Route pour développer, formuler et breveter ce LHR « bas carbone ».

UNE PHASE D'ÉTUDES TRÈS COMPLÈTE

Quatre grandes étapes ont été nécessaires pour aboutir à ce développement.

Une campagne de caractérisation des cendres de co-combustion a été réalisée en 2017-2018. « *Les résultats ont montré qu'elles sont principalement de phases silico-alumineuses ayant pour origine la combustion des PCR à fort taux de cendres*, précise Loïc Danest, directeur Technique et R&D de Surschiste. *Elles se présentent sous forme de grains de formes hétérogènes à la granulométrie très fine.* »

Ensuite, une étude des caractéristiques des cendres basée sur une campagne d'échantillonnage régulier s'est déroulée sur une année de production de la chaudière P4B. Cette étude a intégré des données relatives aux caractéristiques du mix combustible et de fonctionnement de la chaudière (paramètres de production et ordonnancement direct du silo

de stockage), afin de bien corréliser les caractéristiques des cendres avec les types de matières premières relevant de la catégorie biomasse utilisées comme combustible.

L'étude exploratoire a ensuite commencé. Les équipes d'Eiffage Route et de Surschiste ont défini des formulations préliminaires pour ce LHR « bas carbone », en envisageant l'ajout de laitiers de hauts-fourneaux (LHF) et d'autres constituants aux cendres de biomasse.

Des tests ont été réalisés au Centre d'études, de recherche et de formation (CERF) d'Eiffage Route à Ciry-Salsogne (Aisne), spécialisé notamment dans le recyclage et la valorisation des co-produits industriels dans les matériaux routiers, selon une approche macroscopique afin d'observer le comportement hydraulique et mécanique des mélanges. Les études sur éprouvettes en pâte pure ont permis d'évaluer les cinétiques de résistance mécanique des mélanges et leur réactivité hydraulique. Une approche de l'évaluation des mécanismes réactionnels a également été réalisée en collaboration avec l'IMT Nord Europe afin d'évaluer à l'échelle cristallographique et microscopique l'évolution des phases minérales au cours de l'hydratation du liant hydraulique.

Des mortiers normalisés ont ensuite été confectionnés en respect des normes NF EN 196-1 et NF EN 196-3, ainsi que des essais accélérés sur sols (pendant 7 jours à 40 °C suivant un protocole interne). S'en sont suivies des études de traitement de sols et de matériaux granulaires en laboratoire à 20 °C (selon les normes en vigueur). Cette troisième phase a permis d'optimiser les formules du LHR Gardalithe® produit par Surschiste avec des



© Yves Tenaglia

essais pour différents usages. Tous ces essais ont permis un dépôt de brevet français en 2020 et européen en 2021.

ESSAIS D'ÉVALUATION DE LA CHAUSSÉE

La dernière étape a eu pour objectif d'évaluer les mécanismes réactionnels selon une approche comparative plus exploratoire, avec des essais de traitement de plusieurs formulations avec et sans le liant « bas carbone ». L'objectif fut d'évaluer les performances dans un contexte de contraintes de remise en circulation rapide telles qu'imposées sur la zone considérée de l'A40. Ces essais d'évaluation de la chaussée ont concerné deux types de matériaux :

- le premier est un matériau bitumineux composé à 100 % d'agrégats d'enrobés (AE), présent sur certaines zones du chantier ;
- le second est un mélange de grave laitier (matériau fabriqué

Unité de fabrication de liants hydrauliques routiers de Surschiste située sur le site de la centrale thermique de Meyreuil-Gardanne (Bouches-du-Rhône). Entrée en production en 2015, elle permet jusqu'à cinq matériaux en poudre en mélange. En bas, la zone de déchargement de constituants en big bag et en haut, les silos de matières premières reliés à d'autres silos de la centrale.



© Eiffage Route Centre Est

Deux solutions de matériaux traités pour renforcement de la chaussée ont été mises en œuvre par retraitement en place de part et d'autre de la barrière de péage et font l'objet d'un suivi par le Cerema sur cinq ans (chantier CIRR).

en centrale lors de la construction de l'autoroute à partir de granulats, de LHF vitrifié, d'activant de prise et d'eau) à 60 % avec 40 % d'agrégats d'enrobés d'AE (GL/AE), présent sur d'autres zones de la barrière de péage de Viry.

De premiers tests - Proctor modifié et indices de portance immédiate ou IPI - sur ces deux matériaux ont d'abord été réalisés en mélange avec 5 % de LHR Gardalithe®.

L'étude de formulation complète de ces deux matériaux s'est faite

ensuite en mélange avec 4 et 6 % de LHR Gardalithe® et, dans les mêmes proportions, avec un LHR à durcissement rapide à base de clinker, le LV-TS 38 de la société Vicat. Toutes ces formulations ont été caractérisées en termes de résistance à la compression (Rc) à 1, 2 et 7 jours, et de couple résistance en traction - module de Young (Rt, E) à 28, 60 et 360 jours. « Les résultats montrent des résistances mécaniques intéressantes dans les deux cas de LHR, avec des indices de portance immédiate très élevés, précise Jérôme Dher-

bécourt, directeur Technique de la région Centre-Est d'Eiffage Route. La cinétique de prise très lente au jeune âge des matériaux à base de LHR bas carbone permet de diminuer la susceptibilité à la fissuration de retrait lors de la prise hydraulique, tout en apportant des résistances mécaniques meilleures qu'avec un matériau traité au liant routier traditionnel et ce à 28, 60 et 360 jours ».

QUATRE PORTIONS DE ROUTE RÉALISÉES

En phase chantier à la barrière de péage de l'A40 à Viry, quatre solutions de traitement de matériaux similaires ont été mises en œuvre de part et d'autre de la barrière de péage : deux portions de voie avec un LHR à base de clinker (sur 1815 et 1380 m²) et l'autre avec le LHR « bas carbone » Gardalithe® (sur 3390 et 2210 m²).

Après scarification et humidification de la chaussée existante, le liant Gardalithe® livré par porteur depuis la centrale biomasse de Meyreuil-Gardanne, a été répandu par un camion épandeur selon le dosage défini en études. L'atelier de retraitement de chaussée en place ARC® 1000 d'Eiffage Route l'a suivi. Cette machine, dotée d'un malaxeur longitudinal, reprend la chaussée sur l'épaisseur visée pour la décohesionner, la mélanger avec le liant, l'homogénéiser et la réappliquer à l'arrière, selon le procédé de retraitement en place Flexocim®.

En tout, 20 cm d'épaisseur de couche d'assise ont été retraités en place. L'opération fut suivie d'un compactage, d'un nivelage et d'un enduit de cure avant de mettre en œuvre une nouvelle couche de roulement en enrobé bitumineux.

Réalisée sous l'égide du CIRR (Comité Innovation Routes et

Tableau

Réchauffement climatique (kg éq. CO ₂)	Global	1,6 10 ²
	Fossile	1,6 10 ²
	Biogénique	7,0 10 ⁻³
	LuLuc	2,8 10 ⁻²
Appauvrissement de la couche d'ozone (kg éq. CFC11)		1,1 10 ⁻⁵
Acidification des sols et de l'eau (mol éq. H ⁺)		3,6 10 ⁻¹
Eutrophisation	Des eaux douces (kg éq. P)	1,1 10 ⁻³
	Marine douces (kg éq. N)	5,6 10 ⁻²
	Terrestre (mol éq. N)	6,4 10 ⁻¹
Formation d'ozone photochimique (kg éq. NMVOC)		2,6 10 ⁻¹
Épuisement des ressources abiotiques	Minérales et métalliques (kg éq. Sb)	3,1 10 ⁻⁴
	Fossiles (MJ)	1,3 10 ³
Besoin en eau (m ³ depriv.)		9,1 10 ⁰

Valeurs des indicateurs d'impacts (et de flux) environnementaux obligatoires précisées dans l'ICV du LHR Gardalithe® F18f de Surschiste.

Rues) en tant que lauréat de l'appel à projet d'innovation « Routes et Rues » 2020, cette portion d'autoroute bénéficie depuis d'un suivi du Cerema (sur une durée de cinq ans).

FORTE BAISSÉ DES ÉMISSIONS CARBONE

Le procédé Flexocim® avec l'utilisation du liant Surschiste Gardalithe® sur le chantier A40 a fait l'objet d'une analyse de cycle de vie (ACV) à la demande d'Eiffage Infrastructures. Le procédé Flexocim® se traduit depuis par une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) publiée sur le site de la base Inies.

Les valeurs carbone et énergétiques obtenues sont très faibles : un impact carbone de 7,1 kg CO₂/m² et un impact énergie de 91,1 MJ/m², soit respectivement des gains de + 40 % et de + 10 %, par rapport à l'utilisation d'un LHR à base de clinker ou de LHF. Le liant hydraulique correspondant à la formulation aboutie est le Gardalithe® F18f. Il y participe en apportant un impact carbone de 160 kg/t éq. CO₂, quantifié par un inventaire de cycle de vie (ICV),



© Eiffage Route Centre Est

En trois jours de chantier à la barrière de péage de l'A40 à Viry, sans apport de matériaux si ce n'est le LHR Gardalithe® de Surschiste, l'ARC® 1000 d'Eiffage Route a reconstitué une nouvelle assise stable, homogène et résistante à moindre coût et émission carbone.

contre 827 kg/t éq CO₂ pour un liant hydraulique traditionnel (type CEM I Portland), soit - 80 %. Si d'autres chantiers ont été réalisés en liant Gardalithe®, avec une fabrication du matériau en centrale de malaxage, il s'agit du premier chantier réalisé avec le procédé ARC® 1000. « Son utilisation redonne clairement de l'intérêt à la technique du retraitement en place des chaussées qui existe depuis les années 80, concluent les deux conférenciers. Son prix, qui dépend du chantier et du volume, est équivalent à un liant classique et il conserve son intérêt carbone sur un rayon de 300 à 400 km autour du site de production. Au-delà, son déploiement nécessite des chaudières bio-



© Eiffage Route Centre Est

masse équipées d'une installation de mélange, avec cession de licences, le liant Gardalithe et le procédé Flexocim étant protégés par des brevets aux niveaux français et européen ».

Fin du retraitement en place et mise en œuvre de l'enduit de cure au péage de Viry.

Cyril Maury et
Camille Saisset / R&V

Le Gardalithe® F18f, un LHR à base de biomasse bientôt sur Inies

Sur commande du producteur Surschiste et dans le cadre de l'ACV du procédé Flexocim®, un inventaire du cycle de vie (ICV) du liant bas carbone Gardalithe® F18f a été réalisé par Recto et vérifié en décembre 2023 par le cabinet de conseils Evea.

L'ICV du Gardalithe® F18f « du berceau à la sortie de l'usine », considère comme unité fonctionnelle la « mise à disposition d'une tonne en sortie d'usine ». Laquelle repose sur un mélange constitué de cendres de biomasse (50 % en masse), de LHF (30 %), de sulfate de calcium (5 %) et de chaux éteinte (15 %), dont les performances sont conformes aux normes d'un liant hydraulique routier à durcissement normal (NF EN 13 282-2 : 2015 et NF EN 14 227-5 : 2013) et la production soumise à contrôle (plan d'assurance qualité). Malgré la présence de biomasse dans sa composition, il ne présente pas de caractère biogénique.

Cet ICV (voir Tableau) a été effectué selon la norme NF EN 15 804+A2 pour la réalisation de déclaration environnementale

et sanitaire couvrant l'ensemble du cycle de vie d'un produit de construction dans un cadre « professionnel à professionnel » (B to B). L'indicateur d'impact relatif au changement climatique considéré dans les méthodes d'ACV se retrouve dans l'indicateur « réchauffement climatique » et détaillé avec notamment la part « LuLuc » comme « Land use » et « Land use change ». « Les valeurs équivalentes de référence des indicateurs sont établis par la norme, explique Gregory Herfray, président de Recto. NMVOC correspond aux composés organiques volatiles ou COV non métalliques. Pour l'épuisement des ressources abiotiques naturelles non vivantes, il s'agit de l'élément chimique antimoine dont le degré de rareté est estimé à un par convention. Pour le besoin en eau, il s'agit de celle rendue impropre à la consommation humaine et ne pouvant répondre au besoin des écosystèmes (deprived, privé en anglais) mesurée selon la méthode Aware ».

CS /R&V