



**HAL**  
open science

## Revêtements photocatalytiques pour les matériaux de construction : formulation, évaluation de l'efficacité de la dépollution de l'air et de l'écotoxicité.

Thomas Martinez, Alexandra Bertron, Marie Coutand, Gilles Escadeillas, Eric Ringot, Valérie Simon

### ► To cite this version:

Thomas Martinez, Alexandra Bertron, Marie Coutand, Gilles Escadeillas, Eric Ringot, et al.. Revêtements photocatalytiques pour les matériaux de construction : formulation, évaluation de l'efficacité de la dépollution de l'air et de l'écotoxicité.. Congrès Nouveaux Matériaux et Durabilité (NoMaD 2012), Institut National des Sciences Appliquées - Toulouse (INSA de Toulouse). Toulouse, FRA., Nov 2012, Toulouse, France. 117 p. hal-02746944

**HAL Id: hal-02746944**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02746944>**

Submitted on 3 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# CONGRES International Francophone



## NoMaD 2012

**Nouveau Matériaux et Durabilité**

19 et 20 Novembre 2012  
Université Paul Sabatier  
Toulouse



Université  
Paul Sabatier  
TOULOUSE III





*A la mémoire  
De Jean Claude Maso*

## Le mot du Comité d'Organisation

---

### Histoire d'un colloque : NoMaD 2012

**1987 - 2012 : 25 ans...** 25 ans, cela se fête ! Surtout quand il s'agit d'un laboratoire universitaire, en l'occurrence le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (**LMDC**) ! à fortiori, dans une période où certains pensent que l'histoire et les hommes peuvent être facilement effacés...

Mais comment célébrer cet anniversaire ?

Entre collègues et amis, bien sûr, avec les plus anciens et les plus jeunes, ceux qui sont encore là et ceux qui sont allés faire carrière ailleurs... Cela permet de se retrouver, de se rappeler les bons et les mauvais moments, de refaire le monde... Une après midi festive et sportive, une soirée animée... Merci aux organisateurs et animateurs qui ont su faire de ce 13 juillet 2012 une journée mémorable !

Mais ce n'était pas suffisant... Il fallait aussi revenir sur ce qui a fait et fait encore la force de ce laboratoire à savoir la qualité de ses recherches et l'implication de ses chercheurs dans des thématiques qualifiées d'« originales » pour le domaine du Génie Civil, ses relations privilégiées avec le milieu industriel...

L'organisation d'un colloque scientifique sur des thématiques historiques de recherche du LMDC (éco-matériaux et sous-produits, durabilité) est alors apparue comme le meilleur moyen de rendre hommage aux « pionniers » de ce laboratoire et à tous ceux qui leur ont succédé. Ainsi est né le colloque **NoMaD** (**Nouveaux Matériaux et Durabilité**)...

Ce colloque international francophone a été organisé autour de conférences plénières – pour avoir les points de vue de chercheurs universitaires, d'élus ou d'industriels - sur chacune des thématiques proposées, de conférences sur sélection de communications scientifiques, et d'une session de posters sur sélection de résumés scientifiques.

Plus de 110 résumés ont été reçus. Après sélection, ce sont 45 communications orales et 26 posters qui seront présentés les 19 et 20 novembre 2012, sur le campus de l'Université Paul Sabatier, à plus d'une centaine d'acteurs de la recherche - chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants - de partenaires publics et industriels.

Et, comme pour tout anniversaire, il faut finir par les remerciements : merci aux conférenciers invités pour leur participation ; merci aux membres du Comité Scientifique pour ce travail rigoureux de sélection ; merci aux membres du Comité d'Organisation et aux doctorants pour l'aide logistique ; un grand merci à l'Université Paul Sabatier pour son aide très efficace au travers de la cellule des congrès (merci Marie-Ange), du prêt gracieux de salles, de son soutien financier ; merci à l'INSA, à la Mairie de Toulouse et à la Région Midi-Pyrénées pour leur aide financière ou matérielle ; merci enfin aux partenaires industriels (Argeco, Carmeuse, Cemex, Eurocho, Guintoli, Malet, 3R, SEAC, Vinci Construction, Vinci Construction Grands Projets) pour leur soutien financier car sans eux ce colloque n'aurait pu exister !

Gilles ESCADEILLAS  
Pour le Comité d'Organisation

## Remerciements Conférenciers invités

---

*Nous tenons à remercier tout particulièrement nos conférenciers invités  
pour leur participation à cette manifestation  
lui donnant ainsi une dimension scientifique de renom.*

- **Mme Françoise DEDIEU-CASTIES**

Vice-Présidente en charge du Développement Durable et de l'Environnement Région Midi Pyrénées

Pour son intervention sur le thème : **"les éco-matériaux dans la construction, enjeux et perspectives régionales"**

- **Mr Eric Gouardes,**

Directeur adjoint Ademe Midi-Pyrénées

Pour son intervention sur le thème : **"Utilisation des matériaux alternatifs issus de déchets dans le BTP"**

- **Mr. François Cussigh**

Expert Béton de VINCI Construction France

Pour son intervention sur le thème : **"Justification de la composition des bétons par approche performantielle"**

- **Luc Courard**

Professeur à l'Université de Liège

Pour son intervention sur le thème : **"Eco-efficacité ou éco-bénéficine des matériaux ? Un nouveau paradigme en construction(s)"**

## Remerciements partenaires

---

Les organisateurs du Congrès NoMaD 2012 et L'Association Universitaire de Génie Civil (**AUGC**) remercient leurs partenaires institutionnels et privés qui ont contribué par leur soutien à la réalisation de cette manifestation scientifique internationale.



Le LMDC ...

... Un peu d'histoire !



Durabilité des matériaux et des ouvrages de Génie Civil. C'est un des pôles de recherche de l'actuel LMDC : mais ce laboratoire peut également se prévaloir d'une autre forme de durabilité : celle de son domaine de recherche.

Il est en effet l'actuel représentant d'une longue tradition universitaire toulousaine qui remonte à 1947 ; 65 ans déjà et pas de retraite en vue !

## **Le début de l'histoire**

C'est en 1947, que le Laboratoire de Minéralogie de la Faculté des Sciences de Toulouse, dirigé par le professeur Laurent Capdecombe, fut sollicité par Electricité de France pour comprendre les causes d'un éboulement meurtrier, survenu à Olette (66) dans une galerie d'amenée d'eau, quelques jours après sa perforation. On était alors à la sortie de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale et EDF avait lancé une politique de construction de barrages. Ces aménagements hydroélectriques, lorsqu'ils sont en montagne, comportent nécessairement une galerie d'amenée de l'eau de la retenue aux turbines de l'usine. Galeries, dont la longueur peut excéder une dizaine de kilomètres et qui sont creusées dans des terrains rocheux dont il faut garantir la stabilité tout au long de la durée de service de l'ouvrage. A ce titre, le Laboratoire de Minéralogie fut, pendant une trentaine d'années, un consultant attitré des diverses Régions d'Equipement Hydraulique d'EDF : après prélèvement d'échantillons rocheux sur les parois de la galerie, à différents stades d'avancement de la perforation, puis étude des prélèvements en Laboratoire, celui-ci proposait la (ou les) solution(s) à adopter pour assurer la stabilité ultérieure de la galerie. Conclusions basées sur les observations géologiques in situ, sur la détermination de l'état actuel d'altération des minéraux et, surtout, sur la prévision des risques d'altération à venir (altérabilité) eux-mêmes fonction, à la fois, de la composition minéralogique et de l'état de (micro) fissuration.

En parallèle à ces études géotechniques, des recherches étaient menées sur les bétons : d'une part sur l'adhérence de la pâte aux granulats, mettant en évidence le rôle bénéfique de réactions chimiques spécifiques aux granulats calcaires, d'autre part sur la substitution partielle de fines minérales au ciment.

Enfin, à la même époque, le Laboratoire de Minéralogie apporte sa contribution à la résolution des problèmes posés par la gestion des déchets de l'industrie nucléaire, alors à ses débuts (inertage de déchets faiblement radioactifs par addition de liants hydrauliques).

## **La période de transition**

L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse ouvre ses portes en 1963. Son premier Directeur, Fondateur, est le Professeur Jacques Farran jusque-là à la tête de la section Géotechnique du Laboratoire de Minéralogie et qu'il quitte donc pour ses nouvelles fonctions. En 1965 le département de Génie Civil accueille sa première promotion : c'est le Professeur Jean-Claude Maso, qui a débuté son travail de Doctorat au Laboratoire de Minéralogie, qui est nommé à la tête du département. Dans les 3 années qui suivent s'ouvrent le département de Génie Civil de l'Institut Universitaire de Technologie ainsi que l'Institut de Géotechnique. Ainsi se constitue, dans les faits, mais sans définition juridique, un véritable groupe de recherches en Génie Civil. Les personnels qui le constituent sont, d'une part, les enseignants nouvellement recrutés, d'autre part des membres du Laboratoire de Minéralogie nouvellement affectés à l'INSA et à l'IUT.

Désormais on observe une dichotomisation des secteurs de recherche : la « maison mère » s'intéressant plus spécialement aux matériaux rocheux alors que le groupe (INSA – IUT – Géotechnique) va déplacer ses activités vers le domaine des bétons.

## Des années 70 à la naissance du LMDC

Avec le recul du temps il est clair que les choix de politique de la recherche menée durant ces deux décennies ont été dictés par la même ligne de pensée qui, en 1947, attirait un Professeur de Faculté vers le comportement d'ouvrages réels : c'est en commençant l'étude des matériaux au niveau de leur microstructure que l'on pourra expliquer (ou prévoir) leur comportement. Formulation qui, en sciences des matériaux, est maintenant devenue un lieu commun mais qui dans ces temps lointains était originale.

On notera par ailleurs que la grande majorité des nouveaux Enseignants Chercheurs étaient des Ingénieurs, de formations très différentes allant de l'électricité, à la mécanique, à l'hydraulique, à la chimie ou à la physique.

Cette conjoncture permit alors d'étudier les bétons d'une façon holistique. Bien évidemment toutes les recherches ne furent pas lancées simultanément, mais de façon échelonnée dans le temps. De telle sorte qu'à la naissance officielle, il y a 25 ans, du LMDC, pratiquement tous les secteurs d'étude des bétons avaient été abordés.

De même les travaux sur les fines minérales-sous-produits ou déchets industriels pour la plupart furent continués avec le souci de coller à la réalité industrielle génératrice de nouveaux produits : cendres volantes désulfurées, laitiers de fonte mais aussi de magnésium, fumées de silice (dès 1977), boues rouges d'aluminium. Ces études, entreprises généralement à la demande d'industriels pour des raisons majeures d'économie (liées à des préoccupations, mineures en ce temps-là, de respect de l'environnement) n'empêchaient pas le déroulement d'études à finalité pratique peu visible. Une illustration en est fournie par *l'auréole de transition* (VII<sup>ème</sup> Congrès International de la Chimie des Ciments. Paris 1980) devenue ensuite internationale sous le vocable I.T.Z.

## L'étape actuelle : le LMDC

Il faudrait changer d'auteur pour évoquer cette période, mais je voudrais conclure mon propos sur la constatation que le LMDC a su reconnaître la solidité des principes d'action de l'ancêtre de 1947 et surtout qu'il a suivi une ligne d'évolution équilibrée, tenant compte des sollicitations du monde industriel, en accordant une place grandissante aux exigences environnementales, tout en se réservant une part de recherches théoriques apparemment dénuées d'applications pratiques.

**André Carles-Gibergues**

## Des années 70 à la naissance du LMDC

Quand j'ai commencé mon doctorat au laboratoire de Génie Civil en 1970, celui-ci couvrait les différents champs disciplinaires de la formation. Chacun des thèmes de recherche était animé par un des professeurs de l'INSA ou de l'Université. Il y avait ainsi des équipes de mécanique des sols, de structures, de mécanique des roches. Un peu plus tardivement, une équipe de thermique du bâtiment s'est constituée pour accompagner les nouvelles formations créées dans le domaine des équipements techniques. Les études du matériau béton étaient menées dans les équipes de microscopie électronique, de physico-chimie des matériaux (appelée plus tard microstructure des matériaux après son regroupement avec la précédente), de rhéologie du béton frais et de mécanique des matériaux qui ont ensuite donné naissance au LMDC, même si la rhéologie y a été abandonnée momentanément. Pendant cette période, chaque groupe de recherche était plus ou moins autonome et définissait sa propre politique.

Au début des années 80, le laboratoire de génie civil de Toulouse a été associé au CNRS. C'était alors l'un des très rares laboratoires de GC au CNRS. Le génie civil universitaire sortait d'une phase au cours de laquelle il vivait en vase clos. Les évaluations des carrières et des équipes de recherche n'étaient plus l'affaire des seuls membres du GC. On était alors dans la même section que le génie mécanique et de plus en plus de laboratoires étaient communs avec la mécanique, notamment au CNRS. Nous avions de très mauvaises habitudes en matière d'autoévaluation et de publication. Il faut ajouter à cela une forte hétérogénéité de nos axes de recherche qui compliquait la gouvernance de l'ensemble et c'est assez logiquement que nous avons été désassociés.

Les diverses équipes se sont restructurées pour donner naissance à trois laboratoires différents dont le LMDC.

## Le LMDC

En créant le LMDC en 1987, Jean-Claude Maso a recherché une concentration thématique autour du matériau béton et de sa durabilité. Le projet devait nous ramener au CNRS. L'histoire et les acteurs en a voulu autrement. Assez vite les thématiques se sont élargies car la recherche en durabilité doit prendre en compte les préoccupations des maîtres d'ouvrages. Les recherches sur les outils de diagnostic se sont développées et entraînent maintenant des études plus fondamentales. Les études sur la durabilité des matériaux se sont vite étendues à la durabilité des ouvrages. Les couplages entre actions ont été pris en compte, des modèles de prédiction de durée de vie ont été développés puis complétés par des approches probabilistes. Pour mettre au point des outils de caractérisation des performances (transferts, diagnostic..) nous avons aussi dû approfondir l'étude de la physico chimie des matériaux poreux.

Rétrospectivement, il ne me semble pas que nous ayons eu à l'époque une vision prophétique des axes de recherches qui se sont ensuite avérés fructueux. A mon sens, l'essentiel dans la fondation du LMDC a résidé dans l'ouverture vers l'extérieur et la mise en place d'une organisation qui dissociait les questions scientifiques et financières et qui mettait en place une division transfert de technologie.

La volonté de faire participer activement les chercheurs à de nombreux comités scientifiques extérieurs, d'être présents dans les principaux congrès de notre domaine d'activité a été de mon point de vue décisive. Ceci a facilité notre perception des thèmes de recherche sur lesquels nous pouvions contribuer utilement et notre organisation a pu faciliter une bonne réactivité. De nombreuses recherches ont été engagées grâce à notre implication dans des sociétés savantes telles l'AFREM puis l'AFGC, dans des comités nationaux de pilotage de la recherche en Génie Civil (qui ont débouché sur les projets nationaux). Ces recherches collectives ont aussi permis de nouer des relations durables et de confiance avec de nouveaux partenaires (des maîtres d'ouvrages, des

entreprises, le CEA, l'ANDRA) alors que des relations avec des partenaires traditionnels se sont réactivées (EDF, cimentiers..).

Les moyens humains (personnel technique de recherche) et matériels (gestion des locaux de recherche, appareillages scientifiques..) étaient regroupés dans les services de recherche (mécanique, physique, chimie et informatique). La gestion mutualisée des ressources financières permettait de doter les services en moyens substantiels et de conduire une politique d'équipement à l'échelle du laboratoire.

Les questions scientifiques étaient discutées dans les groupes de recherche : avancement des programmes, suivi des doctorants et de leur formation, nouveaux projets, participation aux congrès et comités scientifiques divers. C'est aussi dans les groupes de recherche qu'étaient proposés chaque année les nouveaux sujets de thèse. Les principales décisions étaient prises par un comité de direction où services et groupes de recherche étaient représentés. Les choix étaient bien sûr facilités par le fait que nous étions peu nombreux (16 enseignants chercheurs au moment de la création du LMDC dont 5 professeurs d'université), bien dotés en personnels techniques et administratifs (7). Le directeur pouvait participer aux réunions de chaque groupe de recherche. Un autre point fort de l'organisation était que les enseignants chercheurs étaient membres de plusieurs groupes de recherche et que les thèses étaient encadrées par plusieurs personnes de sensibilités différentes.

Une autre idée fructueuse a été la mise en place d'un conseil scientifique constitué de personnalités extérieures très décidées à nous aider dans nos choix stratégiques et qui nous conseillaient sans complaisance. Nous avons ainsi dû nous livrer à une autoévaluation régulière et à une évaluation externe avant que cela ne soit imposé par les instances de tutelle.

Je pense enfin qu'il convient de noter l'ouverture internationale qui s'est approfondie dès lors que les thématiques du laboratoire devenaient plus claires. Des thèses en cotutelle et des relations suivies avec des universitaires étrangers se sont multipliées.

Après toutes ces années, mon sentiment est que l'essentiel n'était pas dans le choix des orientations qui étaient plutôt dans la continuité des actions engagées dans les équipes de physico-chimie et de mécanique. Disons que l'accent a été mis sur les études de durabilité et que la mécanique s'est aussi réorientée sur ce thème. A mon sens l'essentiel était dans l'organisation et la volonté d'ouverture vers l'extérieur. La motivation était de créer un groupe performant en mettant en place une organisation plus efficace. N'oublions pas que les enseignants chercheurs étaient peu nombreux, qu'il y avait peu de thésards et peu de DEA à l'époque et qu'il fallait choisir avec soin là où les chercheurs étaient affectés. Au cours des années les effectifs en enseignants chercheurs ont plus que doublé, les thèmes de recherche se sont diversifiés et l'organisation a évolué tout en conservant l'essentiel des principes fondateurs et le LMDC a pu ainsi occuper la place originale qui est la sienne.

**Jean-Pierre Ollivier**

## Le LMDC en 1987

### Les enseignants chercheurs

Ginette Arliguie, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, UPS IUT  
(Directrice LMDC 1999 - 2006)

Maurice Arnaud, Maître de Conférences, IUT

Michel Barrioulet, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, IUT

Alain Bascoul, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, IUT

André Carles, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, INSA

Charles-Henri Détriché, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, INSA

Raoul François, Professeur Agrégé

Jacques Grandet, Professeur, IUT

Jean-Louis Granju, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, IUT

Claude Legrand, Professeur, IUT

Jean-Claude Maso, Professeur, INSA  
(Directeur LMDC 1987 – 1994)

Jean-Pierre Ollivier, Professeur, INSA  
(Directeur LMDC 1995 – 1998)

Gérard Pons, Maître de Conférences, INSA

Erick Ringot, Professeur Agrégé

Bernard Thénoz, Professeur, IUT

Albert Vaquier, Maître de Conférences, Docteur d'Etat, UPS

### Les personnels techniques

Bernard Attard, INSA

Francis Autefage, INSA

Jacques Bouchard, INSA

Manuel Caubet, INSA

Albert Fenouil, INSA

Simone Julien, INSA

Michèle Martinez, INSA

## Le LMDC en 2012

### Les enseignants chercheurs

Ginette Arliguie, Professeur, UPS FSI IUT  
(Directrice LMDC 1999 - 2006)

Ariane Abou-Chakra, Maître de Conférences, INSA

Luc Adolphe, Chercheur associé, Professeur, INSA,

Jean-Emmanuel Aubert, Maître de Conférences HDR, UPS FSI

Jean-Paul Balayssac, Professeur, UPS IUT

Alexandra Bertron, Maître de Conférences, UPS IUT

Laurie Buffo-Lacarrière, Maître de Conférences, UPS IUT

Myriam Carcasses, Professeur, UPS IUT

Géraldine Cazaux, Maître de Conférences, INSA

Franck Cassagnabère, Maître de Conférences, UPS IUT

Pierre Clastres, Professeur, INSA

Marie Coutand, Maître de Conférences, UPS IUT

Martin Cyr, Professeur, UPS FSI

Thomas De Larrard, Maître de Conférences, INSA

Fabrice Deby, Maître de Conférences, UPS IUT  
Nathalie Domède, Maître de Conférences, INSA  
Frédéric Duprat, Maître de Conférences HDR, INSA  
Escadeillas Gilles, Professeur, UPS IUT  
(Directeur LMDC depuis 2007)  
Raoul François, Professeur, INSA  
Sandrine Geoffroy, Professeur, UPS IUT  
Stéphane Ginestet, Maître de Conférences, INSA  
Bernard Husson, Maître de Conférences HDR, UPS FSI  
Gilles Klysz, Maître de Conférences, UPS IUT  
Stéphane Laurens, Maître de Conférences, INSA  
Sylvie Lorente, Professeur, INSA  
Camille Magniont, Professeur Agrégé, UPS IUT  
Michel Mouret, Maître de Conférences HDR, UPS FSI  
Stéphane Multon, Maître de Conférences, UPS FSI  
Claire Oms, Maître de Conférences, INSA  
Aurélié Papon, Maître de Conférences, INSA  
Cédric Patapy, Maître de Conférences, UPS IUT  
Bernard Perrin, Professeur Emérite, UPS IUT  
Gérard Pons, Professeur Emérite, INSA  
Erick Ringot, Professeur, UPS FSI  
Alain Sellier, Professeur, UPS FSI  
Ahmed Toumi, Maître de Conférences HDR, UPS IUT  
Christelle Tribout, Maître de Conférences, UPS FSI  
Anaclet Turatsinze, Professeur, UPS IUT  
Jérôme Verdier, Maître de Conférences, UPS IUT  
Thierry Vidal, Maître de Conférences, UPS FSI  
Marie-Pierre Yssorche-Cubaynes, Maître de Conférences, UPS IUT

### **Les personnels techniques**

Bernard Attard, INSA  
Marc Bégué, INSA  
Laurent Boix, UPS  
Yann Bouaskeur, INSA  
Sylvain Dos Santos, INSA  
Ghislaine Dupouey, UPS  
David Guillouset, INSA  
Simone Julien, INSA  
Fabienne Lacoste, UPS  
Guillaume Lambaré, UPS  
Frédéric Leclerc, INSA  
Vanessa Mazars, INSA  
Moha Oukrina, UPS  
Maud Schiettekatte, INSA

### **La division transfert**

Jean-Claude Degeilh  
Pierre Nicot  
Frédéric Réau



## Présentation scientifique

---

Le **LMDC** est un laboratoire universitaire de recherche dans le domaine de la science des matériaux du génie civil créé il y a 25 ans à Toulouse. A partir d'une recherche pluridisciplinaire, et en conduisant des travaux tant sur le plan expérimental que numérique, il propose des solutions scientifiques permettant un développement durable et une gestion éco responsable du patrimoine immobilier : infrastructures de génie civil et habitat.

Dans ce but, il développe des matériaux innovants pour le Génie Civil, il améliore la compréhension et la modélisation des phénomènes physico-chimiques pouvant nuire à la durabilité des matériaux de construction, il met au point des méthodologies et des techniques pour la requalification, le diagnostic, et la maintenance des ouvrages existants.

Ces objectifs définissent ses trois pôles de recherche :

- Pôle 1 : Matériaux innovants pour le Génie Civil
- Pôle 2 : Durabilité des matériaux et des ouvrages
- Pôle 3 : Requalification, diagnostic et maintenance

L'Association Universitaire de Génie Civil (**AUGC**), fondée en 1981, a pour mission de développer et de promouvoir l'enseignement et la recherche dans le domaine du Génie Civil. Elle établit des liaisons avec les autres groupements ou associations qui participent au développement du Génie Civil et de ses spécialités, facilite la coopération internationale, identifie les débouchés professionnels des diplômés et stimule les contacts entre ses membres.

Si l'AUGC est connue pour organiser chaque année les Rencontres Universitaires du Génie Civil, elle soutient aussi des manifestations scientifiques en collaboration avec d'autres associations, groupements, ou laboratoires. Ces manifestations concernent des domaines plus ciblés que ceux couverts lors des Rencontres. C'est le cas de ce colloque « NoMaD » organisé par le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC) de Toulouse.

## Le Laboratoire

---

**Le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC)** est un laboratoire universitaire de recherche dans le domaine de la science des matériaux du génie civil créé il y a 25 ans à Toulouse. Il regroupe la quasi-totalité des enseignants chercheurs en génie civil de l'Université Paul Sabatier (UPS FSI et UPS IUT A) et de l'INSA (Département de Génie Civil) de Toulouse. Ce sont donc plus de 40 enseignants chercheurs, 50 doctorants, 8 personnels techniques (équivalents temps plein), 25 stagiaires (Master Recherche ou Professionnel) et quelques invités étrangers qui œuvrent en permanence au développement de nouveaux matériaux et de nouveaux concepts pour la construction de bâtiments ou d'ouvrages d'art.

A partir d'une recherche pluridisciplinaire, et en conduisant des travaux tant sur le plan expérimental que numérique, le LMDC propose des solutions scientifiques permettant un développement durable et une gestion éco-responsable du patrimoine immobilier : infrastructures de génie civil et habitat.

Dans ce but, il développe des matériaux innovants pour le Génie Civil, il améliore la compréhension et la modélisation des phénomènes physico-chimiques pouvant nuire à la durabilité des matériaux de construction, il met au point des méthodologies et des techniques pour la requalification, le diagnostic, et la maintenance des ouvrages existants.

Ces objectifs définissent ses trois pôles de recherche :

- Pôle 1 : Matériaux innovants pour le Génie Civil
- Pôle 2 : Durabilité des matériaux et des ouvrages
- Pôle 3 : Requalification, diagnostic et maintenance

### NoMaD 2012

Organisé à Toulouse à l'occasion du 25<sup>ème</sup> anniversaire du LMDC, avec le soutien de l'Association Universitaire de Génie Civil (AUGC), le colloque **NoMaD 2012** a pour objectifs de mobiliser une communauté scientifique internationale francophone sur des thématiques touchant aux nouveaux matériaux pour la construction en Génie Civil et l'étude de leur durabilité et d'assurer le développement de connaissances fondamentales et appliquées.

Les 19 et 20 novembre 2012, sur le campus de l'Université Paul Sabatier, plus d'une centaine d'acteurs de la recherche - chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants - de partenaires publics et industriels sont attendus.

## Comité Scientifique

---

- Président : Prof. Luc Courard (Université de Liège)
- Prof. Richard Gagné (Université de Sherbrooke)
- Prof. Eric Garcia-Diaz (Ecole des Mines d'Alès)
- Prof. Fouad Ghomari (Université de Tlemcen)
- Prof. Pierre Mounanga (Polytech'Nantes)
- Dr Loic Divet (IFSTTAR Paris)
- Dr Chantal Guillard (Université de Lyon)
- Dr. Jean Ambroise (INSA Lyon)
- Dr. David Bulteel (Ecole des Mines de Douai)
- Dr. Emmanuel Denarié (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)
- Dr. Laurent Izoret (ATILH)

## Comité d'Organisation

---

- Responsable local: Prof. Gilles Escadeillas, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Prof. Ginette Arliguie, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Prof. Martin Cyr, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Prof. Anaclet Turatsinze, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr. Alexandra Bertron, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr. Laurie Buffo-Lacarrière, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr Géraldine Casaux-Ginestet , LMDC INSA, Toulouse
- Dr. Marie Coutand, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr Thomas de Larrard, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr. Stéphane Multon, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr. Jérôme Verdier, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Dr. Thierry Vidal, LMDC, INSA-UPS, Toulouse
- Ghislaine Dupouey, LMDC, INSA-UPS Toulouse
- Marie Ange Albouy, Cellule congrès DSL UPS, Toulouse

## Thématiques

---

Le colloque est organisé autour de conférences plénières sur chacune des thématiques proposées, présentant les points de vue de chercheurs universitaires, d'élus ou d'industriels, de conférences sur sélection de communications scientifiques et d'une session de posters sur sélection de communications scientifiques. Des prix récompenseront les meilleures présentations orales ainsi que le meilleur poster.

Les thématiques proposées s'appuient sur les recherches conduites au LMDC depuis sa création (éco-matériaux et sous produits, durabilité) mais aussi sur des problématiques plus récemment traitées comme le confort et la santé.

### ● **Eco-matériaux**

La prise en compte du développement durable dans la construction, en accord avec le Grenelle Environnement requiert la création de nouveaux matériaux ou d'optimiser des matériaux existants. Ce thème traite du développement et de l'utilisation de matériaux, d'origine minérale ou organique, permettant de diminuer l'impact environnemental des matériaux de construction

### ● **Sous-produits**

Plusieurs sous-produits sont actuellement valorisés et normalisés dans les matériaux (granulats recyclés, laitiers de hauts-fourneaux, cendres volantes, fumées de silice). Certains permettent d'améliorer et d'optimiser les performances des ciments et des bétons, d'autres sont potentiellement valorisables : fines de bétons recyclés, sédiments, cendres d'incinération, etc. Ce thème inclut la caractérisation et l'utilisation de sous-produits dans les matériaux de construction, y compris les applications routières.

### ● **Indicateurs de durabilité**

Les indicateurs de durabilité et les essais de témoins de durée de vie sont devenus des outils au dimensionnement des structures en béton. Outre les dernières avancées en terme de développement d'essais, ce thème s'intéresse aux démarches performantielles qui se mettent en place en accord avec la norme NF EN 206-1 ainsi qu'aux approches probabilistes, permettant de prendre en compte en particulier la variabilité du béton.

### ● **Confort et Santé**

Confort et santé des occupants sont des paramètres indispensables à considérer lors de la formulation ou du choix des matériaux de construction. Ce thème traite de leur impact sanitaire (évaluation de la qualité de l'air, présence de flore microbienne ou d'agents potentiellement toxiques) et de leur impact sur le confort (mesure, compréhension et modélisation des propriétés hygrothermiques).

## Programme prévisionnel

<b>Colloque NoMaD - 19 au 21 novembre 2011 - Programme prévisionnel</b>			
Lundi 19/11	8h30 - 9h00	Accueil des participants (Amphi Concorde – UPS Rangueil)	
	9h00 - 9h15	Ouverture du colloque par le Président de l'Université Paul Sabatier M. Bertrand Monthubert	
	9h15 - 10h15	Conférence invitée 1	"Les éco-matériaux dans la construction, enjeux et perspectives régionales" par Mme Françoise Dedieu-Casties, Vce Pdt Région Midi-Pyrénées
	10h15 - 10h45	Conférence invitée 2	"Utilisation des matériaux alternatifs issus de déchets dans le BTP" par Mr Eric Gouardes, Directeur adjoint Ademe Midi-Pyrénées
	10h45 - 11h00	Pause café	
	11h00 - 12h00	Session 1	Confort santé
	12h00 - 12h45	Conférence invitée 3	"Justification de la composition des bétons par approche performantielle" par François Cussigh (VINCI Construction)
	12h45 - 14h15	Pause déjeuner + séance Posters	
	14h15 - 15h45	Sessions parallèles 2 et 3	Session 2 : Eco-matériaux
			Session 3 : Indicateurs de durabilité
	15h45 - 16h00	Pause café	
	16h00 - 17h30	Sessions parallèles 4 et 5	Session 4 : Sous-Produits
			Session 5 : Indicateurs de durabilité
	18h00 - 18h45	Déplacement centre ville	
19h00 - 20h00	Réception Mairie de Toulouse		
20h00 - 23h00	Repas de gala - Hôtel Pullman – Allées Jean Jaurès - Toulouse		
Mardi 20/11	8h30 - 9h15	Conférence invitée 4	"Eco-efficacité ou éco-bénéficine des matériaux ? Un nouveau paradigme en construction(s)" par Luc Courard (Univ. Liège)
	9h15 - 10h15	Session 6	Eco-matériaux
	10h15 - 10h45	Pause café + séance Posters	
	10h45 - 12h30	Session 7	Sous-Produits
	12h30 - 14h00	Pause déjeuner + séance Posters	
	14h00 - 15h30	Session 8	Sous-Produits
	15h30 - 15h45	Pause café	
	15h45 - 16h30	Session 9	Eco-matériaux
	16h30 - 17h00	Clôture et remise des prix	
Mercredi 21/11	9h00 - 12h00	Approche probabiliste pour le GC	Cours et TD pour doctorants
	12h00 - 13h30	Pause déjeuner	
	13h30 - 16h30	Approche probabiliste pour le GC	Cours et TD pour doctorants



## **SESSION 1 - CONFORT ET SANTÉ**

# EVALUATION IN-SITU DU COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE D'UNE MAISON EN BETON DE CHANVRE

SAMRI Driss, MOUJALLED Bassam, MORILLON Delphine, RICHERI Fabrice

CETE du Sud Ouest

**RESUMÉ:** L'utilisation de matière végétale dans le domaine du bâtiment connaît aujourd'hui un essor remarquable. Dans le contexte du Grenelle de l'Environnement, ces matériaux dits bio-sourcés présentent un réel intérêt par rapport à leur capacité de stockage comme puits de carbone, et à leur disponibilité, leur renouvellement, et leur recyclage facilités. Au-delà de ses qualités environnementales bien établies, il convient de mesurer les performances de ces matériaux comme enveloppe du bâtiment. Les recherches effectuées jusqu'à ce jour s'arrêtent soit au niveau des propriétés physiques soit au niveau de l'évaluation des performances hygrothermiques d'une paroi. Ces résultats ne sont pas suffisants pour prédire précisément le confort d'habitat et la performance hygrothermique. Le CETE du Sud-ouest réalise une étude de suivi in situ du comportement hygrothermique d'une maison en béton de chanvre pour disposer d'une réponse plus précise au niveau d'un bâtiment. Il s'agit d'une construction en béton de chanvre située sur les hauteurs de Périgueux, d'une surface SHON de 250 m<sup>2</sup>. Sa structure en ossature bois est noyée avec remplissage de 30 cm de béton de chanvre projeté. Les cloisons intérieures sont constituées d'une ossature bois, renfermant de la laine de bois, et recouvertes de plaques de parement en Fermacell, pour renforcer l'inertie intérieure du bâtiment. Nous avons réalisé une mesure de l'étanchéité de l'air avec une thermographie pour la recherche de fuites et l'analyse des ponts thermiques de structure. Deux parois orientées au nord et à l'ouest ont été instrumentées avec des capteurs de température et d'humidité relative sur leurs faces intérieure et extérieure ainsi qu'au cœur de la paroi. Des capteurs de température et d'humidité relative de l'air ont été posés dans les différentes zones de la maison pour évaluer le niveau de confort hygrothermique dans la maison. Une sonde hygrothermique a été placée à l'extérieur, pour mesurer les conditions météorologiques. Toutes les mesures sont enregistrées avec un pas de temps d'un quart d'heure depuis le mois de février 2012. Nous présentons dans cet article le protocole instrumental ainsi que les premiers résultats de mesures issus de la campagne menée de février à juin 2012.

**MOTS CLÉS :** Bio-sourcés, béton de chanvre, transferts thermiques, transferts hydriques, étanchéité à l'air

---

# VERS UNE METHODE DE CONCEPTION HYGRO-THERMIQUE DES BATIMENTS PERFORMANTS : PROPRIETES DE TRANSFERTS DES MATERIAUX BOIS

VOLOLONIRINA Oly, COUTAND Marie, PERRIN Bernard

Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); 135, avenue de Rangueil; F-31 077 Toulouse Cedex 04; France.

**RESUMÉ:** Cette étude entre dans le cadre du projet HYGRO-BAT, financé par l'Agence National de la Recherche (ANR) et s'inscrivant dans le programme HABISOL (HABitat Intelligent ou SOLaire). Le principal objectif du projet est de développer des méthodes expérimentales et des outils numériques fiables pour mesurer l'impact du transfert de masse sur les propriétés thermiques afin de mettre au point une méthodologie de conception hygrothermique des bâtiments. En effet, ces dernières années, les enjeux des économies d'énergie et de la limitation des émissions de gaz à effet de serre a poussé la communauté scientifique en charge de la thermique et de l'énergie du bâtiment à se concentrer de plus en plus sur l'impact des transferts de masse sur les transferts de chaleur à travers les enveloppes des bâtiments. Malgré les progrès importants réalisés ces dernières années en termes de modélisation, on constate toujours des difficultés à reproduire au mieux le comportement dynamique des bâtiments. Dans ce projet, les différents intervenants ont fait le choix de se tourner vers des matériaux à base de bois, pour leurs propriétés hygroscopiques et leur faible impact environnemental.

Le projet est articulé en plusieurs tâches qui vont de la caractérisation des matériaux, à leur comportement dynamique en conditions contrôlées, puis à l'évaluation des performances hygrothermiques des bâtiments.

L'objectif de cet article est de présenter les résultats des expérimentations, relatives à la Tâche 1, effectuées au Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC) de Toulouse. Les paramètres étudiés sont la conductivité thermique, la perméabilité à l'air, l'étude de l'isotherme de sorption-désorption et la perméabilité à la vapeur de différents matériaux. Il sera question des résultats obtenus ainsi que des paramètres expérimentaux qui peuvent, dans certaines conditions, impacter la mesure. L'étude traite, entre autre, de l'influence de l'humidité, de l'hystérésis, des résistances de surface et les effets de la pression de la phase gazeuse sur les différents résultats de la perméabilité à la vapeur.

**MOTS CLÉS :** Propriétés hygrothermique, isolant, bois, perméabilité vapeur

---

# PROPRIETES HYGROTHERMIQUES DE BRIQUES DE TERRE CRUE PRODUITES EN MIDI-PYRENEES

CAGNON Hugo, AUBERT Jean-Emmanuel, COUTAND Marie

Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); 135, avenue de Rangueil; F-31 077 Toulouse Cedex 04; France.

**RÉSUMÉ** : La terre crue est un matériau de construction, probablement aussi ancien que l'humanité. Il existe encore aujourd'hui un patrimoine très riche en terre crue dans nos régions : la brique de terre crue (ou adobe) en Midi-Pyrénées, le pisé en Rhône-Alpes (terre crue compactée dans un coffrage) ou le torchis en Normandie (mélange de terre et de paille). A la fin du XIXe siècle, ce matériau fut délaissé au profit du béton. Depuis quelques années, avec le récent engouement pour les constructions écologiques et bioclimatiques, la terre crue connaît un regain d'intérêt important. Dans ce contexte, le LMDC participe depuis 3 ans au projet Tercruso dont l'objectif est la caractérisation de briques de terre crue produites par 5 briquetiers de Midi-Pyrénées. Un des attraits forts de ce matériau est qu'il régule l'humidité à l'intérieur des bâtiments, ce qui améliore le confort des occupants et réduit les éventuels impacts néfastes sur leur santé. Afin d'en apporter la preuve scientifique, nous avons mesuré certaines propriétés hygrothermiques de ces 5 briques : leur chaleur massique en utilisant 2 méthodes différentes (calorimètre et appareil de mesure spécifique), leur conductivité thermique en fonction de leur teneur en eau et leur perméabilité à la vapeur d'eau. Ces mesures ont été complétées par des essais de sorption/désorption de vapeur d'eau en utilisant deux méthodes (DVS et solutions salines saturées). Les résultats ont permis de conclure que les briques de terre crue produites par les briquetiers de Midi-Pyrénées sont très perméables à la vapeur d'eau et ont une capacité d'absorption très élevée, ce qui confirme le caractère hygroscopique marqué de ces matériaux.

**MOTS CLÉS** : terre crue, conductivité thermique, perméabilité à la vapeur d'eau, sorption, chaleur massique.

---

# REVETEMENTS PHOTOCATALYTIQUES POUR LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION : FORMULATION, EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA DEPOLLUTION DE L'AIR ET DE L'INNOCUITE

MARTINEZ Thomas<sup>A, B</sup>, BERTRON Alexandra<sup>A</sup>, COUTAND Marie<sup>A</sup>, ESCADEILLAS Gilles<sup>A</sup>, RINGOT Erick<sup>A, B</sup>, SIMON Valérie<sup>C, D</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, UPS/INSA Toulouse, France

<sup>B</sup> LRVision SARL, France

<sup>C</sup> INPT, LCA (Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle), ENSIACET Toulouse, France

<sup>D</sup> INRA ; LCA (Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle), Toulouse, France

**RESUMÉ:** L'objectif de ce travail est de conférer aux matériaux de constructions des propriétés photocatalytiques qui permettent de lutter contre la pollution atmosphérique. Dans ce but, le photocatalyseur a été mis en œuvre dans un revêtement de type lasure. Ce type de produit a été choisi pour son intérêt architectural : il permet le traitement des surfaces existantes tout en conservant leur aspect initial. En outre, il permet d'optimiser les quantités de photocatalyseur utilisées, le phénomène de photocatalyse étant un phénomène de surface. Le travail de formulation de la lasure a été effectué en utilisant des constituants exempts de solvants organiques afin de limiter la toxicité du produit final. L'efficacité de la lasure a été étudiée vis-à-vis de plusieurs polluants représentatifs de la pollution atmosphérique : les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et un mélange de Composés organiques volatils (COV) (benzène, toluène, ethylbenzène, xylènes ou BTEX). Un banc de mesure a été mis au point afin d'étudier l'influence du matériau photocatalytique (formulation et support d'application) et des conditions opératoires (humidité, concentration initiale en polluant, débit de gaz influant sur le temps de contact entre le gaz et la surface photocatalytique) sur l'oxydation photocatalytique des COV et des NO<sub>x</sub>. Les résultats montrent que les performances dépendent du taux d'humidité de l'air et de la concentration initiale en polluants mais aussi du substrat utilisé pour l'application du revêtement. Dans le but d'étudier l'innocuité de la formulation, les émissions de COV de la lasure ont été évaluées. Ces essais ont montré que des composés caractéristiques de la composition de la lasure peuvent être détectés quelles que soient les conditions d'éclairage.

**MOTS CLÉS :** photocatalyse, TiO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV, façades des bâtiments, polluants atmosphériques.

---



**SESSION 2 - ECO MATÉRIAUX :**  
**UTILISATION DE FIBRES VÉGÉTALES**

# VALORISATION D'ANAS DE LIN DANS DES COMPOSITES CIMENTAIRES : ETUDE COMPARATIVE DE L'IMPACT DES DIFFERENTS TRAITEMENTS SUR LES PERFORMANCES DE LA FRACTION VEGETALE ET DES COMPOSITES

KHAZMA Mahmoud, GOULLIEUX Adeline, QUENEUDEC Michèle

IMaP/EPROAD (EA 4669) UPJV, 5-7 Rue du Moulin Neuf, 80000 Amiens, France

**RESUMÉ:** Depuis plusieurs décennies, le « béton de bois » a été utilisé dans les travaux de rénovation et pour des ouvrages spécifiques comme les écrans acoustiques ou même des constructions neuves. Outre sa légèreté, le bois apporte en effet des qualités thermiques qui font des composites ciment-bois des matériaux adaptés aux Bâtiments Basse Consommation. De plus, ce type de matériaux est plus respectueux de l'environnement puisque les granulats utilisés sont renouvelables sur de courtes échelles de temps. Actuellement, des coproduits ligneux de plantes annuelles comme la chènevotte sont également présents sur le marché.

Les quantités importantes d'anas de lin (environ 50% de la biomasse, soit 2,5 tonnes d'anas par tonne de fibres produite) actuellement mal valorisés ont conduit à examiner la possibilité de les utiliser comme granulats végétaux. Ils présentent l'avantage sur le bois d'être une ressource annuelle et, sur le chanvre, de représenter au niveau national un gisement plus important. Des études préliminaires n'ont montré aucune incompatibilité irrémédiable entre une matrice cimentaire et cette fraction végétale du lin fibre. Toutefois, la nécessité d'optimiser les performances des composites cimentaires a conduit à envisager des traitements. En effet, la présence de végétal peut faire craindre un certain nombre de désordres liés aux échanges à l'interface matrice-granulats ainsi que des problèmes de séchage liés à l'absorption d'eau par le végétal.

Différents traitements, peu énergivores, d'origine minérale (chaux, ciment, silicate d'aluminium) et organique (enrobages à l'huile de lin, par un polymère et un élastomère, estérification) ont été appliqués à des anas de lin avant l'incorporation de ces derniers au sein d'une matrice cimentaire. Tous les traitements conduisent à une amélioration (1) du comportement hydrique des anas associée à une élévation de leur masse volumique, (2) de l'hydratation de la matrice cimentaire et (3) des propriétés mécaniques et thermiques des composites rapportées à leur densité. Toutefois la chaux hydraulique, le ciment et l'huile de lin semblent être les trois substances les plus prometteuses.

**MOTS CLÉS :** bétons légers, granulats lignocellulosiques, procédés de traitements.

---

# VALORISATION DE GRANULATS VÉGÉTAUX DANS UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION À MATRICE MINÉRALE

VERDIER Thomas, MAGNIONT Camille, ESCADEILLAS Gilles.

Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); 135, avenue de Rangueil; F-31 077 Toulouse Cedex 04, France.

**RÉSUMÉ :** Le présent travail se propose d'étudier et de comparer trois types de granulats végétaux : la chènevotte, particules ligneuses issues de la tige du chanvre, le mélange moelle-écorce de tige de tournesol et la rafle de maïs.

Une série d'observations au vidéomicroscope et au microscope électronique à balayage, couplée à une analyse d'images nous renseignent dans un premier temps sur la morphologie et la microstructure particulièrement poreuse des particules végétales. Leur caractérisation est ensuite complétée par des essais d'absorption d'eau liquide, des mesures de conductivité thermique en vrac et de granulométrie. Dans un deuxième temps, ces particules végétales seront noyées dans une matrice minérale pour former des composites mis en place par un procédé de vibrocompactage afin de viser une reproductibilité du processus de fabrication industriel. Les performances mécaniques et thermiques des matériaux seront également abordées.

**MOTS CLÉS :** granulats végétaux, composites, valorisation, thermique, absorption, analyse d'images vibrocompactage.

---

## ELABORATION D'UN MATERIAU COMPOSITE A MATRICE CIMENTAIRE RENFORCE DE FIBRES DE JUTE

MENADI Souad<sup>A</sup>, BENZAOUK Amar<sup>B</sup>, DOUZANE Omar<sup>B</sup>, MERZOUD Mouloud<sup>A</sup>,  
HABITA Mohamed Fouzi<sup>A</sup>, LANGLET Thierry<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire de Génie Civil. Université Badji Mokhtar de Annaba BP12, 23000 Annaba-  
Algérie.

<sup>B</sup> Laboratoire des Technologies Innovante LTI (EA 3899) – MEE. Université de Picardie  
Jules Verne, Avenue des Facultés, 80 025 Amiens Cedex 1

**RESUMÉ:** L'essor de la prise en compte de l'impact environnemental des constructions et plus généralement des politiques de développement durable a conduit à s'interroger sur des procédés et des matériaux de construction alternatifs. Le secteur de la construction, et en particulier celui basé sur l'utilisation de matériaux cimentaires, n'échappera pas à cette évolution ; Il faudra limiter les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre, économiser les ressources naturelles, penser à la déconstruction, tout en améliorant les propriétés d'usages des matériaux conventionnels. Dans ce contexte, de nouveaux matériaux, à base de ressources végétales, vont devoir, à terme, remplacer les matériaux usuels. En effet, les fibres végétales présentent de nombreux atouts : ressources renouvelables, abondantes, bon marchés, propriétés mécaniques spécifiques intéressantes..., justifiant leur utilisation dans la fabrication des composites. Néanmoins, leur utilisation donne lieu à divers problèmes dont notamment ceux de stabilité dimensionnelle liés aux variations de température et d'humidité relative.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la faisabilité d'un composite cimentaire, à base de fibres de jute, en vue de son utilisation comme revêtement des murs non-porteurs en maçonnerie. Les propriétés physico-mécaniques ont été évaluées au moyen d'essais de compression et de flexion. Compte tenu de la sensibilité à la reprise d'eau de ce type de composites en général, des essais d'imbibition capillaire ont également été réalisés.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une perte de performances mécaniques des composites à base de fibres. Néanmoins, ces derniers présentent des résistances mécaniques compatibles avec leur utilisation comme revêtement des murs en maçonnerie. De plus, l'incorporation de fibres confère au composite une capacité d'absorption croissante, liée à une faible adhérence de ces dernières à la matrice cimentaire.

**MOTS CLÉS :** Fibres de jute, Mortier, Composites cimentaires, Propriétés physico-mécaniques, Durabilité, Absorption capillaire, Sorptivité.

---

# VALORISATION DE DECHETS FIBREUX ISSUS DE FOLIOLES DE PALMIERS DATTIERS. INFLUENCE DE LA TAILLE ET DU POURCENTAGE DE LA FRACTION VEGETALE SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO MECANQUES D'UN MORTIER CIMENTAIRE

HARRAT Kamel<sup>A</sup>, QUENEUDEC Michèle<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Université de Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

<sup>B</sup> IMAp/EPROAD (EA 4669), SFR Condorcet CNRS 3417- UPJV 5-7 rue du Moulin Neuf 80 000, Amiens, France

**RESUMÉ:** Dans une stratégie de substitution des ressources fossiles, les composites cimentaires renforcés de fibres végétales suscitent un intérêt croissant.

Parmi les fibres susceptibles d'être utilisées, citons celles du palmier dattier qui constitue l'élément fondamental de l'écosystème oasien des régions sahariennes. L'Algérie occupe ainsi le cinquième rang mondial avec 17 millions de palmiers dattiers. L'entretien annuel produit un gisement renouvelable estimé à plus de 200 000 tonnes de déchets constitués essentiellement de palmes sèches.

Quelques chercheurs ont utilisé les fibres extraites du tronc et de sa surface comme renforts dans des matrices cimentaires, argileuses ou à base de plâtre. Par contre, les travaux concernant les fibres extraites de folioles sont récents et limités. Ce travail concerne des mortiers renforcés par ces fibres après un traitement hydro thermique. Le facteur d'élancement des fibres ainsi que leur proportion peuvent influencer leur dispersion dans la matrice cimentaire et l'homogénéisation de celle-ci avec des conséquences sur la qualité des mortiers. Il s'agissait donc dans ce travail d'évaluer l'impact de ces facteurs sur les performances physico mécaniques des mortiers renforcés de fibres issues des pétioles de palmiers dattiers. L'examen des résultats a révélé des propriétés satisfaisantes. La résistance à la flexion du composite renforcé en fibres de 40 mm avec un taux de 15 % enregistre une amélioration d'environ 34 % par rapport à celle du mortier de référence. Si la résistance à la compression décroît de près de 17 MPa à environ 9 MPa, l'évolution du module de déformation traduit une amélioration du caractère ductile du matériau. La déformation à la rupture qui est de 1.5 % dans le cas du mortier peut atteindre plus de 3 % pour le composite

**MOTS CLÉS :** bétons ligno cellulosiques, fibres de palmier, propriétés mécaniques, valorisation.

---

# OUVRABILITE DES BETONS AUTOPLAÇANTS AVEC ADDITION DE LAITIER CRISTALLISE ET RENFORCES DE FIBRE DE DISS

BEHIM Mourad, LAIFA Walid et ALI-BOUCETTA Tahar

Laboratoire Matériaux, Géo – Matériaux et Environnement - Université BADJI MOKHTAR Annaba BP 12, 23000 Annaba – Algérie

**RESUMÉ :** L'emploi de fibres végétales comme renfort dans les bétons autoplaçants (BAP) est une initiative entreprenante permettant l'exploitation des matériaux locaux, naturels, renouvelables et à faibles impacts économique et écologique. Cette étude porte sur la valorisation d'une graminée répandue à l'état sauvage dans les montagnes principalement (Est d'Algérie), appelée localement le DISS mais son nom scientifique est l'Ampélodesmos mauritanicus. Cette plante était utilisée dans la réalisation d'habitats ruraux anciens en terre armée de DISS, pour son abondance mais aussi en raison de ses qualités mécaniques, car elle présente une résistance en traction de l'ordre de 100 MPa. Le contour de la fibre de DISS n'est pas lisse comme celui de la fibre de polypropylène, mais constitué d'aspérités et de rugosité. Cet état de surface peut avoir des effets contradictoires sur le BAP, diminue l'écoulement du béton frais et améliore la résistance en traction. Le DISS présente une absorption d'eau très importante et large des substances ayant des effets sur la prise du ciment et le durcissement du béton. Notre travail consiste justement à mettre en évidence ces effets et optimiser le dosage de la fibre de DISS par rapport à la fibre de polypropylène par une caractérisation sur BAP à l'état frais (étalement, taux de remplissage et stabilité au tamis) et à l'état durci (essai de traction par flexion et de compression). Les résultats obtenus montrent en effet une diminution des caractéristiques des BAP à l'état frais notamment l'étalement et l'amélioration des résistances mécaniques en traction par flexion.

**MOTS CLÉS :** BAP, fibrage, DISS, Polypropylène, Additions.

---

# CONSTRUCTION EN PAILLE PORTEUSE

## MÉTHODOLOGIE D'ESSAIS DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE

OLIVIER Myriam<sup>A</sup>, ROJAT Fabrice<sup>A</sup>, FORET Gilles<sup>B</sup>, HAMELIN Cédric<sup>C</sup>

<sup>A</sup> Centre d'Études Techniques de Lyon

<sup>B</sup> Université Paris Est, Laboratoire Navier (UMR CNRS 8205)

<sup>C</sup> Architecture BOHA

**RESUMÉ:** À la suite de la publication des règles professionnelles « construction en paille » (RFCP *et al.*, 2012), qui ont permis de faire reconnaître la paille comme matériau isolant et support d'enduit, le projet « paille porteuse » vise à élargir les capacités d'utilisation de la botte de paille pour lui permettre de reprendre directement les charges verticales et de contreventement. Dans le volet mécanique du projet, le premier objectif est de confirmer expérimentalement l'hypothèse couramment admise du comportement en service de la paille enduite comme un sandwich, puis de tester en taille réelle et de modéliser ce comportement sur des murs comportant des singularités (ouvertures, angles, linteaux, ...) en vue d'établir les bases de recommandations pour la conception et le calcul. Le deuxième objectif sera de vérifier et de modéliser un processus émis par les auteurs lors des phases de construction d'une structure en paille porteuse. Il s'agit d'étudier et de caractériser le transfert des charges verticales de charpente / plancher / exploitation / etc., initialement appliquées uniquement sur les bottes de paille, à l'enduit au cours du séchage de ce dernier. La présente communication détaille les programmes d'essais et méthodes proposés par les auteurs.

**MOTS CLÉS :** Paille porteuse, enduit, essais, échantillon, structure.

---



**SESSION 3 - INDICATEURS DE DURABILITÉ :**  
**CARACTÉRISATION**

# CARBONATATION DE MATRICES CIMENTAIRES A BASE DE CEM I ET DE CENDRES VOLANTES EN RELATION AVEC LES EVOLUTIONS MICROSTRUCTURALES ET HYDRIQUES INDUITES

MORANDEAU Antoine<sup>A,B</sup>, THIERY Mickaël<sup>A</sup>, DANGLA Patrick<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Université Paris-Est, IFSTTAR, MAT, F-75732, Paris, France

<sup>B</sup> Université Paris-Est, Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech, IFSTTAR, CNRS, F-77455, Marne-la-Vallée, France.

**RESUMÉ:** Le phénomène de carbonatation des matériaux cimentaires est une des causes majeures de la corrosion des armatures des structures en béton armé. Ce phénomène est étudié depuis de nombreuses années sur les ciments portland ordinaires CEM I, et les mécanismes sont relativement bien identifiés. Néanmoins, on remarque que si l'on substitue une partie du ciment par des ajouts tels que des cendres volantes, la réaction pouzzolanique qui s'en suivra amènera à un contenu molaire plus faible en CH et aboutira à la création de C-S-H pouzzolaniques (avec une plus faible teneur en CaO que les C-S-H issus du clinker). Le pouvoir tampon de la portlandite sera affaibli et le matériau cimentaire sera potentiellement plus sensible à la présence de CO<sub>2</sub> au travers d'une carbonatation des C-S-H qui sera plus marquée. D'un point de vue chimique, le matériau présente alors une plus faible résistance à la carbonatation. D'un point de vue physique, les évolutions microstructurales induites par un niveau élevé de carbonatation des C-S-H deviennent complexes et peuvent significativement accélérer la diffusion du CO<sub>2</sub>. Des essais de carbonatation accélérée ont été réalisés (10% de CO<sub>2</sub>, 25°C et 63% HR) sur plusieurs pâtes de ciment avec des taux volumiques de substitution en cendres volantes de 30% et 60%, ainsi que pour des rapports E/C avant substitution de 0,45 et 0,6. À diverses échéances de carbonatation accélérée, des essais destructifs (analyse thermique, porosimétrie au mercure, projection de phénolphthaléine) et non destructifs (gammadensimétrie) ont été réalisés dans le but de quantifier le dioxyde de carbone fixé dans chaque type d'hydrate (CH et C-S-H), les changements de microstructure induits (porosité, distribution poreuse), ainsi que l'eau de structure libérée par carbonatation. La combinaison de ces différentes techniques d'investigation de la progression de la carbonatation permet d'obtenir différents profils de fixation du CO<sub>2</sub> dans la matrice cimentaire en fonction des hydrates concernés. On peut ainsi relier les changements de microstructure et la libération d'eau avec les niveaux de carbonatation de la portlandite et des C-S-H. Les auteurs observent alors une nette différence de comportement entre les formules de matériau étudiées : la carbonatation progresse bien plus vite dans le cas des matériaux à base de cendres volantes. En complément d'une explication microstructurale, la différence de comportement hydrique entre les C-S-H normaux et les C-S-H pouzzolaniques, indiquant une facilité naturelle pour les seconds à libérer de l'eau dans la porosité au cours de la carbonatation, contribue à justifier l'accélération de la pénétration du CO<sub>2</sub> dans le cas des matériaux à base de cendres volantes.

**MOTS CLÉS :** Durabilité, Carbonatation, Cendres Volantes, Microstructure, C-S-H

---

# CARBONATATION DE BETONS AVEC FORTE SUBSTITUTION DU CIMENT PORTLAND PAR UN LAITIER DE HAUT FOURNEAU

TURCRY Philippe, YOUNSI Akli, AIT-MOKHTAR Abdelkarim

Université de La Rochelle - CNRS, LaSIE FRE 3474, Avenue Crépeau F-17042 La Rochelle cedex 1

**RESUMÉ :** Dans l'objectif de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du matériau béton, une méthode de formulation de bétons avec forts taux de substitution du clinker par des additions minérales a été mise en place lors du projet ANR Ecobéton. Formulés ainsi, les « écobétons » ne sont pas conformes aux prescriptions de la norme EN 206-1 vis-à-vis du dosage minimal en ciment. La norme autorise néanmoins leur utilisation, à condition de prouver qu'ils présentent une durabilité équivalente à celle de bétons respectant les prescriptions normatives.

Nous nous intéressons ici à l'évaluation des performances d'écobétons formulés avec un laitier de haut fourneau vis-à-vis du risque de carbonatation. La démarche employée est celle de l'approche performantielle qui consiste à comparer les écobétons à des bétons conformes aux prescriptions de la norme. Ces derniers, ou références, ont été formulés avec un ciment CEM I et un ciment CEM III. Les bétons étudiés ont été caractérisés au moyen d'indicateurs de durabilité « classiques » et normalisés : porosité à l'eau et résistance à la carbonatation accélérée. D'autres propriétés contrôlant la carbonatation ont également été mesurées (teneur en Portlandite, isotherme de désorption de vapeur d'eau). Une campagne de carbonatation naturelle a été débutée. Quel que soit le mode de conservation au jeune âge, les écobétons présentent un comportement en carbonatation accélérée intermédiaire entre la référence au CEM I et celle au CEM III. La méthode de formulation, par optimisation de la compacité, permet donc de compenser le manque de produits carbonatables des écobétons. Les résultats mettent néanmoins en évidence un besoin de cure plus long pour les bétons contenant des laitiers (écobétons ou bétons au CEM III). En outre, certains résultats expérimentaux nous incitent aussi à nous interroger sur la pertinence de l'essai de carbonatation accélérée réalisé selon la norme française XP P 18-458. En effet, dans la procédure telle que proposée actuellement, les bétons sont testés dans un état hydrique très particulier. Les comportements observés en carbonatation naturelle sont malgré tout assez proches de ceux obtenus en conditions accélérées.

**MOTS CLÉS :** Carbonatation, laitier de haut fourneau, durabilité

---

# DURABILITE DES COMBINAISONS DE LAITIER DE HAUT-FOURNEAU MOULU ET DE CEM II/A

MARION Anne-Marie, MUSIKAS Nicolas

Ecocem France

**RESUMÉ:** Le souci grandissant de préserver l'environnement encourage le remplacement du clinker par des produits de substitution les plus divers: le défi à relever vise à réduire l'impact écologique tout en sauvegardant les qualités essentielles de résistance et de durabilité des ciments conventionnels.

Le laitier de haut-fourneau moulu, en tant que liant hydraulique, occupe une place de choix parmi les « prétendants à la substitution ». Son utilisation comme constituant de liants recomposés à la bétonnière a le vent en poupe du fait de la possibilité offerte au bétonnier de fabriquer en toute sécurité des formulations « à la carte »: la garantie-qualité est acquise car les propriétés des bétons à base de laitier moulu ne diffèrent pas de celles, bien connues, des bétons de ciments au laitier. Des données expérimentales étoffées relatives à la résistance en compression et à la durabilité ont mis en exergue le comportement équivalent de bétons de CEM I et de laitier moulu en comparaison avec des bétons de CEM III de teneur en laitier similaire (50 et 70 % de laitier). Ce constat n'est pas le fait d'une étude sporadique mais la conclusion de nombreuses études menées sur de multiples combinaisons, intégrant nombre de CEM I et de laitiers de diverses origines.

Il est toutefois à craindre que les décennies futures voient disparaître le CEM I du fait d'une empreinte environnementale trop élevée. Cette éventualité a motivé la présente étude consacrée essentiellement à la durabilité des bétons de combinaisons à base de CEM II/A et de 50 % de laitier moulu. Les paramètres de durabilité investigués concernent la carbonatation, la résistance aux sulfates, à l'attaque acide et à la pénétration des chlorures. La résistance en compression a également été investiguée sur mortier et sur béton. Les résultats témoignent de l'impact bénéfique, sur certains paramètres de durabilité, de la substitution des CEM II/A –L, LL et V par le laitier de haut-fourneau granulé moulu.

**MOTS CLÉS :** Laitier moulu, CEM II/A, filler calcaire, cendres volantes, durabilité

---

# DURABILITE DES BETONS AVEC METAKAOLIN OBTENU PAR CALCINATION FLASH

SAN NICOLAS Rackel<sup>A,B,C</sup>, ESCADEILLAS Gilles<sup>B</sup> et CYR Martin<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Department of Chemical & Biomolecular Engineering, the University of Melbourne, Victoria 3010, Australia

<sup>B</sup> Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); TOULOUSE, France

<sup>C</sup> ARGECO Développement ; Fumel, France

**RESUMÉ:** Cet article présente les résultats d'indicateurs de durabilité de bétons dont 25% de ciment ont été substitués par un métakaolin obtenu par calcination flash (brevet Malet, utilisé par Argeco Développement sur son usine de Fumel, France). L'objectif de cette étude, basée sur le principe de l'approche performantielle, est de démontrer que les performances des bétons renfermant ce métakaolin, en prenant un coefficient k de prise en compte égal à 1 (au sens de la norme EN 206-1), sont au moins aussi bonnes que celles de bétons de référence.

Un large panel de formulations, allant des bétons fermes aux bétons auto-plaçants et des bétons à basses performances aux bétons à hautes performances, a été considéré ici. Les résultats montrent que d'un point de vue de la durabilité les bétons, la substitution massique de 25% de CEM I 52.5 N par du métakaolin flash est bénéfique quelque soit la formulation étudiée. La modification microstructurale de la pâte permet d'expliquer en partie les propriétés de durabilité observées. Cette étude montre aussi que le problème de la demande en eau élevée, souvent observé avec les métakaolins traditionnels, est fortement diminué avec la calcination flash qui confère aux métakaolins flash une forme particulière favorable à l'écoulement.

**MOTS CLÉS :** Approche performantielle, métakaolin flash, durabilité, demande en eau

---

# ÉTUDE DE LA DURABILITÉ DES BÉTONS À BASE DE LA POUZZOLANE DE BENI-SAF A PARTIR DE CRITÈRES PERFORMANTIELS

KAID Nouria<sup>A</sup>, CYR Martin<sup>B</sup>, KHELAFI Hamid<sup>A</sup>, JULIEN Simone<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Université des Sciences et de la Technologie M. BOUDIAF, BP 1505 El M'Naouer, Oran 3100, Algérie.

<sup>B</sup> Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); TOULOUSE, France.

**RESUMÉ:** La présente communication traite de la durabilité des bétons à base d'une pouzzolane naturelle d'origine volcanique provenant du gisement de Bouhamidi en Algérie. L'évaluation de la réactivité de cette pouzzolane inclut le taux de consommation de la portlandite et la détermination de son indice d'activité. La qualification de la durabilité des bétons à base de ciment pouzzolanique est déterminée par des critères performantiels basés sur des essais accélérés de laboratoire selon les recommandations françaises AFPC-AFREM et les normes européennes. Les paramètres étudiés sont les indicateurs de durabilité tels que la porosité accessible à l'eau, la perméabilité au gaz, l'absorption capillaire et la teneur en portlandite. Ces indicateurs de durabilité sont complétés par des indicateurs spécifiques à chaque processus de dégradation envisagé tels que les attaques par les sulfates et par les acides. Les expansions sont déterminées sur mortiers et les profils des sulfates sont déterminés sur bétons. Les épaisseurs dégradées par le nitrate d'ammonium sont déterminés uniquement sur bétons. Des analyses d'identification microstructurale par diffraction aux rayons X et par microscopie électronique à balayage couplée à la spectrométrie dispersive d'énergie sont effectuées sur le mortier dégradé par les sulfates. Les résultats concernant les caractéristiques de base ainsi que les indicateurs généraux de durabilité étaient à peu près équivalents pour les compositions de bétons. Les résultats des indicateurs de durabilité spécifiques à chaque type de dégradation ont montré qu'une augmentation de la quantité de pouzzolane conduit à une plus grande résistance des bétons.

**MOTS CLÉS :** pouzzolane, béton, indicateurs de durabilité, sulfate de magnésium, nitrate d'ammonium.

---

# AMÉLIORATION DE LA DURABILITÉ DES BÉTONS PAR APPLICATION D'HYDROFUGES DE SURFACE

Kevin NAMOULNIARA, Pierre-Yves MAHIEUX, Philippe TURCRY, Abdelkarim AÏT-MOKHTAR

Université de La Rochelle - CNRS, LaSIE FRE 3474. Av. M. Crépeau F-17042 La Rochelle cedex 1

**RESUMÉ:** Les indicateurs de durabilité sont des paramètres clés dans la conception des ouvrages en béton armé. Toutefois, on constate qu'ils restent étroitement liés aux performances mécaniques des bétons. Aujourd'hui, il existe des solutions visant à améliorer la durabilité des bétons sans pour autant intervenir sur leurs propriétés mécaniques. Parmi ces solutions se trouve le traitement par application d'hydrofuges de surface. Au moyen d'une étude comparative, nous avons testé la performance de deux hydrofuges de surface sur les propriétés de transfert d'un béton de référence du point de vue de la durabilité. Aussi, des mesures de porosité, d'absorption capillaire et de coefficients de diffusion des chlorures ont été réalisées conformément aux recommandations de l'AFREM. Les résultats obtenus montrent clairement que, de par leurs natures et leurs proportions, les hydrofuges améliorent les indicateurs de durabilité du béton de référence. Afin d'expliquer leurs mécanismes sur le matériau, des mesures de pénétrabilité ont été également conduites et une différenciation du mode d'action entre les deux traitements a été mise en évidence.

**MOTS CLÉS :** Durabilité, hydrofuge de surface, porosité, absorption capillaire, diffusion.

---



**SESSION 4 - SOUS-PRODUITS :**  
**VALORISATION COMME GRANULATS**

## VALORISATION DE GRANULATS RICHES EN SULFATES DANS LE BETON

COLAS Jérémy<sup>A</sup>, CHAUSSADENT Thierry<sup>A</sup>, DIVET Loïc<sup>A</sup>, LAVAUD Stéphane<sup>A</sup>, BURDIN Jacques<sup>B</sup>, MONIN Nathalie<sup>C</sup>

<sup>A</sup> Université Paris-Est, IFSTTAR, Paris, FRANCE

<sup>B</sup> Ingénieur consultant, Chambéry, FRANCE

<sup>C</sup> LTF SAS, Département géologie, Chambéry FRANCE

**RESUMÉ:** Dans le cadre de la future liaison ferroviaire entre Lyon et Turin, LTF (Lyon Turin Ferroviaire), filiale du Réseau Ferré de France (RFF) et du Réseau Ferré Italien (RFI), souhaite valoriser une grande partie des 16 millions de m<sup>3</sup> des matériaux excavés comme granulats à béton, béton qui servira pour le revêtement du tunnel. Cette initiative a été mise en place dans une démarche de développement durable. Elle permettra, d'une part, d'éviter l'excavation de nouvelles carrières et la mise en dépôt des matériaux, favorisant une gestion économe et durable des ressources naturelles et, d'autre part, de limiter le transport des matériaux excavés par route, réduisant ainsi l'émission de gaz à effet de serre. Cependant, une partie de ces matériaux devant être valorisés présente une teneur élevée en sulfates, les rendant non utilisables en tant que granulats à béton compte tenu des normes européennes en vigueur. Les sulfates, présents dans ces matériaux excavés, peuvent réagir avec les composants du ciment et entraîner des dégradations au sein du béton suite à la formation d'ettringite ou de thaumasite, résultant d'une attaque sulfatique interne. Une étude a été menée pour valoriser ces matériaux comme granulats à béton et a permis de proposer plusieurs solutions comme le lavage des matériaux, le choix d'un ciment approprié ou l'utilisation des matériaux comme source de sulfates pour contrôler l'hydratation du ciment.

**MOTS CLÉS :** matériaux excavés, sulfate, béton, RSI, ettringite, gonflement

---

# AMÉLIORATION DES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES TUF CALCAIRES PAR TRAITEMENT AUX LIANTS HYDRAULIQUES ET POUZZOLANIQUES

(Expérimentations sur les sols des hauts plateaux de Sétif)

ACHOUR Yacine <sup>A</sup>, BENDAOUD El Amine <sup>B</sup>, BOUMAZBEUR Abderahmane <sup>C</sup>

<sup>A</sup> Faculté des sciences de la terre et de l'aménagement de territoire, Université d'Annaba, Algérie

<sup>B</sup> Département de génie civil, faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Sétif, Algérie

<sup>C</sup> Département de géologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Tébessa, Algérie

**RESUMÉ:** Le présent travail s'inscrit dans le cadre des projets de traitement des sols aux liants hydrauliques et pouzzolaniques en vue d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques à court et à long terme. L'article illustre, sur un exemple concret, la méthodologie d'étude de laboratoire sur le traitement des tufs de la région de Sétif (Algérie) par incorporation de différentes teneurs en ciment, laitier et pouzzolane.

Une caractérisation des tufs utilisés est effectuée conformément aux normes AFNOR ; il s'agit des essais géotechniques physiques (Granulométrie, Limites d'Atterberg, Teneur en eau, Valeur au bleu de méthylène) et mécaniques standards (Résistance à la compression simple, Résistance à la traction indirecte, essai Proctor modifié et CBR Immédiat), en plus des essais chimiques. Les résultats obtenus après traitement, mettent en évidence une amélioration certaine et nettement meilleure des propriétés mécaniques des tufs étudiés telles que la résistance à la compression simple (Rc), la résistance à la traction indirecte (Rtb) et l'indice CBR Immédiat.

L'article présente enfin un dernier volet concernant le coût de traitement sous forme d'une comparaison.

**MOTS CLÉS :** essais mécaniques, amélioration des caractéristiques mécaniques, tufs calcaires, liants hydrauliques, hauts plateaux.

---

# **COMPOSITES CIMENTAIRES A IMPACT ENVIRONNEMENTAL REDUIT : CARACTERISATION EXPERIMENTALE ET MODELISATION DU COMPORTEMENT ELASTIQUE LINEAIRE**

DUPLAN François, ABOU-CHAKRA Ariane, ESCADEILLAS Gilles, TURATSINZE Anaclet

Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); TOULOUSE, France

**RESUMÉ:** Les composites cimentaires, matériaux massivement utilisés dans la construction, ont un impact environnemental important, principalement imputable à leurs matières premières et en particulier au ciment.

Le développement de composites cimentaires alternatifs dont les formulations combinent un faible dosage en ciment et la substitution de granulats naturels par des déchets industriels est donc une piste pertinente pour la réduction de cet impact environnemental.

Cette communication a pour objectif de montrer que ces matériaux alternatifs (mortiers de granulats naturels à faible dosage en ciment, mortiers incorporant des granulats en caoutchouc issus de la valorisation, ...) sont éligibles dans des applications spécifiques de la construction, en particulier lorsque la résistance mécanique n'est pas le critère de prédilection.

La modélisation micromécanique permet de relier entre elles la formulation et certaines propriétés mécaniques du composite (ici le module d'élasticité), souvent utiles au dimensionnement de structures. Elle offre un gain de temps appréciable pour la caractérisation expérimentale de nouveaux composites, et complète efficacement certaines relations empiriques prescrites par des normes constructives (Eurocode, ACI 318, ...).

Les résultats expérimentaux trouvés lors de la caractérisation mécanique des composites développés ont donc été confrontés à leurs prédictions par un modèle basé sur le schéma de Mori-Tanaka ; la précision obtenue permettra de juger leur validité.

**MOTS CLÉS :** composites cimentaires, modélisation, propriétés mécaniques, granulats caoutchouc

---

# ETUDE DE L'HYDRAULICITE DE LAITIERS D'ACIERIE DE CONVERSION (LAC) : INFLUENCE DE L'EXTINCTION DE LA CHAUX VIVE

DILIBERTO Cécile, LECOMTE André, BELHADJ Essia

Université de Lorraine, Institut Jean Lamour, UMR 7198, CP2S-207, Matériaux pour le Génie Civil, IUT de Nancy-Brabois, CS90137, F54601 Villers-lès-Nancy cedex, France

**RESUMÉ** : Les laitiers d'aciérie de conversion (LAC) sont des coproduits de la transformation de la fonte en acier. Compte tenu des quantités produites, ils constituent une ressource minérale importante sous forme de granulats ou d'additions dans certains liants. Ces matériaux contiennent essentiellement  $\beta$   $C_2S$ ,  $C_2F$ ,  $Fe_{1-x}O$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $CaO$  et parfois  $SiO_2$  en plus faible quantité. La présence de phases typiques de matériaux cimentaires leur confèrent des propriétés hydrauliques latentes, ce qui permettrait de les valoriser dans les liants routiers, par exemple. Cependant en raison de la forte teneur en  $CaO$  libre qu'ils renferment et qui provoque des expansions conséquentes en s'hydratant, ils trouvent une utilisation limitée en génie civil. L'étude de l'hydraulicité de ces matériaux a été menée sur pâtes pures de laitiers, conservées dans deux milieux différents - immersion sous eau et atmosphère saturée - et à différentes températures afin d'activer leur réactivité selon le principe d'Arrhénius. Les résultats ont montré qu'il était nécessaire au préalable d'éteindre la chaux vive afin d'éviter un raidissement prématuré de la pâte. La procédure d'extinction de la chaux selon la norme des liants routiers n'est pas bien adaptée pour ce type de matériaux. Une amélioration de cette procédure est proposée ici.

**MOTS CLÉS** : laitiers d'aciérie de conversion, chaux vive, extinction, hydraulicité.

---

# IMPACT DE LA CHAUX SUR L'INSTABILITE DES LAITIERS D'ACIERIE DE CONVERSION LD ET LEUR VALORISATION COMME GRANULATS EN TECHNIQUE ROUTIERE

BULTEEL David<sup>A,B</sup>, WALIGORA Julien<sup>A,B,C</sup>, DAMIDOT Denis<sup>A,B</sup>, POTDEVIN Jean-Luc<sup>A,D</sup>, MEASSON Michel<sup>E</sup>

<sup>A</sup> Univ Lille Nord de France, F-59000 Lille, France

<sup>B</sup> Mines Douai, MPE-GCE, F-59500 Douai, France

<sup>C</sup> Eiffage Travaux Publics, Laboratoire Central Ciry, F-02220 Ciry-Salsogne, France

<sup>D</sup> CNRS, UMR 8157, F-59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>E</sup> Eiffage Travaux Publics, Recherche et Développement, F-69960 Corbas, France

**RESUMÉ:** Les laitiers d'aciérie de conversion LD présentent des propriétés mécaniques très satisfaisantes permettant leur substitution aux granulats naturels classiquement utilisés en technique routière (granite, porphyre, basalte...). Cependant, leur emploi dans ce domaine peut engendrer des désordres dimensionnels (apparition de gonflements et de fissures à la surface des chaussées) qui sont la conséquence de réactions chimiques se produisant entre les granulats de laitier et l'eau.

Sur la base d'une caractérisation détaillée de plusieurs coulées de laitier LD, l'objectif de cette étude est d'établir le lien entre la teneur de chaux et ses différentes formes : nodules et micro-inclusions mises en cause dans l'instabilité des laitiers LD avec des taux d'expansion obtenus par des tests normalisés de stabilité à la vapeur afin d'aboutir à une meilleure compréhension des mécanismes qui conduisent aux désordres dimensionnels.

En l'absence de magnésie libre, il a été établi que la chaux vive CaO est la seule phase minérale susceptible d'être mise en cause dans l'instabilité des laitiers LD et surtout que la répartition des nodules, dont la taille est comprise entre 20 et 100  $\mu\text{m}$  et des micro-inclusions, de largeur comprise entre 1 et 3  $\mu\text{m}$ , qui est maîtrisable, est un paramètre majeur à prendre en compte.

En effet, les laitiers contenant une proportion importante de nodules de chaux vive sont très instables alors que ceux où la chaux est répartie essentiellement sous forme de micro-inclusions induisent des taux de gonflement très faibles (< 3,5%). De plus, il est à noter qu'il peut être obtenu des granulats de laitiers stables avec des teneurs en chaux libre assez élevées jusqu'à 9 voire 10%.

Ce résultat a conduit à l'établissement d'un nouveau procédé de sélection des coulées, breveté par la société EIFFAGE Travaux Publics, permettant d'obtenir des granulats stables de laitier LD contenant essentiellement des micro-inclusions de chaux vive et pas ou très peu de nodules, d'assurer leur qualité et de les utiliser pour la confection de nombreux matériaux routiers (enrobés, enduits, GNT...) sans avoir recours à des procédés de vieillissement longs, d'une efficacité parfois aléatoire et nécessitant d'importantes surfaces de stockage et engageant des coûts importants.

**MOTS CLÉS :** Laitier d'aciérie de conversion LD, instabilité, chaux, granulats, technique routière

---

# LE POTENTIEL DU BETON INCORPORANT DES GRANULATS EN CAOUTCHOUC ISSUS DU BROYAGE DE PNEUS USAGES : DU LABORATOIRE AU CHANTIER EXPERIMENTAL

TURATSINZE Anaclet<sup>A</sup>, MEASSON Michel<sup>B</sup>, CLAUZADE Catherine<sup>C</sup>, FAURE Jean-Philippe<sup>D</sup>,

- <sup>A</sup> Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions
- <sup>B</sup> Direction R&D EIFFAGE Travaux Publics
- <sup>C</sup> Direction du Développement ALIAPUR
- <sup>D</sup> Ingénieur chargé d'affaire R&D ALIAPUR

**RESUMÉ:** Malgré une performance à la compression à l'origine de leur succès, les matériaux cimentaires sont handicapés par une faible résistance à la traction conjuguée à une faible capacité de déformation. Ils sont réputés fragiles et sensibles à la fissuration notamment celle due aux déformations imposées. C'est particulièrement le cas d'éléments à grande surface où la fissuration de retrait est souvent très préjudiciable. Pour éviter un tel désordre, les solutions traditionnelles ont un coût et une efficacité limitée. Les armatures n'empêchent pas la fissuration et sont sensibles à la corrosion. Les joints de retrait constituent une faiblesse dont l'objectif est de localiser la fissure pour éviter une fissuration désordonnée peu esthétique. Malheureusement, ils sont aussi le siège d'un tuilage – pianotage et favorisent la pénétration d'agents agressifs. Ils constituent rapidement le point de départ de nouveaux désordres. Dans ces conditions, améliorer la capacité de déformation des composites à base cimentaire est un objectif dont il n'est point nécessaire de justifier l'intérêt. Pour atteindre cet objectif, l'hypothèse de travail fut l'adjonction de granulats de faible rigidité considérés comme volumes de relaxation des contraintes visant à retarder la formation de la macrofissuration. Dans ce but, des granulats en caoutchouc (GC) issus du broyage de Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) ont été incorporés dans le béton en remplacement partiel des granulats naturels. Après une décennie d'essais de laboratoire et des conclusions encourageantes, un chantier expérimental a été réalisé pour valider la solution dans les conditions réelles d'exposition. Ce chantier est constitué de deux dallages non circulés, un premier à base de béton de référence et un second à base de béton incorporant des granulats en caoutchouc. Un dallage circulé à base de béton incorporant des GC fait aussi partie du programme. Après une année d'observation, le projet permet de conclure que le béton incorporant des granulats en caoutchouc offre une nette amélioration de la performance vis-à-vis de la fissuration de retrait offrant ainsi une nouvelle voie de valorisation du PUNR dans une application de génie civil plus durable.

**MOTS CLÉS :** Béton, Fragilité, Retrait, Fissuration, Granulats en Caoutchouc, Valorisation matière, Dallages, Chantier expérimental.

---



**SESSION 5 - INDICATEURS DE DURABILITÉ :**  
**ESSAIS ET MODÉLISATION**

# PROBABILISATION D'UN MODÈLE PHYSICO-CHIMIQUE DE PÉNÉTRATION DES CHLORURES DANS UN BÉTON SATURÉ

PRADELLE Sylvain<sup>A,B</sup>, THIÉRY Mickaël<sup>A</sup>, BAROGHEL-BOUNY Véronique<sup>A</sup>, WANG Xiaomeng<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Université Paris-Est, IFSTTAR, MAT, F-75732, Paris, France

<sup>B</sup> ENTPE, Vaulx-en-Velin, France

**RESUMÉ:** L'Ifsttar a développé un modèle physico-chimique multi-espèces de pénétration des chlorures à travers les matériaux cimentaires saturés ((Baroghel-Bouny et al., 2009), code *bil* développé en volumes finis dans un environnement en langage C) afin de prédire la durée de vie des structures en béton armé exposées à l'eau de mer. Quatre espèces ioniques sont prises en compte dans ce modèle :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ . Le modèle est basé sur l'utilisation d'indicateurs de durabilité comme données d'entrée (porosité et coefficient de diffusion effectif des ions chlorure). Le transport des ions est décrit par l'équation de Nernst-Planck. Les équations de transports sont complétées par la prise en compte des interactions ions-matrice. Néanmoins, ce modèle physico-chimique demeure déterministe et la variabilité des paramètres d'entrée n'est pas prise en compte. Ainsi, cet article présente un couplage numérique entre des approches probabilistes de type FORM avec ou sans surfaces de réponse (méthode approchée) ou Monte Carlo (méthode directe) (code *ReliabTbx* développé dans l'environnement Matlab) et le modèle physico-chimique pré-décrit.

Dans un premier temps, l'article détaille le modèle physique utilisé, ainsi que les outils probabilistes mis en œuvre. Par la suite, l'article expose les lois de probabilité des données d'entrée du modèle physique (pour le coefficient de diffusion effectif, la loi de variabilité est tirée de (De Larrard, 2010) ; pour les autres données, les lois sont tirées de résultats d'essais menés à l'Ifsttar (Baroghel-Bouny et al., 2011a) et de modèles semi-analytiques (modèle d'hydratation pour les teneurs en C-S-H et en aluminates résiduels par exemple). Les auteurs présentent alors les résultats numériques obtenus, c'est-à-dire la variation de l'indice de fiabilité au cours du temps pour trois bétons ( $E/L=0.84$  à  $0.49$ , avec ou sans cendre volante). Il est montré que les méthodes probabilistes approchées conduisent à des résultats très proches de la méthode directe. Une étude de sensibilité du modèle physique est également conduite en déterminant les élasticités associées aux moyennes et aux écarts types de chaque variable du modèle afin de montrer la pertinence ou non de les probabiliser. De plus, une telle étude permet d'identifier les paramètres d'entrée dont il convient de réduire la variabilité pour atténuer le risque d'aléa (meilleure maîtrise de l'enrobage notamment).

**MOTS CLÉS :** Béton, Durabilité, Chlorures, Saturée, Probabilisation.

---

## DEVELOPPEMENT D'UN ESSAI ACCELERE POUR L'ETUDE DE LA REACTION SULFATIQUE INTERNE

KHELIL Nacim, AUBERT Jean-Emmanuel, ESCADEILLAS Gilles

Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); 135, avenue de Rangueil; F-31 077 Toulouse Cedex 04, France

**RESUMÉ** : La réaction sulfatique interne (RSI) est une pathologie qui apparaît sous certaines conditions dans des bétons ayant subi un échauffement supérieur à 70°C au jeune âge (étuvage en industrie de préfabrication ou échauffement excessif dû à l'hydratation du ciment dans les pièces massives de béton). Cette réaction étant réputée très lente, plusieurs méthodes visant à accélérer les réactions menant à la formation d'ettringite différée ont été développées. Ces méthodes se basent toutes sur l'endommagement du matériau.

Un autre type de test, proposé par le LMDC, pourrait être envisagé. Il s'appuie sur le principe de déplacement ionique sous champ électrique, tel qu'utilisé dans les techniques de réhabilitation électrochimiques comme la Déchloration (ECE), pour accélérer la lixiviation des alcalins qui semble être un des facteurs déterminant dans l'apparition de cette pathologie.

L'étude présentée dans cette communication a porté sur des bétons confectionnés à partir d'un ciment CEM I (52,5N) enrichi en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Ces bétons ont subi un traitement thermique représentatif de ceux utilisés historiquement dans des usines de préfabrication (cycle de 24 heures avec une température maximale de 80°C). Différentes pistes ont été explorées pour la mise au point de l'essai accéléré. Les premiers résultats ont montré qu'il était nécessaire d'utiliser une anode amovible en titane ruthénium au lieu d'une anode en acier inoxydable noyée dans le béton. Puis, les essais réalisés avec de l'eau déminéralisée comme soluté à la cathode n'ont pas permis d'accélérer l'apparition des expansions. La manipulation a donc été modifiée et du carbonate de potassium a été ajouté à la solution. Cette modification n'a pas été efficace et des essais sont en cours pour expliquer ce résultat.

**MOTS CLÉS** : Réaction Sulfatique Interne, essai accéléré, expansion, traitements électrochimiques, migration des alcalins.

---

# ÉTUDE EXPERIMENTALE DES MATERIAUX CIMENTAIRES AVEC ADDITIONS MINERALES AUTO-CICATRISANTES

OLIVIER Kelly, DARQUENNES Aveline, BENBOUDJEMA Farid

LMT Cachan/ENS Cachan/CNRS UMR8535/UPMC/PRES UniverSud Paris, Cachan,  
France

**RESUMÉ** Dans le domaine de la construction, l'utilisation de ciments contenant des additions minérales est largement répandue. La substitution du clinker par des additions telles que le laitier de haut-fourneau apportent plusieurs avantages : revalorisation d'un déchet de l'industrie sidérurgique et amélioration des propriétés du béton liées à sa durabilité. Cependant, ce type de matériau présente une sensibilité à la fissuration plus élevée en condition de déformations restreintes. Le suivi du retrait endogène et du retrait de dessiccation sur éprouvettes de mortier montrent effectivement une sensibilité plus importante des matériaux avec laitier de haut-fourneau à ce dernier phénomène. Sa structure poreuse plus fine génère des pressions capillaires plus importantes amplifiant le retrait de dessiccation. De plus, le suivi de l'hydratation sur différentes compositions témoigne d'une cinétique d'hydratation retardée et les propriétés mécaniques mesurées sont plus faibles au jeune âge réduisant les capacités du matériau à résister à ces contraintes de traction. La cicatrisation naturelle de ces fissures présentera un avantage certain pour améliorer la durabilité des matériaux cimentaires.

**MOTS CLÉS** : Laitier de haut fourneau, auto-cicatrisation, comportement au jeune âge, déformations différées

---

# DEVELOPPEMENT D'UN COMPOSITE A MATRICE MINERALE ET A RENFORT TEXTILE - DURABILITE

MICHEL Marie, AMBROISE Jean

Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale, INSA, UCBL, Lyon, France

**RESUMÉ:** Les CCV ou les TRC (Textile Reinforced Cement or Concrete) sont des matériaux dont le coût matière est très nettement supérieur à celui des bétons traditionnels, ce qui a un impact sur le prix des produits finis. La réduction des coûts passe par la diminution des épaisseurs et par une réduction des cycles de fabrication. Concernant la réduction des cycles de fabrication, l'utilisation des liants à prise rapide tels que les systèmes [CAC - sulfate de calcium - CEM] permet, par le fait de la précipitation rapide d'ettringite, un démoulage avant 60 minutes. Il est néanmoins nécessaire d'évaluer l'évolution des performances mécaniques à cause du phénomène de carbonatation des ettringites qui peut affecter la durabilité à long terme.

**MOTS CLÉS :** composite, ciment, verre, microstructure, durabilité

---

# INFLUENCE DE LA NATURE MINÉRALOGIQUE DES GRANULATS SUR LE COMPORTEMENT MÉCANIQUE DIFFÉRÉ DES BÉTONS

MAKANI Abdelkadir<sup>A</sup>, VIDAL Thierry<sup>B</sup>, PONS Gérard<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire de Fiabilité des Matériaux et des Structures (FIMAS), Université de Béchar BP 417 Béchar (08000), Algérie

<sup>B</sup> Université de Toulouse, UPS, INSA, LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions), 135, Avenue de Ranguel, F-31 077 TOULOUSE Cedex 4, France

**RÉSUMÉ:** Les déformations différées des bétons peuvent mettre en cause la durabilité des ouvrages et ce pour plusieurs raisons. Les déformations de retrait peuvent induire des risques de fissuration. Les déformations de fluage peuvent entraîner, dans le cas des structures isostatiques des flèches incompatibles avec le bon fonctionnement en service des ouvrages. Dans le cas de structures précontraintes, ces déformations peuvent générer des pertes de tension des câbles très importantes. Dans le cas des structures hyperstatiques, le fluage peut provoquer des redistributions d'efforts dont l'évaluation est indispensable sous peine de mettre en péril la sécurité de l'ouvrage. L'expérience montre néanmoins une grande dispersion des valeurs de déformations différées mesurées et des écarts non négligeables avec les valeurs calculées selon les règlements actuels (BPEL99, EN1992-1-1, EN1992-2).

L'objectif de ce travail est de s'intéresser à un paramètre non pris en compte dans ces règlements et qui pourrait être à l'origine des imprécisions de leurs prédictions : la nature minéralogique des granulats. Le programme expérimental s'articule autour d'une étude comparative des comportements mécaniques instantanés et différés de bétons de même formulation de base, ne se différenciant que par la nature des granulats. Six différents types de granulats (siliceux roulé, granite concassé, calcaire concassé, siliceux concassé, grès et diabase quartzieuses concassées) ont été utilisés dans la production de ces Bétons à Hautes Performances (BHP).

Les résultats expérimentaux montrent que les évolutions des déformations différées en condition endogène sont relativement similaires pour l'ensemble des BHP, avec néanmoins des valeurs supérieures pour les BHP avec granulats siliceux roulés et de grès pour ce qui est du retrait et pour ceux avec granulats de grès et de diabase pour ce qui est du fluage. En condition de dessiccation, les écarts sont plus importants. Les BHP avec granulats de grès et de diabase se déforment également davantage (leurs valeurs de fluage spécifique seraient deux fois plus forte à long terme que celles des autres bétons), confirmant leurs déformations supérieures de retrait total, vraisemblablement du fait, en partie, d'une moindre qualité de l'auréole de transition (ITZ) et de faibles performances mécaniques dans le cas de la diabase.

**MOTS CLÉS :** BHP, granulats, ITZ, comportement mécanique, retrait, fluage.

---

**SESSION 6 - ECO-MATÉRIAUX :**  
**GÉOPOLYMÈRES**

# MATERIAUX CONSOLIDES A BASSE TEMPERATURE A BASE D'UN LIANT ALUMINO-SILICATE

PRUD'HOMME Elodie, GOUNY Fabrice, FOUCHAL Fazia, ROSSIGNOL Sylvie

Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes (GEMH-ENSCI) Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle, 12 rue Atlantis, 87068 Limoges Cedex, France

**RESUMÉ:** Avec la prise de conscience de la menace liée aux émissions de CO<sub>2</sub> au début des années 90, les matériaux géopolymères sont apparus comme une alternative au ciment, à tel point qu'ils sont maintenant étudiés dans une soixantaine de laboratoires dans le monde. La réalisation d'un géopolymère à base de kaolin ne nécessite que la calcination de celui-ci à 750°C, ce qui correspond à une réduction de 80% des émissions de CO<sub>2</sub>. L'étude proposée a été initiée, afin de comprendre les mécanismes de formation à l'origine de la consolidation de matériaux argileux en milieu basique et en présence de différents renforts. La finalité était de comprendre le rôle joué par le cation alcalin, par la variation du rapport Si/Al et par l'introduction de quelques renforts au sein de la matrice géopolymère. La composition initiale (Si/Al = 1,4 et Si/M ≈ 2 ; M= Na, K) des différents matériaux consolidés à froid (géopolymères denses, renforcés ou poreux) est réalisée à partir d'un mélange de base constitué de silicate alcalin, de métakaolin et d'hydroxyde alcalin. Le caractère amorphe dû au mécanisme de géopolymérisation a été identifié à la fois par spectroscopie infrarouge, par diffraction des rayons X et par des observations de microscopie à balayage. Un mécanisme de formation a pu être proposé pour la formation de ces matrices géopolymères. Quelle que soit la nature du cation alcalin, pour la matrice dense, les étapes de formation proposées reposent sur un réseau constitué d'une matrice amorphe et d'un excédent de MOH n'ayant pas réagi. Ces différents matériaux à base de matrice géopolymère, présentent des propriétés d'usage et de durabilité qui en font d'excellents candidats pour des applications dans le domaine de l'habitat. Une première voie est leur utilisation en tant que mortier dans un matériau assemblé.

**MOTS CLÉS :** silicate alcalin, géopolymère, mécanisme de formation, mortier, composite

---

# ÉTUDE DE L'INTERFACE GRANULATS/LIANT DANS DES MORTIERS AU LAITIER ACTIVE PAR DES ALCALINS

SAN NICOLAS Rachel<sup>A</sup>, PROVIS John<sup>AB</sup>

<sup>A</sup> Department of Chemical & Biomolecular Engineering, the University of Melbourne, Victoria 3010, Australia

<sup>B</sup> Department of Materials Science and Engineering, the University of Sheffield, Sheffield S1 3JD, United Kingdom

**RESUMÉ:** L'interface de transition entre le liant et le granulats est une zone connue pour avoir une forte influence sur les propriétés mécaniques et de transferts dans les matériaux de construction tels que les mortiers et les bétons. L'objectif de cet article est l'étude comparative de cette zone, entre des granulats siliceux et différents liants à base de laitier activé par une solution alcaline (communément appelés géopolymères) et un liant de référence à base de ciment au clinker. Trois tailles de granulats ont été testées tout en conservant le rapport eau/liant constant.

Les résultats obtenus à l'aide d'observations au microscope électronique à balayage en utilisant le mode de détection d'électrons rétrodiffusés (ERD), ont permis d'identifier les différents composés formant le liant, tels que les particules de laitier n'ayant pas réagi, ainsi que les produits de réactions « Inner » et « Outer », et enfin la porosité dans le cas des mortiers au laitier activé par une solution alcaline. Pour les mortiers à base de ciment, les phases hydratées, non-hydratées, la portlandite et la porosité ont également pu être distinguées et quantifiées. Des cartographies chimiques ont été acquises afin de quantifier les zones et les surfaces composées par l'une ou l'autre des ces espèces afin de les comparer. Les résultats démontrent que, contrairement au mortier à base de ciment, pour lequel cette zone d'interface est généralement plus fragile que le reste de la pâte, dans les mortiers au laitier activé par une solution alcaline, cette zone semble plus dense, uniforme, pauvre en produits non réagis et plus large. Ces différences peuvent expliquer, en partie les excellents résultats observés sur le comportement à long terme de ce type de matériaux.

Les résultats ont également démontré que la taille des granulats utilisés a aussi une légère influence sur les propriétés physiques, ainsi que sur la microstructure dans la zone de transition.

**MOTS CLÉS :** Alkali-activation, Géopolymères, Interface liant/granulats, Laitier, MEB/ERD

---

## SUIVI DE LA STRUCTURE POREUSE DU GEOPOLYMERE PAR MICROCALORIMETRIE

Prune STEINS<sup>A,C</sup>, Fabien FRIZON<sup>A</sup>, Arnaud POULESQUEN<sup>B</sup>, David LAMBERTIN<sup>A</sup>,  
Sylvie ROSSIGNOL<sup>C</sup>

<sup>A</sup> CEA Marcoule DTCD/SPDE/LP2C

<sup>B</sup> CEA Marcoule DTCD/SPDE/LCFI

<sup>C</sup> Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle - Limoges

**RESUMÉ:** Dans les travaux présentés ici, les géopolymères sont des polymères inorganiques alumino-silicatés obtenus par activation d'une source alumino-silicatée, le métakaolin, par une solution d'hydroxyde de sodium. L'étude structurale du géopolymère au cours du temps, permet de mieux comprendre les réactions de géopolymérisation. La formation du géopolymère procède selon un mécanisme de dissolution/restructuration/polymérisation conduisant à un matériau solide. Les techniques de microcalorimétrie et d'adsorption de gaz sont utilisées pour suivre l'évolution du réseau poreux du géopolymère au cours du temps. L'étude du confinement de l'eau par microcalorimétrie montre que l'eau impliquée dans les réactions de dissolution/polycondensation devient de plus en plus liée à la structure avec le temps. L'adsorption de gaz indique que la distribution en taille et la forme des pores du géopolymère ne sont pas uniformes.

**MOTS CLÉS :** géopolymère, microcalorimétrie, adsorption de gaz

---

# ÉTUDE DE LA DURABILITÉ DE GEOPOLYMERES À BASE DE VERRE DE RECYCLAGE

IDIR Rachida<sup>A</sup>, CYR Martin<sup>B</sup>, PAVOINE Alexandre<sup>A</sup>, HERY Bathylle<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire Eco-Matériaux, Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement, Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement Ile-de-France, 319 avenue Georges Clemenceau, BP 505, 77015 MELUN Cedex, France.

<sup>B</sup> Université de Toulouse, UPS, INSA, Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, 135, Avenue de Rangueil, F-31077 TOULOUSE Cedex 4, France.

**RESUMÉ:** Ce travail traite de la durabilité de géopolymères obtenus à base de verre de recyclage. Trois types de verre sont étudiés et comparés : du verre à vitre, du verre creux d'emballage et du verre de pare-brise. L'étude de durabilité est conduite sur une composition optimale définie en se basant sur la concentration de la solution activante de KOH (1- 2- 3- 5- 7- 10 mol/l) et sur la durée d'étuvage à 60°C (1- 2- 4- 7- 14 jours). Cette optimisation est établie sur le critère de résistances en compression et en flexion de mortiers normalisés. L'évaluation et la qualification de la durabilité de ces géopolymères sont déterminées à travers différents indicateurs : la porosité accessible à l'eau, l'absorption capillaire, la diffusion des ions chlore, les attaques par les sulfates et par les acides et la réaction alcali-silice.

Les résultats montrent d'une part que la composition optimale est obtenue avec une concentration de la solution activante (KOH) de 3 mol/l et une durée d'étuvage à 60°C de 7 jours et cela pour les trois verres étudiés. D'autre part, l'étude montre que les géopolymères obtenus à base des trois types de verre présentent une bonne résistance aux attaques acides et sulfatique et vis-à-vis de la réaction alcali-silice, malgré leur perméabilité élevée comparée à des mortiers de ciment Portland.

**MOTS CLÉS :** verre de recyclage, mortier, géopolymère, indicateurs de durabilité, sulfate de magnésium, nitrate d'ammonium, acide nitrique

---



**SESSION 7 - SOUS-PRODUITS :**  
**VALORISATION DE GRANULATS RECYCLÉS**

## BETONS A BASE DE RECYCLATS – APPLICATIONS AU VERRE, PNEU ET CIMENT DURCI

SERIFOU Mamery<sup>A,B</sup>, BOFFOUE Moro Olivier<sup>A</sup>, EMERUWA Edjikemé<sup>A</sup>, YOTTE Sylvie<sup>B</sup>, SBARTAI Mehdi<sup>C</sup>

<sup>A</sup> UFR Science de la Terre UNIVERSITE DE COCODY 01 BP V34 Abidjan 01 - Côte d'Ivoire

<sup>B</sup> Université de Limoges, Centre de Génie Civil, 19550 Egletons

<sup>C</sup> Univ Bordeaux, I2M, dpt GCE, domaine universitaire, 33405 Talence cedex

**RESUMÉ:** L'élimination de certains déchets est un enjeu important en Côte d'Ivoire. Une possibilité est d'utiliser ces déchets comme granulats dans les bétons. Cette étude porte sur 3 types de déchets : du verre concassé, du ciment durci concassé et des pneus découpés. Ces déchets ont été incorporés à du béton pour remplacer 100% des graviers. La matrice du mortier reste identique et seul le pourcentage de recyclât change. Les résistances mesurées sont comparées et une loi donnant la résistance en fonction des caractéristiques des agrégats et de leur fraction volumique est proposée.

**MOTS CLÉS :** Béton, recyclât, résistance, verre, pneu, ciment durci.

---

# VALORISATION DES GRANULATS RECYCLES ISSUS DE DEBRIS DE TERRE CUITE DANS LE BATIMENT

BEDJOU Souhila<sup>A</sup>, SILHADI Kamel<sup>B</sup>, HAKIMI Laabed<sup>A</sup>, BENNA Youcef<sup>A</sup>, IDIR Mustapha<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (Algérie)

<sup>B</sup> Ecole Nationale Polytechnique (Algérie)

**RESUMÉ:** Le secteur du bâtiment est une activité économique qui consomme de l'espace et de l'énergie et lors de ses différents travaux, il est amené à rejeter d'importantes quantités de déchets. En raison de l'importance croissante de ces stocks, il n'est plus autorisé à continuer à épuiser les ressources naturelles et à polluer notre environnement avec ces produits. Le recyclage de déchet de la construction fait partie intégrante du développement durable et implique la participation de tous : autorité publique, maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entrepreneur.

Ces dernières années, de nombreuses tentatives et expérimentations ont été réalisées sur le recyclage des débris de béton afin de prendre en charge la problématique de gestion de ces déchets. A l'égard de la rareté des travaux sur les déchets de produits rouges, et devant l'importance de ces produits en Algérie, nous avons orienté notre travail sur le recyclage des débris de terre cuite purs sans aucun mélange à d'autres matériaux issus des travaux de démolition.

Dans cet article, il est mis en évidence la possibilité d'utiliser les granulats recyclés issus de débris de terre cuite pour la confection des mortiers et des agglomérés (blocs) de béton. Les résultats de ces investigations sont comparés à ceux obtenus dans ce domaine sur les matériaux naturels.

**MOTS CLÉS :** Déchet, Brique, Environnement, Recyclage, Bloc

---

# VALORISATION DE DECHETS DE FIBRES-CIMENT NON AMIANTES EN SUBSTITUTION DU CIMENT DANS DES MORTIERS

BOUHAROUN Samir, LEKLOU Nordine, MOUNANGA Pierre

LUNAM Université, Université de Nantes – IUT Saint-Nazaire, GeM, CNRS UMR 6183,  
Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, France

**RESUMÉ** : Ce travail a pour objectif d'étudier la faisabilité de l'utilisation de déchets de fibres-ciment non amiantés en substitution de ciment Portland ordinaire pour la fabrication de mortiers. Les déchets de fibres-ciment, produits lors de la fabrication d'éléments de toiture, ont été initialement broyés pour augmenter leur surface de contact avec l'eau de gâchage. Ils ont ensuite été tamisés afin d'obtenir trois granulométries différentes (0/80  $\mu\text{m}$ , 80/100  $\mu\text{m}$  et supérieure à 100  $\mu\text{m}$ ). Après ce traitement mécanique, les particules de fibres-ciment ont été incorporées dans des pâtes et des mortiers avec des taux de substitution massique de 5 et 20%. La cinétique d'hydratation des pâtes et la maniabilité, le retrait total, la porosité accessible à l'eau et les performances mécaniques des mortiers fabriqués avec les fibres-ciment broyées ont été mesurés et comparés aux propriétés d'une pâte et d'un mortier témoins. Les résultats ont montré que la présence de fibres-ciment allonge la période dormante de l'hydratation du liant de 5 à 10% par rapport au ciment Portland utilisé et selon le taux de substitution considéré. Par ailleurs, le remplacement de 5 et 20% de ciment avec des fibres-ciment provoque une réduction de la résistance à la compression à 28 jours des mortiers de 14 à 35% par rapport au mortier de référence. Cette diminution des performances est plus importante que celle observée sur des mortiers incorporant du filler calcaire avec les mêmes taux de substitution du ciment. Les résistances obtenues restent cependant acceptables pour des applications structurelles.

**MOTS CLÉS** : Ciment Portland, fibres-ciment, filler calcaire, valorisation, mortiers.

---

# ÉTUDE DES PROPRIETES DES BETONS A BASE DE GRANULATS ISSUS DES BETONS FRAIS RECYCLES

SERIFOU M<sup>A,B</sup>, SBARTAI Z.M<sup>A</sup>, YOTTE S<sup>A</sup>, BOFFOUE M.O<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Université de Bordeaux, I2M, dpt GCE, CNRS, INRA, domaine universitaire, 33405 Talence cedex

<sup>B</sup> Université de Cocody-Abidjan, Laboratoire Géomatériaux et Technologie de l'Habitat, Abidjan

**RESUMÉ:** Cette étude concerne l'utilisation des granulats issus du concassage des déchets des bétons frais comme substituant des granulats naturels. Un plan d'expériences à 2 variables (% du sable et % du gravier) a été utilisé pour réduire le nombre de mesures. Les proportions de remplacement utilisées sont : 0%, 50% et 100%. Plusieurs propriétés mécaniques et physiques ont été mesurées notamment la résistance à la compression et à la traction ainsi que la porosité. Ces résultats montrent une bonne corrélation entre le pourcentage de remplacement et les propriétés de ces bétons. Par exemple, Le remplacement de 50% des granulats (sable et gravier) par ces granulats recyclés engendre une diminution de l'ordre de 24 % de la résistance mécanique à la compression du béton testé.

**MOTS CLÉS :** Déchets du béton frais, granulats recyclés, environnement, ressources naturelles.

---

# IMPACT DU TAUX DE SUBSTITUTION DE SABLE RECYCLE SUR LES PROPRIETES D'UN MORTIER ETUVE

CASSAGNABERE Franck<sup>A,B</sup>, MOURET Michel<sup>B</sup>, LACHEMI Mohamed<sup>A</sup>, ESCADEILLAS Gilles<sup>B</sup>, RAKOTOARIMANGA Anjaniaina<sup>B</sup>, BERTRAND Alexandre<sup>C</sup>.

<sup>A</sup> Department of Civil Engineering, Ryerson University, Toronto, Ontario (Canada)

<sup>B</sup> Université de Toulouse, Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, Toulouse (France)

<sup>C</sup> SEAC-Gf, Toulouse (France)

**RESUMÉ:** La gestion des déchets de la manufacture d'éléments en béton précontraint est un nouveau challenge auquel est confrontée l'industrie de la préfabrication. En effet, comme toute industrie, la préfabrication en usine génère des déchets, généralement du béton en surplus ne pouvant être utilisé en production. Dans le cadre d'une politique environnementale, ce béton de rebus est donc concassé afin d'être réinjecté comme granulats recyclés dans la production. L'objectif de cet article est d'observer l'influence de la substitution de sable normalisé par du sable recyclé sur les propriétés aux états frais et durci d'un mortier étuvé pour un usage en préfabrication. Cette étude présente donc une comparaison systématique entre les propriétés d'un mortier de référence (M0%) uniquement confectionné avec du sable normalisé (SS) et des mortiers incorporant du sable recyclé (RS) substitué au sable normal avec des taux de 5 à 30% (M5% à M30%). Les mélanges ont été testés à l'état frais (affaissement et maniabilité), sur des critères mécaniques (flexion et compression) et de durabilité (porosité et absorption d'eau). Comparativement au matériau de référence (M0%), les résultats montrent, à l'échelle du mortier étuvé, qu'un remplacement par du sable recyclé jusqu'à un taux de 15% en masse n'affecte pas les propriétés étudiées aux états frais et durci. Ces résultats montrent bien que le recyclage des déchets de béton peut s'avérer être une solution bénéfique sur le plan environnemental et ainsi réduire la consommation de granulats issus de ressources naturelles.

**MOTS CLÉS :** Béton de préfabrication, granulats recyclés, étuvage.

---

# FORMULATION ET CARACTERISATION DE MORTIERS A BASE DE GRANULATS RECYCLES A L'ETAT FRAIS ET DURCI

GOMART Hector, GHORBEL Elhem, WARDEH George

Laboratoire L2MGC, Université Cergy-Pontoise, 5 mail Gay Lussac 95031 Neuville sur Oise Cedex

**RÉSUMÉ:** L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence de la substitution volumique du sable naturel par du sable recyclé sur les caractéristiques mécaniques de mortiers. Pour ce faire, une série d'échantillons a été fabriquée en substituant le sable naturel par un sable recyclé issu de travaux de démolition, en maintenant le dosage en eau totale et en ciment constant. Le taux de substitution volumique varie de 0 à 75%, limite au-delà de laquelle le mortier n'est plus maniable.

A l'état frais, des mesures du taux d'air occlus et de l'affaissement ont été réalisées de façon systématique sur l'ensemble des échantillons. L'évolution de la maniabilité au cours du temps a également été étudiée. A l'état durci, des essais de compression uniaxiale et des essais de vibrations longitudinales permettant la mesure des fréquences de résonance ont été effectués sur chaque éprouvette aux échéances de 7, 14, puis 28 jours. La microstructure porale a également été caractérisée grâce à des essais de porosimétrie par intrusion de mercure.

Les résultats issus des essais réalisés sur les mortiers à l'état frais montrent que l'ouvrabilité diminue lorsque la quantité de sable recyclé augmente, tandis que le pourcentage d'air occlus augmente. Par ailleurs la vitesse de la perte d'ouvrabilité est plus rapide lorsque le taux de substitution est important ainsi que le pourcentage d'air occlus.

A l'état durci, les caractéristiques mécaniques des mortiers diminuent lorsque le taux de substitution du sable recyclé augmente. Toutefois elles demeurent relativement correctes, puisqu'à un taux de substitution de 75%, la résistance mécanique représente encore 75% de la valeur initiale du mortier à base de sable naturel. Cette diminution s'explique en partie par la porosité de ces mortiers. En effet, l'analyse porométrique révèle une augmentation de la porosité totale (allant de 14 à 20%) avec le taux de substitution du sable recyclé, ainsi qu'une modification de la taille des pores. Des corrélations entre résistance mécanique à la compression et les paramètres microstructuraux (porosité totale, perméabilité, taux d'air occlus) ont été établies.

**MOTS CLÉS :** mortiers, granulats recyclés, formulation, maniabilité, caractéristiques mécaniques, porosité.

---

# VALORISATION DES BETONS CONCASSES DANS LA FABRICATION DE MATERIAUX HYDRAULIQUES ROUTIERS

COLIN Johan<sup>A</sup>, DONY Anne<sup>A</sup>, MEASSON Michel<sup>B</sup>, WALIGORA Julien<sup>C</sup>

<sup>A</sup> IRC ESTP 28, Av du Président Wilson. 94234 Cachan cedex.

<sup>B</sup> EIFFAGE Travaux Publics. Direction R & D. Eiffage Travaux Publics. 8, rue du Dauphiné BP 357. 69960 Corbas Cedex.

<sup>C</sup> EIFFAGE Travaux Publics. Laboratoire Central de Ciry. 9, route de Condé. 02220 Ciry-Salsogne.

**RESUMÉ :** Les bétons concassés sont avantageusement recyclés en technique routière permettant une économie non négligeable de matériaux naturels. Ils sont cependant utilisés principalement comme granulats sous forme de graves non traitées et parfois traités avec ajout d'un liant hydraulique. Leur valorisation pourrait être améliorée en tenant compte de la présence de ciment non hydraté qu'ils contiennent et en exploitant leur pouvoir hydraulique résiduel.

Cette étude a pour objectif d'évaluer le pouvoir hydraulique de la fraction cimentaire extraite de bétons concassés par différents procédés. A partir d'un béton de démolition sélectionné et concassé en 0/31.5 mm, 4 voies principales ont été explorées : - un broyage et une attrition progressifs à l'aide de la machine Los Angeles suivis d'un tamisage, - une calcination à 400 °C suivie d'un broyage, - un broyage très fin des fractions fines issues des opérations précédentes, et - un simple tamisage à 2 mm du béton initial. Le but est de tester la réactivité ou la réactivation du pouvoir hydraulique résiduel des fractions cimentaires ainsi obtenues. Les différents matériaux ont été caractérisés par leur granulométrie et leur surface spécifique. Pour chaque matériau, des caractérisations mécaniques à différentes échéances sur éprouvettes  $\Phi 5 \times h 5$  cm compactées dans des conditions spécifiées ont été réalisées.

Les résultats montrent un réel potentiel hydraulique des matériaux analysés car les performances mécaniques obtenues sont suffisantes pour des utilisations routières et ceci sans apport complémentaire de liant hydraulique.

**MOTS CLÉS :** recyclage, grave, béton de démolition, réactivation, pouvoir hydraulique résiduel.

---

**SESSION 8 - SOUS-PRODUITS :**  
**VALORISATION DE SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS**

# TRAITEMENT DES CENDRES VOLANTES D'ELECTROFILTRE D'INCINERATEUR DE DECHETS MENAGERS EN VUE DE LEUR INCORPORATION DANS DES MATERIAUX CIMENTAIRES

DE BOOM Aurore<sup>A</sup>, LENORMAND Thibault<sup>B</sup>, PIERRE Christian<sup>C</sup>, STAQUET  
Stéphanie<sup>B</sup>, DEGREGZ Marc<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Service 4MAT ; Université libre de Bruxelles (U.L.B.), Ecole Polytechnique ; Avenue  
F.D. Roosevelt 50, CP 165/63 ; 1050 Bruxelles, Belgique

<sup>B</sup> Service BATir ; U.L.B., Ecole Polytechnique; Avenue Buyl 87, CP 194/4 ; 1050  
Bruxelles, Belgique

<sup>C</sup> CRIC-OCCN ; Avenue Buyl 87 ; 1050 Bruxelles, Belgique

**RESUMÉ:** Les cendres volantes sont, avec les résidus d'épuration des fumées (REFIOM), les derniers résidus non valorisés de l'incinération de déchets ménagers. Leur traitement actuel vise essentiellement leur mise en décharge, généralement pour déchets dangereux. Or, les cendres volantes comportent des composés potentiellement valorisables, notamment dans des matériaux cimentaires. Pour pouvoir utiliser de telles cendres volantes, il faut cependant les traiter suffisamment : enlever les chlorures, les métaux lourds ainsi que les composés pouvant provoquer un gonflement. Un tel traitement a été mis au point au laboratoire et testé également à une échelle « pilote » (batch de 50 kg). Les cendres traitées ont également été incorporées dans des matériaux cimentaires ; les résultats de ces tests sont présentés dans une présentation connexe (voir (Lenormand et al., 2012)).

Le traitement développé comporte une séparation granulométrique en solution, suivie de lavages, dont un lavage réactif. Plus de 90% des chlorures sont éliminés par ce traitement. Les métaux lourds (Pb et Zn principalement) sont concentrés dans une fraction dont la masse est réduite autant que possible. Un lavage à la soude permet d'oxyder l'aluminium métallique et d'éviter ainsi la formation de gaz (dihydrogène) lors de l'incorporation des cendres dans les matériaux cimentaires. Ce lavage implique également la transformation de l'anhydrite, ce qui empêche la formation non désirée d'ettringite.

Grâce au traitement développé, les cendres volantes d'incinérateur passent du statut de déchets dangereux à celui de sous-produits. Différents tests sont néanmoins encore en cours pour vérifier que les matériaux finaux répondent à toutes les normes en vigueur.

**MOTS CLÉS :** cendres volantes, valorisation, matériaux cimentaires.

---

# VALIDATION D'UN TRAITEMENT DE RESIDUS D'EPURATION DE FUMÉES D'INCINERATION D'ORDURES MÉNAGÈRES DANS LE BUT DE LES UTILISER EN TANT QU'ADDITION MINÉRALE DANS DES MATÉRIAUX CIMENTAIRES

LENORMAND Thibault<sup>A</sup>, DE BOOM Aurore<sup>B</sup>, DEGREGZ Marc<sup>B</sup>, PIERRE Christian<sup>C</sup>, STAQUET Stéphanie<sup>A</sup>

<sup>A</sup> BATir, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique

<sup>B</sup> 4MAT, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique

<sup>C</sup> CRIC-OCCN, Bruxelles, Belgique

**RESUMÉ:** Les Cendres Volantes d'Incinération d'Ordures Ménagères (CVIOM) sont considérées comme des déchets dangereux dans la plupart des pays à travers le Monde, et sont donc stockées en décharge après une phase de stabilisation/solidification, le plus souvent à l'aide d'une matrice cimentaire. Afin de répondre aux problèmes engendrés par ce type de stockage (le manque de place, la pollution des sols et des nappes phréatiques), ces travaux de recherche ont pour objectif de valoriser les CVIOM de l'Incinérateur d'Ordures Ménagères (IOM) de la Région de Bruxelles dans des matériaux cimentaires, en remplacement partiel du clinker. Pour cela, les CVIOM ont dû subir un traitement permettant de les rendre utilisables dans des matériaux cimentaires. Dans un premier temps, des essais de compression et de calorimétrie isotherme ont été réalisés sur mortiers et pâtes dans lesquels une partie du ciment a été remplacée par des CVIOM lavés à l'eau puis broyées. Les résultats ont montré une diminution des résistances en compression avec l'augmentation de la quantité de CVIOM, indépendamment de l'âge du mortier. Différentes causes ont été mises en évidence : la diminution de la quantité de ciment ainsi que l'oxydation de l'aluminium métallique présent dans les CVIOM, créant des fissures du fait de l'émission d'hydrogène. L'hydratation du ciment est retardée avec l'augmentation de la quantité de CVIOM, allant jusqu'à un retard de 3 jours pour 37,5% de CVIOM. Ce retard serait dû à la présence de métaux lourds tels que le plomb et le zinc, connus comme étant des retardateurs de prise. Dans un deuxième temps, afin de résoudre les problèmes de retard de prise et de gonflements, des traitements ont été développés dans le but de diminuer la concentration des métaux lourds et d'oxyder l'aluminium métallique avant l'incorporation dans des matériaux cimentaires. Ainsi, en ne sélectionnant que la fraction des CVIOM la moins contaminée en métaux lourds, et grâce à un traitement à l'hydroxyde de sodium, ces deux problèmes ont été résolus.

**MOTS CLÉS :** CVIOM, REFIOM, ciment, valorisation, hydratation.

---

# SUBSTITUTION DE LA CHAUX PAR LE LAITIER GRANULÉ BROYÉ DANS LES MATÉRIAUX SILICO-CALCAIRES AUTOCLAVÉS

ARABI Nourredine<sup>A</sup>, JAUBERTHIE Raoul<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire Matériaux Géomatériaux et Environnement, Université Badji Mokhtar-Annaba, BP 12

Annaba 23000, Algérie

<sup>B</sup> Laboratoire GCGM, INSA de Rennes 20, Avenue des Buttes de Coësmes, Rennes Cedex 7, France

**RESUMÉ:** Dans ce travail le laitier granulé de haut fourneau est utilisé en tant que liant à la place de la chaux éteinte pour la fabrication de matériaux silico-calcaires. La finesse de mouture du laitier granulé broyé et la pression de traitement thermique dans un autoclave sous conditions de vapeur saturante, sont suivies comme paramètres d'influence sur la résistance mécanique. Les résultats obtenus font apparaître une baisse de la résistance à la compression à la suite de la substitution. Les produits de réaction sont composés essentiellement de tobermorite (dite à 11Å) et de xonotlite. L'augmentation de la température d'autoclavage favorise la formation de la xonotlite aux dépens de la tobermorite. Les raies de diffraction des rayons X de ces phases sont très faibles, difficilement visibles, les phases nouvelles sont masquées par la présence du quartz. Leurs intensités croissent avec la présence de laitier granulé. Ceci laisse penser que le laitier est plus réactif avec la chaux que le quartz. Par contre, les observations au microscope électronique permettent de mieux apprécier ces cristallites. Par sa composition de structure amorphe, le laitier granulé ne dégage pas de nouvelles phases d'hydrates distinctes.

**MOTS CLÉS :** Briques silico-calcaires; laitier de haut fourneau; autoclavage.

---

# INFLUENCE DE MICROBILLES DE VERRE DE FORME SPHÉRIQUE SUR LES PROPRIÉTÉS DE LA PÂTE DE CIMENT ET DU MORTIER

NGUYEN Hau<sup>A,B</sup>, NICOLAS Maxime<sup>A</sup>, PHAM Duy Huu<sup>B</sup>

<sup>A</sup> École supérieure de Transports et de Communications, Hanoi, Vietnam

<sup>B</sup> Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels, Aix-Marseille Université, France

**RESUMÉ:** Ce sujet porte sur l'influence de micro-particules de verre sur la quantité d'eau optimale, sur le temps de prise de la pâte de ciment, sur la porosité ainsi que la résistance mécanique de mortier selon le temps. Les particules de verre utilisées dans ce sujet sont de forme sphérique avec un diamètre compris entre 1 et 50 microns. Dans un premier temps, nous nous intéressons à des billes de verre blanc, de masse volumique  $2.6 \text{ g/cm}^3$ , et de densité apparente environ  $1.5 \text{ g/cm}^3$ . Le rôle des billes de verre est de diminuer la porosité interstitielle des granulats et de remplacer la fraction non hydratée du ciment dans les interstices. Nous avons effectué différentes procédures de préparation de mélanges pour connaître le moment où il faut ajouter les billes de verre pour que leur présence soit la plus efficace. Ensuite, nous avons déterminé le temps de prise de chaque mélange de pâte de ciment sans et avec billes de verre.

Nous avons effectué aussi plusieurs essais mécaniques sur les éprouvettes en mortier sans et avec billes de verre, de dimension  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  : essais de compression et de flexion à trois points. Les résultats obtenus confirment l'influence de l'ajout de verre sur les propriétés physiques et mécaniques étudiés, et ils nous permettent de poursuivre quelques tests sur la micro structure du mortier pour comprendre l'effet des billes de verre dans le mortier, ainsi que le comportement des grains de ciment en présence d'autre particules de même taille.

**MOTS CLÉS :** microbilles de verre, pâte de ciment, mortier, temps de prise, résistance mécanique, micro structure.

---

# L'EFFET DES AJOUTS POUZZOLANIQUES SUR L'HYDRATATION ET LES RESISTANCES MECANIQUES DES BETONS

Meriem Laakri, Kamel Abdelli, Mohamed Nadjib Oudjit

Laboratoire Bâti dans l'environnement, Faculté de Génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, BP 32 El Alia 16111, Alger, Algérie.

**RÉSUMÉ** : l'utilisation de certains sous-produits industriels est de plus en plus fréquente dans le domaine de la construction. Ces déchets, devenus ajouts cimentaires, présentent de nombreux avantages, tant écologiques, qu'économiques et techniques.

En plus de la préservation des ressources naturelles (argile, calcaire), ils permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre ( $CO_2$ ), tout en améliorant les propriétés physico- chimiques et mécaniques de la pâte cimentaire.

Cependant, ces avantages restent associés à des inconvénients ; la fumée de silice accélère l'hydratation et améliore nettement les résistances mécaniques, mais peut réduire la maniabilité, alors que le laitier de haut fourneau, lui, améliore la maniabilité et réduit les résistances à court terme. Il est donc nécessaire de savoir s'il est possible, par la combinaison des effets positifs de chaque matériau, de compenser leurs faiblesses mutuelles.

Dans cette étude, nous avons analysé par D.R.X l'évolution de l'hydratation de pâtes de ciments, composées de 10% de fumée de silice et de 10% à 30% de laitier de hauts fourneaux (en substitution du ciment). Les essais sur des bétons, ont montré que la maniabilité, ainsi que le maintien de la fluidité, des bétons ternaires, est améliorée avec l'augmentation de la quantité de laitier, alors que les résistances mécaniques sont plus faibles que celles du béton contenant 10% de fumée de silice seule. Les diffractogrammes-x ont mis en évidence une plus importante formation d'hydrosilicate C-S-H dans les pâtes contenant 30% de laitier à long terme.

**MOTS CLÉS** : Hydratation, Ciment Portland, Laitier de Haut Fourneau, Fumée de silice, diffraction x.

---

# PERSPECTIVES DE VALORISATION DE LAITIERS SIDERURGIQUES DANS LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

HOUZE Clément, CHAUSSADENT Thierry, DIVET Loïc, PLATRET Gérard

Université Paris-Est, IFSTTAR, Paris, FRANCE

**RESUMÉ:** Les centres producteurs de métaux et d'alliages génèrent d'importantes quantités de coproduits, tels que les laitiers métallurgiques, qui ne présentent pas les mêmes caractéristiques et possibilités de valorisation dans le domaine de la construction. Le laitier moulu de haut fourneau est valorisé entièrement comme addition dans la fabrication de bétons et comme constituant du ciment dont les ciments de type CEM III. Le laitier de convertisseur est valorisé à 45% dans les travaux publics (matériaux de remblai...) et seulement à 7% en tant que matériau hydraulique; près de 14 Mt sont stockés sur site en France. Aujourd'hui en France, le laitier de silicomanganèse n'est pas valorisé dans le domaine de la construction et des liants hydrauliques. Afin d'identifier les perspectives de valorisation de ces différents laitiers, leurs réactivités ont été étudiées. Pour cela, différentes expérimentations et caractérisations ont été mises en œuvre sur les laitiers ainsi que sur des formulations de systèmes cimentaires binaires (analyse élémentaire, tests d'hydraulicité, de pouzzolanité, DRX, ATG et essais mécaniques). Ces études ont permis de démontrer que les propriétés du laitier de silicomanganèse et du laitier de haut fourneau sont proches. Ce sont des matériaux hydrauliques latents qui s'activent avec la chaux ou la potasse pour s'hydrater. Le développement des résistances mécaniques d'une formulation binaire laitier de silicomanganèse/ciment Portland (50/50 en masse) est équivalent à celui d'une formulation à base de laitier de haut fourneau de même proportion et légèrement inférieur à celui d'une formulation témoin au ciment Portland. La valorisation du laitier de silicomanganèse pourrait donc être envisagée dans le domaine des liants hydrauliques pour la construction. Le laitier de convertisseur est riche en  $C_2S$ , phase responsable de ses propriétés hydrauliques. Ce laitier possède également une part non négligeable de produits non hydrauliques (fort taux de résidus insolubles, composés riches en fer). Un système binaire laitier de convertisseur/ciment Portland (50/50) présente un développement mécanique faible, mais reste plus important qu'un système matériau inerte/ciment Portland. De par sa forte teneur en chaux, le laitier de convertisseur pourrait être valorisé en tant qu'activateur des laitiers de haut fourneau ou de silicomanganèse en remplacement du ciment Portland.

**MOTS CLÉS :** Laitier sidérurgique, laitier de silicomanganèse, valorisation, réactivité, hydraulicité.

---



**SESSION 9 - ECO-MATÉRIAUX :**  
**APPLICATIONS ROUTIÈRES**

# OPTIMISATION DE TECHNIQUES ROUTIERES EUROPEENNES POUR UN MEILLEUR RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT : LE RETRAITEMENT EN PLACE A L'ÉMULSION DE BITUME

MAZARS Arnaud, LIFFRAUD Michel

CETE du Sud Ouest

représentant le Partenariat CETE Sud Ouest/Conseil Général de la Haute Garonne/SPRIR Midi Pyrénées

**RESUMÉ:** Le recyclage de la Route constitue une source importante de matières premières nécessaires à l'élaboration de matériaux d'entretien routier. C'est ce postulat qui a orienté les travaux d'innovation conduits dans le cadre du projet européen SUDOE-TRACC. L'objectif était d'optimiser des matériaux en repoussant les limites techniques et normatives pour viser un meilleur respect de l'environnement.

L'optimisation passe notamment par une maximisation du taux d'agrégat et une limitation des apports de liant et s'est donc intéressée à l'intégration du retraitement en place à l'émulsion de bitume dans un cycle complet d'entretien routier, à sa recyclabilité à travers un retraitement de deuxième génération et à l'apport de fluxants d'origine végétale dans ces produits.

Ces matériaux routiers ont fait l'objet d'une évaluation technique sur site à travers la mise en place d'un suivi dans le temps de chantiers expérimentaux et une analyse selon les trois piliers du développement durable, l'ensemble étant comparé à des matériaux bitumineux traditionnels.

Cette étude permet de conclure au moindre impact sur l'environnement, à l'obtention de meilleures conditions de travail, à l'adéquation technique aux besoins de ces matériaux, le tout sans surcoût pour la collectivité.

**MOTS CLÉS :** entretien routier, retraitement à l'émulsion, développement durable, chantier expérimental, TRACC.

---

## CIMENT POUZZOLANIQUE POUR TRAITEMENT DE SOL

ESCADEILLAS Gilles<sup>A</sup>, NGUYEN Van-Tri<sup>B</sup>, JULIEN Simone<sup>A</sup>, TARDY Jean-Paul<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Université de Toulouse; UPS, INSA; LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions); TOULOUSE, France

<sup>B</sup> Argeco Développement, 22, avenue de Palarin, BP 31120, 31023 PORTET SUR GARONNE, France

**RESUMÉ:** Le traitement des sols fins en place est une solution à la fois technique, car elle permet d'améliorer la qualité intrinsèque du support de chaussées, et aussi environnementale, car elle permet d'éviter le recours à des matériaux nobles (granulats) et limite le transport de matériaux. Ce traitement se fait par des liants routiers qui sont soit des ciments portland, généralement aux laitiers de haut fourneau, soit des liants incorporant de forte quantité de sous-produits industriels (laitier LD par exemple). Les premiers, qui conduisent à de fortes résistances mécaniques, ont l'inconvénient de présenter un mauvais bilan CO<sub>2</sub> alors que les seconds, qui présentent un bon bilan CO<sub>2</sub>, ont de très faibles résistances mécaniques.

L'objet de cet article est de présenter les propriétés d'un liant routier alternatif, réalisé à partir de métakaolin obtenu par calcination flash, de chaux vive et d'une faible quantité de ciment Portland. L'influence d'additions minérales (activateurs) visant à améliorer les propriétés au jeune âge est aussi étudiée. Les propriétés, mesurées sur mortier normal mais aussi sur sols naturels, concernent les résistances mécaniques, le suivi minéralogique et les observations au microscope électronique à balayage.

Les résultats obtenus en laboratoire montrent que ce liant est une alternative très intéressante aux liants actuels aussi bien du point de vue des résistances mécaniques que du bilan environnemental. Les résultats obtenus lors de l'application réelle de ce liant sur un chantier routier confirment les bons résultats obtenus en laboratoire.

**MOTS CLÉS :** Traitement de sols fins, liant routier, métakaolin, chaux, activateurs.

---

# VALORISATION DE CO-PRODUITS COQUILLIERS MARINS EN ECO-PAVE DRAINANT

NGUYEN Dang<sup>A,B</sup>, SEBAIBI Nassim<sup>A</sup>, BOUTOUIL Mohamed<sup>A,B</sup>, BARAUD Fabienne<sup>B</sup>, LELEYTER Lydia<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Ecole Supérieure d'Ingénieurs des Travaux de la Construction de Caen, 1, rue Pierre et Marie Curie, 14610. Epron, France

<sup>B</sup> Université de Caen Basse-Normandie (UCBN), UR ABTE, EA 4651, Bd Maréchal Juin, 14032 Caen, France.

**RESUMÉ** : Le travail présenté dans cet article, porte sur la valorisation des co-produits coquilliers marins dans des éco-pavés drainants destinés à des applications de faible trafic (trottoirs, bordures, places piétonnes...). Ces pavés drainants ont la particularité d'évacuer l'eau afin éviter les inondations en milieu urbain.

Les coquilles utilisées dans cette étude sont des crépidules et l'incorporation dans la composition des bétons drainants est réalisée en substituant une partie du gravier par ces coquilles.

Les bétons à base de coproduits coquilliers ont permis de concevoir des pavés drainants qui répondent aux critères de résistance à la compression et de perméabilité à l'eau. La substitution de 40% de graviers par des co-produits coquilliers (type crépidule) permet d'obtenir un béton drainant avec une résistance en compression de 15 MPa (à mettre en rapport à 16 MPa pour le béton témoin, sans ajout des coquilles). Les résultats obtenus ouvrent des perspectives très intéressantes quant à la valorisation de ces co-produits coquilliers dans un béton drainant.

**MOTS CLÉS** : Valorisation, déchet, coquilles, béton drainant, pavé drainant, perméabilité.

---

## **POSTERS**

# 1- INFLUENCE DES DOSAGES DE CIMENT ET DE FILLER SUR LA RESISTANCE MECANIQUE DES BAP DANS UN MILEU AGRESSIF

ABDELOUAHED Assia<sup>A</sup>, BELACHIA Mouloud<sup>A</sup>, SEBBAGH Toufik<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire des matériaux, Géotechniques, Habitat et de l'Urbanisme Université de Skikda, Algérie.

<sup>B</sup> Laboratoire des Système Electromécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

**RESUMÉ:** Les bétons autoplaçants « BAP » ont été développés à la fin des années 80. Afin de palier à la réduction de la qualité des constructions associée à une mauvaise mise en place du matériau.

Aujourd'hui, on observe de plus en plus de problèmes de dégradation prématurée sur les structures en béton en contact avec des agents agressifs comme l'eau de mer ou des sels fondants pour cette raison plusieurs travaux de recherche ont porté sur la durabilité des nouveaux bétons « BAP ».

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement de plusieurs formulations des BAP dans un milieu agressif l'eau de mer.

Différentes formulations de BAP ont été étudiées caractérisées en termes de propriétés à l'état frais et à l'état durci. L'influence des paramètres suivants: E/L (eau/liant), F/L (filler/liant), type de liant, a été étudiée.

**MOTS CLÉS :** durabilité, béton autoplaçant, milieu agressif, résistance, comportement.

---

## 2- EFFET DE LA SUBSTITUTION DE LA FUMÉE DE SILICE PAR LE LAITIER GRANULÉ SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSICO-MÉCANIQUES ET MICROSTRUCTURALE DES BHP

ACHOURA Djamel<sup>A</sup>, BISKRI Yasmina<sup>A</sup>, JAUBHERTHIE Raoul<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire Matériaux, Géomatériaux et environnement Université de Badji-Mokhtar Annaba Algérie

<sup>B</sup> Laboratoire GCGM INSA de Rennes France

**RESUMÉ:** La recherche d'un béton à hautes performances moins coûteux en utilisant des sous-produits industriels et matériaux issus des ressources locales est devenue une préoccupation majeure pour le développement de l'utilisation des BHP. Les avantages techniques, économiques et écologiques apportés par la substitution totale ou partielle de la fumée de silice par le laitier granulé, ne doivent pas occulter certains inconvénients. Il est donc nécessaire de savoir si un liant à plusieurs composants (binaire ou ternaire) a des effets synergiques de façon à ce que leurs ingrédients arrivent à compenser leurs faiblesses mutuelles. L'objectif de notre travail consiste en l'étude des effets de l'incorporation du laitier granulé de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar (Algérie) sous forme de fillers. Les propriétés mécaniques et microstructurales des BHP élaborés seront analysées en fonction des différentes combinaisons de ces ajouts. Les résultats tirés de ce travail de recherche confirment la possibilité d'obtention de bétons à hautes performances à base de fillers de laitier granulé. Les performances sont similaires ou légèrement inférieure aux BHP à base de fumée de silice seule. Les résultats obtenus montrent aussi que les fillers de laitier granulé contribuent à l'amélioration de la compacité, par contre ils présentent une activité chimique relativement lente. Les examens au microscope électronique à balayage traduisent une densification de ces bétons et confirment les résultats obtenus.

**MOTS CLÉS :** BHP, laitier granulé, fumée de silice, microstructure, compacité, propriétés mécaniques.

---

### **3- SUBSTITUTION DU FILLER CALCAIRE PAR LES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU ET LE VERRE A BOUTEILLE DANS LES BETONS AUTOPLAÇANTS**

BEHIM Mourad, ALI-BOUCETTA Tahar et LAIFA Walid

Laboratoire Matériaux, Géo – Matériaux et Environnement - Université BADJI MOKHTAR Annaba BP 12, 23000 Annaba – Algérie (Département de Génie Civil)

**RÉSUMÉ :** La région d'Annaba (Algérie) génère des sous produits industriels (laitiers de haut fourneau) et déchets d'emballage (verre à bouteille). Le laitier granulé d'EL HADJAR (Annaba, Algérie) est utilisé par la cimenterie de HDJAR ESSOUD pour la production du CEM II 42,5 mais à un faible taux de l'ordre de 20 % en moyenne à cause de son faible pouvoir hydraulique. Le laitier cristallisé est peu utilisé, essentiellement comme remblai, alors que le verre à bouteille coloré n'est pas recyclé, jeté dans les bennes à ordures ou en décharge sauvage. La valorisation de ces sous produits et déchets dans les bétons autoplaçants (BAP) comme additions pourrait constituer une alternative écologique et économique locale intéressante, permettant d'élargir le champ d'emploi des laitiers et l'élimination de décharge encombrante et polluante de verre. Sur le plan technique les verres à bouteilles contiennent des quantités importantes d'alcalins pouvant entraîner des effets préjudiciables sur le béton en relation avec les réactions alcali-silice ou alcali-granulat si le verre est utilisé sous forme granulaire. Cependant de nombreux auteurs conviennent que le verre entraîne un comportement bénéfique associé à la réaction pouzzolanique s'il est utilisé sous forme de poudre. En effet cette étude est une contribution à la formulation de BAP par substitution partielle du filler calcaire (FC) par les laitiers de haut fourneau sous forme granulé (LG) et cristallisé (LC) et le verre à bouteille coloré (PV) sous forme de poudre. Le nombre important des constituants des BAP, de combinaisons des poudres et leurs dosages pour la recherche d'un mélange optimal d'additions qui donnerait les meilleurs résultats en termes d'écoulement, nous a amené à travailler d'abord sur pâte pure. Pour déterminer le dosage optimal des additions, une méthode simple qui consiste à déterminer le temps d'écoulement d'un coulis de pâte au cône de Marsh a été utilisée. Les résultats obtenus ont donnés un taux de substitution de l'ordre de 20%, qui a été validé par des applications sur BAP.

**MOTS CLÉS :** BAP, pâte pure, additions, Laitier granulé, Verre à bouteilles.

---

## 4- LES BETONS A TRES HAUTES PERFORMANCES EN ALGERIE

BELAOURA Mebarek<sup>A</sup>, CHIHEB Dalila<sup>B</sup>, Dr. OUDJIT Mohamed Nadjib<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Ecole Nationale Supérieure Des Travaux Publics ; 1, rue Sidi Garidi, Vieux Kouba, 16051 Alger Algérie

<sup>B</sup> Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene, BP 32 EL Alia Bab Ezzouar Alger Algérie

**RESUMÉ:** Ces dernières années, sont apparus les bétons à très hautes performances qui sont le fruit d'une rationalisation de plus en plus scientifique.

L'utilisation de superplastifiants, et plus récemment de particules ultrafines a permis d'abaisser considérablement la quantité d'eau de gâchage dans les bétons en conservant une bonne ouvrabilité. Grâce à cette diminution d'eau (et donc du rapport E/C), les résistances mécaniques de tels bétons, ont considérablement augmentés. La résistance à la compression par exemple, dépasse les 80 MPa. Leur utilisation s'avère donc très prometteuse du point de vue économique et ouvrage fini (bâtiment, ponts, routes et autres ouvrages) et bien sûr qualité.

Le BTHP est un matériau nouveau et relativement jeune. Nous présenterons dans notre article les perspectives Algérienne concernant ce matériau. Nous aborderons plus en détail les propriétés mécaniques et physiques des BTHP.

**MOTS CLES :** Résistance à la compression, béton, performance, superplastifiants, rapport E/C.

---

## 5- ELABORATION ET CARACTÉRISATION DES PANNEAUX PARTICULES À BASE DU BOIS ALGÉRIEN

BENBRAHIM Zouheyr, ZERIZER Abdellatif

Unité de recherche Matériaux, Procédés et Environnement- UMBBoumerdes- Algérie

**RESUMÉ LONG** : Depuis l'ère des temps, l'humain a toujours élaboré des matériaux composites par combinaison de diverses matières présentant des propriétés spécifiques pour différentes utilisations. De nombreux matériaux naturels lui ont permis de s'armer et de se doter d'une panoplie de moyens parmi lesquels le bois, matériau souple et résistant, formé de fibres de cellulose associées à une matrice de lignine et d'hémicellulose. Si les premiers essais d'agglomération de déchets de bois par collage remontent au début du siècle, il faut attendre l'apparition des résines synthétiques vers 1930 pour observer les premiers développements industriels de la fabrication des panneaux de particules dont la chimie de synthèse et plus particulièrement les polymères dérivés de l'industrie pétrochimique.

Cependant, de nombreuses interrogations sur le développement durable sont apparues ces dernières années face au risque d'épuisement des matières premières non renouvelables, aux émissions de gaz à effet de serre, en particulier de CO<sub>2</sub>, responsable de bouleversements climatiques, à l'accumulation de déchets solides, d'effluents liquides et de gaz toxiques ayant un impact direct sur la qualité des sols, des eaux et de l'air.

En vue d'une perspective de réponse aux défis du développement durable à travers l'allègement des structures et l'économie de consommation d'énergie fossile, et du rejet de CO<sub>2</sub>, les recherches sur l'élaboration de nouveaux matériaux composites ont été surtout orientées vers une économie des matières premières non renouvelables et un meilleur recyclage en fin de vie.

Cette synthèse nous interpelle sur deux volets :

- d'une part, la substitution des matières synthétiques par des matières végétales
- d'autre part, la mise au point de polymères et de résines à partir de ressources renouvelables.

L'objet de cette présente réflexion consiste en la prise en charge de la thématique de valorisation des déchets à base de bois Algériens issus de billons de bois de Pin d'Alep prélevés dans les stations de Kabylie et plus précisément la région d'Azazga de la wilaya de Tizi ouzou mais aussi de Khenchela, wilaya située à l'est de l'Algérie ;

Pour ce faire, une procédure expérimentale a été mise en place et nous a permis d'effectuer le tri des déchets à travers lesquels ont été retenus deux variables d'action : la masse volumique (600 et 800 kg/m<sup>3</sup>) et le taux d'urée formaldéhyde contenu dans les panneaux (6, 9 et 12 %).

Les différents échantillons ont été soumis à différents essais physico mécaniques. Pour les essais physiques, La masse volumique est l'un des principaux facteurs qui influencent les propriétés physiques et mécaniques des panneaux de particules, on a mesuré la masse volumique des éprouvettes de 50x50x14 mm. Le gonflement d'épaisseur gonflement a été déterminé sur des échantillons de panneaux de particule après immersion dans l'eau froide pendant 2 heures et 24 heures. La détermination de la teneur en humidité, c'est par pesées, de la perte de la masse d'une éprouvette entre son état au moment du prélèvement et son état après séchage jusqu'à masse constante à 100 °C.

Pour les essais mécaniques, Les essais de flexion sont effectués sur une machine universel des éprouvettes de 14x20x150 mm, conformément à la norme NF B 51-120. L'autre essai, Nous avons testé la résistance à la traction perpendiculaire aux faces (cohésion interne) des panneaux de particules, comme décrit dans la norme NF B 51-150. Les éprouvettes doivent être de forme carrée et avoir (50 ± 1) mm de coté. Nous avons collé ensuite les échantillons secs sur deux plaques métalliques à l'aide d'une résine thermodurcissable « hot-melt ».

A l'issue des analyses effectuées sur les éprouvettes de la flexion, Les résultats obtenus pour les panneaux indiquent en premier lieu, une influence de la masse volumique sur les modules d'élasticité et de rupture en flexion simple. Plus la masse volumique et la teneur en liant augmentent, plus le module d'élasticité est élevé. Plus la masse volumique augmente, plus le MOR est élevé (tableau 1).

Tab 1. Résultats de test de flexion

<b>Teneur en colle</b> %	6%	9%	12%
<b>Masse Volumique</b> Kg/m <sup>3</sup>			
<b>600 Kg/m<sup>3</sup></b>	689 N	842 N	990 N
<b>800 Kg/m<sup>3</sup></b>	1241 N	1534 N	1689 N

Et pour les résultats obtenus montrent l'influence de la masse volumique et de la teneur en liant sur la cohésion interne. Plus la masse volumique et la teneur en liant UF augmentent, plus la cohésion interne est élevée. Il est à noter que l'influence de la masse volumique est beaucoup plus importante que l'influence de la teneur en liant (tableau 2).

Tab 2. Résultats de test de la cohésion interne

<b>Masse volumique</b> kg/m <sup>3</sup>	Teneur en liant (%)	Cohésion interne (Mpa)
<b>600</b>	6	0.15
	9	0.21
	12	0.27
<b>800</b>	6	0.29
	9	0.34
	12	0.37

L'expérience qui a été mise sur pied en vue d'étudier l'influence de la masse volumique et la teneur en liant urée formaldéhyde dans les panneaux sur les propriétés physico-mécaniques a permis de démontrer que La teneur en liant et la masse volumique ont une influence sur les modules d'élasticité et de rupture en flexion. Et aussi, La qualité de la colle en termes de viscosité correcte améliore de par l'adhésion, les propriétés de tenue en flexion. Le gonflement est une propriété critique pour les panneaux particules qu'il faut éviter car la porosité des panneaux en relation avec la géométrie des particules, pourrait expliquer certains résultats obtenus pour les panneaux.

**MOTS CLÉS :** panneaux de particules, bois Algérien, teneur en liant, propriétés mécaniques, urée-formaldéhyde.



## 6- CONCEPTION ET CARACTERISATION D'UN BETON AUTOPLAÇANT A BASE DES SOUS PRODUITS LOCAUX

BENKECHKACHE Ghofrane<sup>A</sup>, HOUARI Hacène<sup>B</sup>

A Laboratoire Matériaux et de Durabilité des Constructions Université Mentouri Constantine ALGERIE Maitre assistante, Université de Jijel.

B Laboratoire Matériaux et de Durabilité des Constructions, Université Mentouri Constantine ALGERIE Professeur, Université Mentouri Constantine.

**RESUMÉ LONG** : La valorisation des déchets et sous-produits de provenances diverses (mines et carrières), préoccupe depuis un certain temps l'industrie de la construction. L'objectif principal de cette étude est de favoriser l'utilisation de ces sous produits afin de contribuer à la protection de l'environnement en fournissant un débouché à ces derniers, évitant ainsi leur mise en dépôt et aussi participer aux économies des matériaux locaux. Parmi les sous-produits industriels qui, sous l'angle d'une évaluation globale de leur disponibilité abondante au niveau national, présentent des possibilités optimales, se trouvent les fillers calcaires (de la fabrication des sables issus de concassage). Ces matériaux sont en effet susceptibles de présenter les meilleures caractéristiques, en substituant une partie du ciment surtout pour les nouvelles familles des bétons spéciaux qui doivent répondre, à l'état frais et durci, à des exigences particulièrement sévères. Car ils sont très utilisés dans le béton autoplaçant, qui est un mélange se caractérisant par une quantité importante de fines, assurée par ces sous produits (fillers calcaires). Mais ces nouveaux bétons nécessitent un traitement particulier surtout avec l'utilisation de ces produits industriels, c'est dans cette optique qu'on s'est engagé, pour une meilleure conception et caractérisation du comportement mécanique instantané des bétons autoplaçants, en fonction de leur composition, et des propriétés des constituants. L'investigation expérimentale a été menée donc pour donner des réponses claires à nos questions. La première était de maîtriser la conception des bétons autoplaçants, tout en vulgarisant les sous produits disponibles sur le marché Algérien, avec des résistances modérées (faibles et moyennes) de chantier. La deuxième était la caractérisation du comportement mécanique (résistance à la compression, à la traction et le module d'élasticité), donc l'évaluation des performances mécaniques de ce béton innovant vis à vis de leur correspondant le béton traditionnel à égale résistance. Nos premiers résultats expérimentaux ont montré que la résistance mécanique des BAP étudiés est légèrement supérieure à celle des BV correspondants. Les rapports Eau/Liant Equivalent des deux types de bétons étant proches, l'utilisation de fillers calcaires et le dosage en superplastifiant plus élevé dans les BAP sont les principales explications à cette observation. En ce qui concerne le module d'élasticité, les bétons de même squelette granulaire (bétons de bâtiment et bétons d'ouvrages) ont prouvé qu'il n'y a pas de différence sensible entre les deux types de béton.

On conclut que le béton confectionné à partir des matériaux locaux (sous produits) se révèle stable et satisfaisant, d'où la présence de fillers calcaires est une nécessité, or ces derniers améliorent non seulement les propriétés rhéologiques, car les compositions de BAP remplissent correctement les spécifications requises à l'état frais pour de tels bétons (étalement, ségrégation dynamique et statique, stabilité), mais ainsi les performances mécaniques, la résistance à la compression, particulièrement, au jeune âge des BAP est meilleure que celle des BV. Ceci est principalement due à l'addition des fillers calcaires dans la formulation des BAP qui provoquent une augmentation du degré d'hydratation des bétons.

Le tableau 1 présente la composition d'un mètre cube des principales formulations choisies :

Matériaux	La composition des bétons locaux			
	BAP40	BAP20	BV40	BV20
Ciment CPJ 42,5 (Kg)	400	300	400	300
Fillers Calcaires UF20(Kg)	69	161	0	0
Sable 0/3 (Kg)	806,4	806,4	887,4	887,4
Gravillon 3/15 (Kg)	864,6	864,6	949,6	949,6
Superplastifiant (Kg)	8,44	8,3	3	1,2
Eau Totale (Kg)	198	192	186	200
E/Lquivalent	0,47	0,56	0,47	0,67
E/C	0,49	0,64	0,47	0,67
Volume Pâte (l)	352,7	373,4	340	321,8
(% pâte )	(35)	(37)	(34)	(32)
Granulats %	0,62	0,62	0,68	0,68

Tableau 1 : La composition d'un mètre cube des différents mélanges

Les résultats des performances mécaniques sont présentés dans le tableau 2 :

Notation	Résistance (MPa)						Module d'élasticité (GPa)		
	à la compression			Traction/flexion			7 Js	28 Js	180 Js
	7 Js	28 Js	180 Js	7 Js	28 Js	180 Js			
<b>BAP40</b>	<b>30</b>	<b>41,2</b>	<b>45</b>	<b>8,46</b>	<b>9,18</b>	<b>10,56</b>	<b>29,7</b>	<b>33,4</b>	<b>35,5</b>
<b>BAP20</b>	<b>18</b>	<b>22,3</b>	<b>27</b>	<b>5,99</b>	<b>6,80</b>	<b>9,32</b>	<b>21,3</b>	<b>28</b>	<b>31</b>
<b>BV40</b>	<b>30</b>	<b>39,6</b>	<b>43,5</b>	<b>7,91</b>	<b>8,95</b>	<b>10,12</b>	<b>26,7</b>	<b>33</b>	<b>35</b>
<b>BV20</b>	<b>16</b>	<b>21,6</b>	<b>26,7</b>	<b>5,72</b>	<b>6,43</b>	<b>9,23</b>	<b>24</b>	<b>26,9</b>	<b>31</b>

Tableau 2 : Performances mécaniques

## 7- PREVISION DE LA RESISTANCE MECANIQUE AU JEUNE AGE DES CEMENTS COMPOSES SOUS UNE TEMPERATURE DE CURE VARIABLE

Boubekeur Toufik<sup>A, B</sup>, Ezziane Karim<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Centre universitaire de Tissemsilt

<sup>B</sup> Laboratoire LAG, Université Hassiba Benbouali, Chlef

**RESUMÉ:** L'étude de l'évolution des résistances des ciments sous divers conditions de température est d'un intérêt capital pour les promoteurs de la construction en climat chaud. La diversité des caractéristiques des ciments d'aujourd'hui notamment du fait de la présence des additions minérales nécessite une compréhension approfondie du processus d'hydratation et de l'évolution des résistances. De même, les conditions de cure jouent un rôle primordial dans le développement des résistances mécaniques. Cette étude traite la prévision de la résistance à la compression des mortiers à base des ciments portland et des ciments composés subissant divers historiques de température. Une étude expérimentale est menée pour suivre le développement des résistances des mortiers sous des conditions de cure variable en température. Ceci a conduit à mieux comprendre le comportement des ciments à base d'additions minérales sous des températures élevées. L'analyse des résultats obtenus a permis la prévision des résistances des mortiers à base de ciments composés en fonction de sa maturité à partir d'un mortier de référence à base d'un ciment ordinaire et conservé sous une température de référence de 20°C.

**MOTS CLES :** Ciment, additions minérales, mortier, température, prévisions, résistance mécanique.

---

## 8 - L'EFFICACITE DU RENFORCEMENT DE POUTRES EN BETON ARME PAR DES MATERIAUX COMPOSITES( PRFC)

BOUKHEZAR Mohcene<sup>A</sup>, SAMAI Mohamed Laid<sup>A</sup>, MESBAH Hbib-Abdelhak<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Département de génie civil, faculté de sciences, université mentouri de Constantine, Algérie

<sup>B</sup> Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, INSA de Rennes, France

**RESUMÉ LONG** : Grace à leurs caractéristiques mécaniques et physico-chimiques, les matériaux composites se sont taillés une place importante en génie civil, de nos jours le collage en matériaux composites est l'une des méthodes de réparation et de renforcement la plus employée dans ce marché en pleine expansion. Plusieurs éléments de structure peuvent être renforcés par collage de tissus ou lamelles en matériaux composites. Ces éléments sont essentiellement les poutres, les poteaux et les dalles.

L'objectif principal du présent travail est de mener un programme expérimental sur des poutres en béton armé, avec un béton de faible résistance (17Mpa), et ce pour rendre l'effet de renforcement plus important. Ceci est d'autant plus vrai parce qu'il se rapproche de la réalité des anciens ouvrages.

Ce travail traite le comportement de poutres en béton armé renforcées au moyen de matériaux composites PRFC (polymères renforcées de fibres de carbone) soumises à la flexion simple à quatre points (figure.1). Un compagne expérimentale a été établi, dont une série de quatre poutres ont été testées, ces dernières sont renforcées en leurs parties inférieurs par des lamelles en PRFC. Ainsi et pour montrer l'efficacité de cette méthode de renforcement deux poutres ont subi un degré de dégradation d'un ordre de 50 et 100% par rapport à leurs charge ultime ( $P_u$ ).

Les résultats obtenus dévoilent une augmentation plus importante en termes de capacité flexionnelle de la poutre renforcée comparativement à celle de contrôle, elle est d'un ordre de 66%. Concernant la deuxième phase qui est consacré à la réparation, les résultats montrent que les poutres qui ont subi un degré de dégradation de 50 et 100% ont un comportement quasi-similaire à celui de la poutre renforcée non dégradé, et que le gain en capacité flexionnelle de ces dernières par rapport à la poutre de contrôle est de 56 et 48 % consécutif (Tableau1).

La figure.2.a montre que le déplacement de la poutre contrôle augmente conjointement avec la charge jusqu'à l'apparition de la première fissure (à 80KN,) où la courbe change d'allure jusqu'au point correspond à l'écoulement des armatures (la limite d'élasticité des armatures). Au-delà de cette limite la charge se stabilise et le déplacement continu jusqu'à la ruine, cela signifie que la poutre se comporte d'une manière ductile. En ce qui concerne les poutres renforcées, le déplacement est diminué contrairement à la charge et à la rigidité qui sont augmenté d'une façon considérable, l'absence d'un plateau au-delà du point correspond à l'écoulement des armatures met en exergue un comportement non ductile de ces poutres renforcées, ce phénomène est provoqué par le mode de rupture des poutres en questions qui est en général gouverné par le décollement des lamelles au niveau des extrémité où bien au milieu de la poutre, pour éviter ce phénomène il est nécessaire d'utiliser un renforcement latéral en forme de "U" sur tout le long de la poutre (CERONI2010). Les courbes des poutres dégradées et réparés présentées dans la figure.2.b ayant la même allure et sont presque superposables donc le renforcement d'une poutre dégradé la rendre comme étant une poutre renforcée.

Enfin il est conclu que le renforcement aux moyens de matériaux composites est très important vu les nombreuses qualités de ce matériau (tel que : un poids propre très faible, une résistance à la traction élevée, une souplesse leur permettant de prendre n'importe quelle forme, aucune corrosion, et d'une bonne durabilité), le gain obtenu en terme de capacité flexionnelle des poutres renforcées, leur efficacité sur des bétons de faible résistance, ainsi que de rendre le comportement d'un élément dégradé et non dégradé presque similaire.

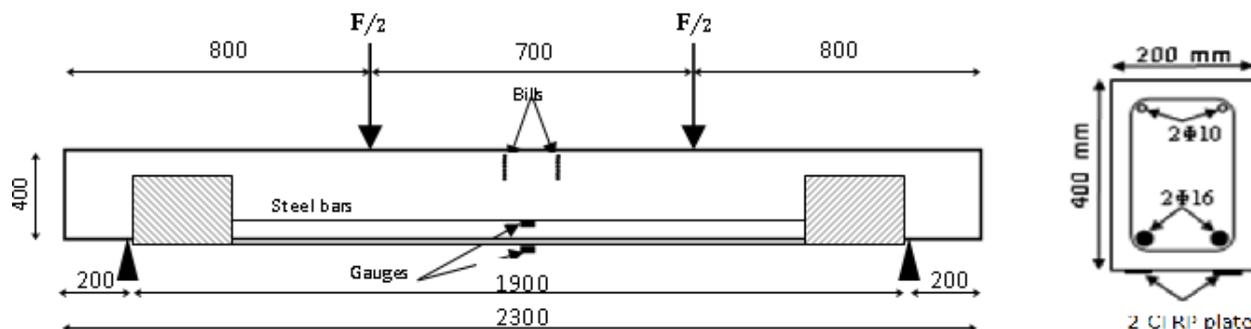


Figure.1. Représentation de la mise en place d'une poutre renforcée par lamelle en PRFC soumise à la flexion simple (quatre points).

L'ensemble des résultats obtenus est résumé dans le tableau.1, ces résultats révèlent l'effet du renforcement sur la capacité flexionnelle des poutres.

Beam	$F_y$	$F_u$	Gain obtenu	$\delta_{max}$	$\sigma_u$	$\epsilon_f$	$\epsilon_{bc}$	$M_u$	X	Mode de rupture
16B0L	140	240	0	31652.7	12	/	1124	72	82.7	SY /CC
16B1L	200	400	66.67	12204.56	20.15	6811	1806	120	118.3	SY /DL
16B1L50%	220	375	56.25	10546.42	16.99	4588	1317	112.5	117.7	SY /DL
16B1L100%	/	355	47.92	12088.41	17.77	5013	1093	106.5	100.8	SY /DL

CC : écrasement de béton, SY : écoulement d'armatures, DL : délamination du PRF

Tableau.1 : l'ensemble de différents résultats obtenus

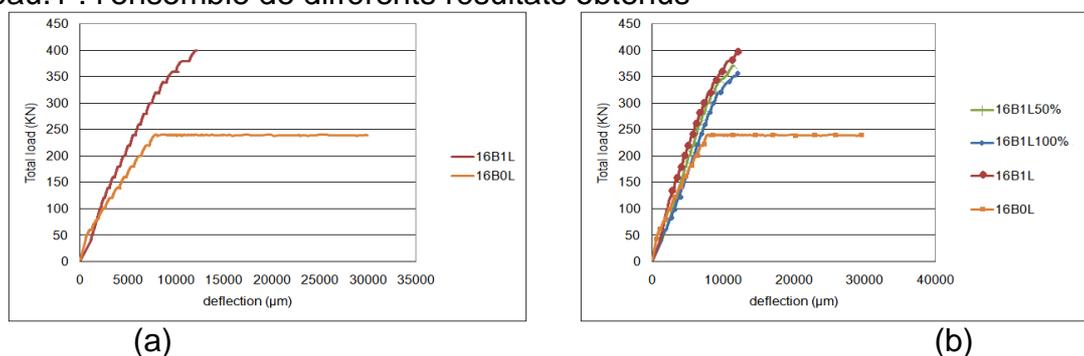


Figure.2 : la réponse charge-déplacement de différents spécimens

## 9- ELABORATION DE MORTIERS RENFORCES PAR DES FIBRES VEGETALES

BOUTARFA Meriem, BELOUETTAR Redjem

Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar, BP12, 23000 Annaba, Algérie

**RESUMÉ:** L'utilisation des fibres naturelles, en particulier de fibres végétales. Comme renfort des matériaux cimentaires, présente deux principaux avantages. D'une part, ces fibres sont largement disponibles à faible coût, leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles. D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO<sub>2</sub> et demandant peu d'énergie pour être produites

Ce travail consiste à renforcer des mortiers par des fibres végétales - fibres d'alpha à l'état brut et traitées - et à étudier l'influence des pourcentages volumiques et des différentes sur leur comportement à l'état durci. Des essais de compression simple et de traction par flexion ont été effectués sur des éprouvettes normalisées.

L'ajout de fibres d'alpha à l'état naturel influe sur les propriétés des mortiers. Le comportement mécanique en compression et en traction est modifié : plus la longueur et le pourcentage volumique des fibres sont élevés, plus la résistance en traction par flexion est améliorée.

**MOTS CLÉ :** Mortier - Fibres Naturelles – Traitement des Fibres - Résistance Mécanique –Ductilité

---

## 10- INFLUENCE DU TRAITEMENT DES FIBRES DE LIN SUR LA RHEOLOGIE ET LES PERFORMANCES D'UN MORTIER

CHAFEI Sawsen<sup>A</sup>, TRAN Tan Huy<sup>A</sup>, KHADRAOUI Fouzia<sup>A</sup>, BOUTOUIL Mohamed<sup>A</sup>, GOMINA Moussa<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Ecole d'Ingénierie et Travaux de la Construction de Caen, 14610, Epron, France.

<sup>B</sup> Laboratoire CRISMAT UMR 6508 CNRS, ENSICAEN 14050 Caen Cedex4, France.

**RESUMÉ :** Ce travail vise à améliorer la durabilité d'un mortier renforcé par des fibres courtes de lin. A l'état frais, le caractère hydrophile de ces fibres influence notablement la rhéologie des mélanges et la mise en œuvre du matériau. A l'état durci, les performances des matériaux évaluées par la ténacité et le caractère ductile accusent une forte diminution à maturité. Dans un premier temps, nous avons étudié les actions de l'eau et de l'attaque alcaline du milieu cimentaire sur les propriétés des fibres en procédant à des essais mécaniques sur des fibres unitaires à différentes échéances. Ensuite, nous avons identifié et étudié deux traitements de ces fibres de lin qui procurent une bonne maniabilité et permettent d'améliorer l'adhérence fibre-matrice. La caractérisation à l'état durci des composites cimentaires incorporant les fibres traitées a été menée en termes de résistance à la flexion et à la compression.

**MOTS CLÉS :** Fibres de lin, matrice cimentaire, attaque alcaline, propriétés mécaniques.

---

## 11- L'EFFET DES FILLERS DE CALCAIRE SUR LES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU MORTIER A BASE DE CRS

DEBOUCHA Walid<sup>A</sup>, BELAGRAA Larbi<sup>B</sup>, BOUZID Aberrazak<sup>B</sup>, OUDJIT Mohamed Nadjib<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire Bâti dans l'Environnement « LBE », Faculté de Génie Civil, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Alger, Algérie

<sup>B</sup> Laboratoire des Matériaux et Systèmes Electroniques (LMSE), Institut des Sciences et Technologie, Centre Universitaire de Bordj Bou Arréridj, Algérie

**RESUMÉ:** Les ajouts cimentaires font actuellement partie des développements les plus récents dans la production du ciment. Leurs utilisations apportent une amélioration des propriétés physico-chimiques et mécaniques des matériaux cimentaires (mortier et béton). La substitution du ciment portland par des ajouts contribue à un gain économique certain suite à la réduction énergétique en terme de production de clinker et de plus permet de préserver l'environnement de par la limitation des émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>).

Cette étude vise donc à valoriser les fillers calcaires dans la production des ciments (ciment résistant au sulfate ). Nos investigations ont porté sur les propriétés physico-chimiques de mortiers contenant un taux croissant de filler calcaire [0, 2.5%, 5%, 7.5% et 10%] et leur influence sur les résistances mécaniques.

Les résultats obtenus montrent que la réponse mécanique des mortiers à base du ciment résistant au sulfate avec ajout de calcaire à court terme donnent des résultats similaires à ceux du mortier témoin (sans ajout), et qui écroulent à long terme (28 jours), l'absorption a été beaucoup plus limitée dans le cas du ciment avec ajout calcaire. En fonction du pourcentage croissant en substitution de filler calcaire, la consistance normale augmente contrairement aux temps de début et de fin prise qui diminuent.

**MOTS CLÉS :** ciment résistant au sulfate, fillers calcaire, prise, consistance, absorption capillaire, résistance mécanique.

---

## 12- OPTIMISATION PREDICTIVE DU PHENOMENE DE RUPTURE DES PLANCHER DALLE SANS ARMATURE DE CISAILLEMENT

M.Hafidi<sup>A</sup> , F.Kharchi<sup>A</sup>, A.Lefkir<sup>B</sup>

A Houari Boumedienne University (USTHB),Civil Engineering Faculty,Laboratory of Built in Environment (LBE),Bp 32 Bab Ezzouar 16111 Alger, Algeria.

B Polytechnic National School (ENP), laboratory of construction and environment (LCE),10,avenue Hassen Badi EL Harrach 16182,Alger,Algeria

**RESUMÉ** : Deux nouvelles méthodes de conception prédictives sont présentées.La première explorée est une méthode hybride basé sur les réseaux de neurones à apprentissage flous appelé neuro-flou. 188 spécimens de dalles d'essai sur le poinçonnement ont été exploités par le modèle (129 pour l'apprentissage et 59 pour la validation) celui ci a été validé par des critères statistique. Une comparaison a été effectué d'abord avec les paramètres de la couche d'entrée du réseau neuro-flou pour évaluer le systèm le plus pertinent puis avec le résultats calculés à partir de certaines norme représentatives .Le modèle neuro-flou montre une très grande précision de prédictions de la résistance au poinçonnement par rapport à tous les codes de conception étudiés (ACI318, SIA262,CBA93).

Une deuxième méthode de conception plus conviviale et simple d'utilisation est aussi présentée. Celle-ci est basée sur un modèle de régression linéaire de type modélisation prédictive paramétrique et prend en charge tous les paramètres matériels et géométriques interagissant dans le phénomène. Cette méthode, malgré sa simplicité, offre au concepteur une aussi bonne précision que le modèle neuro-flou.

**MOTS CLÉS** : Résistance au cisaillement par poinçonnement, connexion dalle-colonne, système neuro-flou, effet de taille, régression linéaire, méthode méta-heuristique.

---

### 13- ESTIMATION DES PARTICULES DE POUSSIÈRES CAUSÉES PAR L'INDUSTRIE CIMENTIÈRE

HENNI-CHEBRA Khadidj, BOUGARA Abdelkader, EZZIANE Karim

Laboratoire de Géo-matériaux, Université Hassiba Benbouali de Chlef .Algérie

**RESUMÉ:** La réduction des émissions de particules fines constitue le plus grand défi écologique que l'industrie cimentière algérienne doit relever. L'Entreprise du Ciment et Dérivés d'Ech-Cheliff (Algérie) certifiée en 2003 aux normes de qualité ISO 9001, se prépare à être certifiée aux normes environnementales ISO 14001. Des études préalables in situ ont été effectuées au niveau de la cimenterie pour quantifier le taux de particules de poussière. La présente étude mène une campagne de surveillance des poussières au sein de la cimenterie. Elle a pour objectif l'échantillonnage et l'analyse des aéro-particules déposées par gravité autour de l'entreprise ECDE. Le mode de prélèvement est celui décrit dans la norme française NFX 43-007 et qui fait appel à l'utilisation de plaquettes métalliques minces recouvertes d'un fixateur hydrophobe. Sept stations de prélèvements ont été positionnées tout autour de la cimenterie et quatre séries de prélèvements ont été effectuées pour mesurer de façon continue l'évolution de la quantité des aéro-particules redéposées. Les résultats obtenus avec la méthode utilisée dans cette étude sont comparés avec ceux obtenus au moyen des opacimètres. Il est constaté que la station la moins sensible indique une valeur très faible de  $0.048 \text{ g/m}^2/\text{jour}$ , une valeur nettement inférieure au seuil toléré par la norme allemande TA-Luft. La station la plus sensible (qui est proche du concasseur) affiche une valeur de  $20 \text{ g/m}^2$  par jour alors que le seuil toléré par la norme appliquée est de  $1 \text{ g/m}^2$  par jour. On pense que la forte concentration trouvée est liée à la réception des ajouts minéraux et le concassage du gypse. Selon les prescriptions de la norme allemande, l'air est fortement pollué au-delà de  $0.350 \text{ g/m}^2/\text{jour}$ . Pour réduire les émissions de poussières, il est impératif d'imposer des mesures draconiennes telles que prévoir l'opération de concassage du gypse au niveau de la carrière, réorganiser la réception des ajouts et la protéger des vents dominants pour éviter l'envol des poussières.

**MOTS CLÉS :** Industrie cimentière, poussières, particules sédimentables, environnement.

---

## **14- INFLUENCE DE L'INCORPORATION DES GRANULATS RECYCLÉS DANS LA FORMULATION DE BÉTON AUTO-PLAÇANT: ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES À L'ÉTAT FRAIS ET DURCI**

KEBAILI Oussama, BADACHE Ali, ARABI Nourredine

Laboratoire Matériaux Géomatériaux et Environnement, Université Badji Mokhtar-Annaba, BP 12 Annaba 23000, Algérie

**RESUMÉ:** Les granulats issus du recyclage des matériaux de démolition s'inscrivent dans le cadre de la valorisation des déchets solides inertes comme source de granulats pour béton hydraulique. L'intérêt de cette étude porte sur l'utilisation des granulats de béton recyclés qui sont par essence absorbants dans la formulation des bétons auto-plaçants et leurs influences sur les caractéristiques à l'état frais des nouveaux bétons. Par comparaison avec un béton BAP témoin constitué de 100% de granulats naturels, des séries de BAP avec des taux de substitution en granulats recyclés : 40, 60 et 100% sont élaborées. Pour résoudre le caractère absorbant les granulats recyclés sont utilisés à l'état saturé superficiellement sec (SSS) après une immersion totale dans l'eau pendant 30 minutes. Pour tous les bétons les mêmes paramètres de composition sont utilisés : le rapport G/S, le rapport E/L, le volume de pâte, les dosages en ciment et en super-plastifiant. La caractérisation à l'état frais des bétons s'est limitée aux essais recommandés par la norme NF EN 206-9 relative au BAP: l'étalement au cône, l'écoulement à la boîte en L, le V-funnel, la stabilité au tamis et ainsi que l'essai à la boîte LCPC. L'essai de compression sur béton durci est aussi utilisé pour la détermination de la résistance mécanique. Les résultats obtenus ont permis de développer des bétons BAP à base de granulats recyclés répondant aux critères d'exigence définis dans la norme.

**MOTS CLÉS :** Béton auto-plaçant, granulats recyclés, béton frais, béton durci.

---

## 15- CARACTERISATION D'UN BETON ORDINAIRE A BASE DE COPEAUX DE BOIS

KHELIFI Walid, BELOUETTAR Redjem

Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar BP12, 23000 Annaba- Algérie

**RÉSUMÉ :** Les déchets industriels posent actuellement des problèmes difficiles à résoudre. La valorisation des matériaux locaux est devenue actuellement, une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays. C'est dans cette perspective que s'ouvre la réflexion sur la formulation d'un nouveau béton utilisant des ressources abondantes et présentant des caractéristiques comparables aux bétons usuels.

Cette étude consiste à incorporer des déchets industriels dans un béton ordinaire. Les déchets envisagés sont des copeaux de bois provenant de la transformation du bois. Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des bétons à base des copeaux de bois présentant des propriétés mécaniques intéressantes. Selon la quantité de bois, il est possible d'obtenir des bétons de structure ou d'isolation.

Notons, enfin, que le traitement des copeaux de bois n'a pas amélioré considérablement les caractéristiques du béton étudié, notamment la résistance mécanique en compression et en traction par flexion. Mais on peut dire que les copeaux de bois traités présentent des résistances mécaniques acceptables par rapport à celles des copeaux non traités parce que le traitement des copeaux rend la structure du matériau plus homogène et améliore l'adhérence bois-matrice cimentaire.

**MOTS CLÉS :** Béton, copeaux de bois, maniabilité, résistance mécanique.

---

---

---

## 16- PROPRIETES MECANQUES DES BETONS OBTENUS PAR SUBSTITUTION PARTIELLE DES GROS GRANULATS PAR DES FILLERS CALAIRES

KITOUNI Saida, HOUARI Hacène

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions Department of Civil Engineering  
University of Constantine Algeria

**RESUMÉ:** Les bétons de granulats légers sont utilisés dans les immeubles de grande hauteur, les ponts à grande portée ou encore les plates-formes offshore. Parmi, les différents granulats légers que nous pouvons introduire dans les compositions des Bétons Légers : Les fillers calcaires. Les fillers calcaires, sous produits fins dont les plus gros grains ne dépassent pas 80  $\mu\text{m}$ , sont obtenus par broyage ou par pulvérisation des roches calcaires naturelles ou non. En Algérie, plus de mille unités produisent annuellement 68 millions de tonnes de granulats, pour l'essentiel de nature calcaire. Les caractéristiques mécaniques des bétons de granulats légers dépendent fortement des propriétés et proportions de granulats présents dans la formulation. En particulier, de par leur forte porosité, les granulats légers sont beaucoup plus déformables que la matrice cimentaire et leur influence sur la résistance du béton est complexe. Ce travail vise à analyser l'influence des propriétés de ces granulats sur le comportement mécanique des bétons légers en suivant une approche expérimentale. Nous avons procédé à la recherche d'une formulation de Béton léger, adéquate en terme de mise en œuvre et permettant de remplacer 30% des gros granulats par les fillers calcaires. Le béton obtenu présente, à 28 jours, des bonnes performances mécaniques allant jusqu'à une résistance en compression de 31,27 MPa, une résistance en traction par flexion de 7,08 MPa et un module d'élasticité d'environ 26,75 MPa.

**MOTS CLÉS :** fillers calcaires, résistance en compression, résistance en traction, module d'élasticité.

---

## 17- ETUDE EXPERIMENTALE ET THEORIQUE DE L'INERTIE THERMIQUE DES PAROIS ET TOITURE MULTICOUCHE D'UNE BATISSE BIOCLIMATIQUE EN BLOCS DE TERRE COMPRIMEE

MAHDAD M'hamed, BENOUALI Hamid, BRARA Ahmed

Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Soudania, Algérie

**RESUMÉ :** La relance de la construction en matériaux terre peut constituer une réponse efficace pour la réduction des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment. Ce travail consiste en l'étude expérimentale et théorique de l'effet de l'inertie thermique des parois et toiture d'une bâtisse bioclimatique, construite avec du matériau terre, sur les variations des températures extérieures dans le contexte climatique du Nord Algérien. L'objet d'étude est une bâtisse érigée avec des murs homogène en blocs de terre comprimée (BTC) et recouverte d'une toiture multicouche. Les températures de l'air ambiant régnant de part et d'autre des murs et toiture de cette bâtisse, construite dans le cadre d'un projet de recherche, ont été déterminées in-situ à l'aide de thermocouples et les radiations solaires avec un pyranomètre, et ce durant une période d'une année. L'analyse statistique des données de températures recueillies in-situ a conforté l'intérêt de l'inertie thermique des parois homogènes en terre. En effet, il a été constaté une réduction appréciable du flux de chaleur traversant les parois pendant la saison estivale. En outre, l'amortissement obtenu par la toiture met en évidence une dynamique de transfert de chaleur relativement appréciable pour le traitement des problèmes de l'inertie thermique de la toiture des bâtisses bioclimatiques en BTC. A des fins d'extension de l'investigation, une méthode analytique pour l'estimation du gain de chaleur à travers les parois homogènes et toiture multicouche de la bâtisse, soumises à des conditions aux limites périodiques, est développée. La formulation classique de l'équation aux dérivées partielles du problème de transfert de chaleur transitoire, tenant compte des conditions initiales et limites, est convertie en forme adimensionnelle, puis résolue par l'application d'une méthode d'analyse de Fourier via un programme informatique. Cette résolution numérique permet de déterminer la variation horaire de débit de chaleur dans l'espace à travers n'importe quelle épaisseur des parois et de la toiture multicouche, pour différents matériaux constitutifs. Les résultats expérimentaux obtenus pour le prototype servent à la validation de la méthode analytique proposée.

**MOTS CLÉS :** Bloc de terre comprimée, Bioclimatique, Comportement thermique, Mur, toiture, transformée de Fourier.

---

## **18- OPTIMISATION DE TECHNIQUES ROUTIERES EUROPEENNES POUR UN MEILLEUR RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT : BETON BITUMINEUX A FROID A 100% D'AGREGATS**

MAZARS Arnaud, LIFFRAUD Michel

CETE du Sud Ouest

représentant le Partenariat CETE Sud Ouest/Conseil Général de la Haute Garonne/SPRIR Midi Pyrénées

**RESUMÉ:** Le recyclage de la Route constitue une source importante de matières premières nécessaires à l'élaboration de matériaux d'entretien routier. C'est ce postulat qui a orienté les travaux d'innovation conduits dans le cadre du projet européen SUDOE-TRACC. L'objectif était d'optimiser des matériaux en repoussant les limites techniques et normatives pour viser un meilleur respect de l'environnement.

L'optimisation passe notamment par une maximisation du taux d'agrégat et une limitation des apports de liant et s'est donc intéressée au recours à 100% d'agrégats pour la fabrication de bétons bitumineux à froid.

Ces matériaux routiers ont fait l'objet d'une évaluation technique sur site à travers la mise en place d'un suivi dans le temps de chantiers expérimentaux et une analyse selon les trois piliers du développement durable, l'ensemble étant comparé à des matériaux bitumineux traditionnels.

Cette étude permet de conclure au moindre impact sur l'environnement, à l'obtention de meilleures conditions de travail, à l'adéquation technique aux besoins de ces matériaux, le tout sans surcoût pour la collectivité.

**MOTS CLÉS :** entretien routier, agrégats, développement durable, techniques à froid, TRACC.

---

## 19- INFLUENCE DES DIMENSIONS DES FIBRES DE DISS SUR LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES COMPOSITES A DIFFERENTES MATRICES

MERZOUD Mouloud<sup>A</sup>, SELLAMI Asma<sup>A</sup>, FERTIKH Salah<sup>A</sup>, GHANIA Amira<sup>A</sup>, BOUNADJA Meriem<sup>A</sup>, BENZAOUK Amar<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar de Annaba, BP 12 Annaba 23000, Algérie

<sup>B</sup> Laboratoire des Technologies Innovantes, Département de Génie Civi, IUT, Université Picardie Jules Verne, Avenue des Facutés, Amiens Cedex 80025 Cedex 01 France

**RESUMÉ:** Les fibres de diss sont utilisées pour renforcer à l'état brut les murs en argile dans les constructions anciennes. C'est une plante très répandue en Afrique du Nord Méditerranéenne et s'étend à une centaine de kilomètres à l'intérieur du pays. On la trouve dans certaines région de la France comme les Alpes-Maritimes, le Var, l'Hérault et en Corse du Sud. Le diss a une résistance à la traction de 100 MPa, une structure très épineuse et se compose essentiellement de Sicile à l'état amorphe.

Son utilisation à l'état naturel dans des matrices cimentaires présente une incompatibilité, qui se traduit par un retard de prise et un retard dans le durcissement du composite, ce qui conduit à des faibles résistances. Pour cela un traitement hydrothermique est nécessaire pour éliminer les substances hydrosolubles causes de ces pertes de résistance.

Ce phénomène d'incompatibilité disparaît avec l'utilisation de matrice argile et/ou chaux, ce qui permet d'utiliser les fibres sans aucun traitement.

Nous nous sommes intéressé dans cette étude à l'influence des dimensions des fibres de diss dans les composites à matrice cimentaire et argile et/ou chaux. Nous avons pour cela considéré des fibres variant de 2 à 6 cm de longueur. On a trouvé que les fibres de diss de 2 cm présentent en général des résistances en flexion et en compression les plus importantes, et ce pour les différentes matrices considérées.

Nous avons ainsi pu déterminer le comportement mécanique des composites en flexion et compression par la mesure des contraintes et déformations.

Les composites ainsi obtenus présentent aussi un comportement très ductile, qui permet leur utilisation dans les remplissages soumis aux actions horizontales.

**MOTS CLÉS :** Diss, *Ampelodesma mauritanica*, Composites, Eco-Matériaux, Fibres végétales, Résistances.

---

## 20 - L'INFLUENCE DE LA SUBSTITUTION D'UN POURCENTAGE DE METAKAOLIN PAR UN CIMENT CEMI SUR LES PROPRIETES DES GEOPOLYMERES

OUALIT M.<sup>A</sup>, JAUBERTHIE R.<sup>B</sup>, BROSSAUT J-Y.<sup>B</sup>, ABADLIA M.T.<sup>A</sup>, MELINGE Y.<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Unité de Recherche Matériaux Procédés et Environnement (UR-MPE) Cité Frantz fanon 35000 Boumerdès, Algérie.

<sup>B</sup> Laboratoire de génie civil génie mécanique (LGCGM), INSA de Rennes, France.

**RESUMÉ :** Les géopolymères sont la réciproque des polymères organiques. À la place de dérivés du pétrole et de la chaîne carbonée, on utilise de la matière minérale composée de silice et d'alumine. Ils font donc partie de la famille des aluminosilicates; ils résultent de la synthèse d'un silicate alcalin et d'oxydes pulvérulents d'aluminium et de silicium à une température inférieure à 100°C.

L'objectif de cette recherche est dans un premier temps, de synthétiser des géopolymères à partir de deux types de solutions d'activation à une concentration de 9M, préparées avec deux bases différentes (NaOH et KOH). Ces solutions ont été mélangées avec du kaolin préalablement chauffé à 660°C afin d'obtenir des éprouvettes de géopolymères en optimisant le rapport Si/Al à 2.

En second lieu, c'est d'étudier l'influence de la substitution d'un pourcentage de métakaolin par un ciment CEM I. Par conséquent, l'évolution des propriétés physicomécaniques, notamment la résistance en compression et en traction par fendage est déduite.

Les résultats obtenus ont montré que l'emploi de la base KOH pendant la préparation de la solution d'activation augmente la solubilité entre le KOH et le gel de silice et favorise également l'obtention de meilleures résistances mécaniques dans le matériau. Par ailleurs, on montre également que plus le pourcentage (%) du ciment augmente, plus les propriétés mécaniques des éprouvettes s'améliorent.

Enfin, des recommandations sont proposées en adéquation avec les matières premières utilisées ainsi qu'une évaluation des performances mécaniques des éprouvettes.

---

## **21- EFFET DE L'ELEVATION DE LA TEMPERATURE ET DU MODE DE CONSERVATION SUR LES CARACTERISTIQUES MECANQUES DE BHP**

Z. Rahmouni, N. Tebbal, M. Belouadah

Laboratoire de développement des géomatériaux, Université de M'sila, Algérie

**RESUMÉ:** Le béton est largement utilisé comme matériau de structure dans les ouvrages de génie civil tels que les tunnels. La prise en compte du comportement du béton soumis à des températures élevées est apparue dernièrement comme un problème majeur. Cette problématique concerne aussi bien des situations de service dans le cas des structures de stockage de déchets radioactifs que des situations d'accident, mises en exergue par les cas récents d'incendie dans des tunnels.

Le présent travail s'intéresse aux effets de la température sur les caractéristiques mécaniques d'un béton à hautes performances. Celui-ci a été formulé à partir de matériaux locaux de notre région. Les éprouvettes de béton ont été ensuite exposées à des températures élevées allant de 200°C à 1000°C. Des essais mécaniques à chaud et après refroidissement (à l'air et dans l'eau) ont été réalisés.

Les résultats montrent que l'augmentation de la température diminue les résistances en compression avec un optimum vers les 400°C. Cette perte de résistance est fonction aussi du mode de conservation.

**MOTS CLÉS :** BHP, Matériaux locaux, Résistance mécanique, Température élevée.

---

## **22- CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES D'UNE BRIQUE DE TERRE CRUE RENFORCEE PAR DES FIBRES VEGETALES**

SAADI Imen, BELOUETTAR Redjem

Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar BP12, 23000 Annaba- Algérie

**RESUMÉ:** La crise de logement oblige actuellement les pays en voie de développement à conduire les chercheurs à s'orienter vers la revalorisation des matériaux locaux qui sont biodégradables et qui ne nuisent pas à l'environnement. Les constructions en terre sont largement utilisées dans les zones désertiques et rurales de notre pays. (BENAMARA, 2002), (CHANVILLARD, 1999), (CHEHMA et al, 2001)

Le travail présente une étude expérimentale des briques de terre renforcées par des fibres végétales (palmier dattier). Ce renfort lui confère une résistance élevée et une bonne ductilité. Les résultats sont positifs et dépassent ceux de certains matériaux préfabriqués.(DJEHADDER, 2008) L'utilisation des matériaux locaux reste économique, biodégradable et rentre dans le cadre du développement durable( DOAT et AI, 1979), (HOUBEN et al, 1989)

**MOTS CLÉS:** Béton de terre, maison écologique, fibre, stabilisation, palmier dattier.

---

## 23- VALORISATION DU FILLER DE MARBRE DANS LA FORMULATION D'UN BETON A HAUTE PERFORMANCE

N.Tebbal, Z.Rahmouni, M. Belouadah

Université de M'sila, Algérie

**RESUMÉ:** L'industrie des matériaux de construction est toujours accompagnée par des produits secondaires ou déchets, qui ont une incidence directe sur l'environnement. Le stockage de tel déchets dans les dépôts favorise la pollution de l'air et la contamination des sources d'eaux et des terrains agricoles, il est donc nécessaire, de procéder à l'élimination des ces produits en trouvant un moyen de les valoriser et de les réutiliser de nouveau. Ce travail vise à améliorer certaines propriétés physico-mécaniques d'un béton à hautes performances en augmentant sa compacité par l'addition d'un résidu minéral finement broyé qui est la poudre de marbre.

A cet effet, on a utilisé plusieurs procédés expérimentaux de caractérisation pour étudier l'effet de la poudre de marbre sur les performances de ce type de béton.

Les résultats obtenus, nous ont permis de confirmer que l'addition de poudre comme un ajout cimentaire dans les bétons à hautes performances, apporte une amélioration significative sur non seulement les propriétés physico-mécanique mais aussi sur les indicateurs de durabilité.

**MOTS CLÉS :** BHP, Marbre, Valorisation, Résistance mécanique, Compacité.

---

## 24- LE VIEILLISSEMENT DES INFRASTRUCTURES : DE NOUVEAUX ENJEUX ET DE NOUVELLES SOLUTIONS

TREMBLOT Pauline<sup>A</sup>, VIANO Charles<sup>B</sup>, LECARRIE Giulia<sup>C</sup>

<sup>A</sup> Chargée de développement, Groupe OSMOS – France

<sup>B</sup> Responsable cellule ingénierie, Groupe OSMOS - France

<sup>C</sup> Chargée de communication et relations publiques, Groupe OSMOS - FRANCE

**RESUMÉ:** Une sollicitation exceptionnelle, des contraintes mal appréhendées, une accumulation d'événements particuliers, quelle qu'en soit la raison, il arrive que les calculs, pourtant établis dans les règles de l'art, ne puissent prévoir le comportement d'une structure sur le long terme. En effet, une structure vit, tout comme le sol sur lequel elle repose ou l'environnement dans lequel elle est contrainte d'évoluer. Alors parfois, une structure se dégrade sans prévenir jusqu'à une ruine partielle ou totale. A l'inverse, il n'est pas rare de voir des constructions dépasser largement les durées de vie estimées au départ. Le présent article montre l'intérêt de suivre le vieillissement de ces ouvrages sur le long terme et de façon précoce, par la maintenance structurelle. Avant toute chose, nous présenterons la problématique du vieillissement des infrastructures. Puis, nous présenterons une approche de maintenance structurelle basée sur la Corde Optique, que nous illustrerons ensuite à l'aide de deux applications concrètes.

Dans un premier temps, nous montrerons comment, en suivant un critère physique précoce, nous sommes en mesure de suivre pas à pas l'effondrement d'une structure, avec l'exemple du parking d'Herleen au Pays-Bas, dont l'affaissement a été prévenu trois jours à l'avance. Nous démontrerons ainsi que même lorsque l'évolution est rapide, un ouvrage ne s'endommage pas "d'un seul coup". La respiration ou mieux, le pouls "réel" de l'ouvrage constitue le critère déterminant. Telle une échographie, les systèmes de surveillance structurels OSMOS dessinent le "modèle vrai" de la structure au plus près de sa réalité comportementale. Un procédé capable de suivre, dès leur naissance, l'évolution des critères de dimensionnement (effort normal, cisaillement, torsion, axe neutre) permet d'assurer la maintenance présente et ultérieure de manière objective et anticipatoire, ainsi que de vérifier sur le long terme la bonne exploitation de la structure par rapport aux hypothèses de calcul ou aux méthodes de construction adoptées.

Puis, nous suivrons un cas opposé, à savoir la prolongation de durée de vie d'une structure a priori endommagée, à partir de l'exemple du Pont sur l'Adour à Bayonne. En effet, bien que vieilli et très corrodé, il se comporte bien, les charges de service générant les contraintes attendues : ainsi, il retourne à son état d'origine à chaque passage de train.

**MOTS CLÉS :** monitoring, doutes, prévention, surveillance, déformations, contraintes, Cordes Optiques, statique, dynamique.

---



## **PARTICIPANTS**



Nom	Prénom	Organisme	Ville	Mail
ACHOUR	Yacine	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	geo19000@hotmail.com
ACHOURA	Djamel	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	achoudj@yahoo.fr
AIT-MOKHTAR	Karim	LaSIE - Univ. la Rochelle	La Rochelle	karim.ait-mokhtar@univ-lr.fr
ALI-BOUCETTA	Tahar	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	
ALLAHYARI	Ilgar	LMDC UPS/INSA	Toulouse	ilgar.allahyari@insa-toulouse.fr
AMZIANE	Sofiane	Polytech Clermont	Clermont Ferrand	sofiane.amziane@gmail.com
AOUBA	Laila	LMDC UPS/INSA	Toulouse	aouba@insa-toulouse.fr
ARLIGUIE	Ginette	LMDC UPS/INSA	Toulouse	ginette.arliguie@insa-toulouse.fr
AUBERT	Jean-Emmanuel	LMDC UPS/INSA	Toulouse	aubert@insa-toulouse.fr
BAILLEUX	Jean-Philippe	The Green Block	Sartrouville	jp_bravo@y7mail.com
BAUDOIN	Gaëlle	Polytech Clermont	Clermont Ferrand	
BEDJOU	Souhila	Centre de Recherche	Alger (Algérie)	souhila_enp02@yahoo.fr
BELOUETTAR	Redjem	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	
BENAZZOUK	Amar	LTI - UPJV	Amiens	amar.benazzouk@u-picardie.fr
BENKECHKACHE	Ghofrane	LMDC - Univ. de Constantine	Constantine (Algérie)	b_ghofrane@yahoo.fr
BERTRON	Alexandra	LMDC UPS/INSA	Toulouse	bertron@insa-toulouse.fr
BESSETTE	Laetitia	VICAT	Isle d'Abeau	
BOUKHEZAR	Mohcene	Univ. de Constantine	Constantine (Algérie)	ba5mz83@yahoo.fr
BOUTARFA	Meriem	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	boutarfa_meriem@hotmail.fr
BUCHER	Raphaël	LMDC UPS/INSA	Toulouse	bucher.raph@gmail.com
BUFFO-LACARRIERE	Laurie	LMDC UPS/INSA	Toulouse	buffo-lacARRIERE@insa-toulouse.fr
BULTEEL	David	Ecole des Mines de Douai	Douai	david.bulteel@mines-douai.fr
CAGNON	Thomas	LMDC UPS/INSA	Toulouse	cagnonhugo@gmail.com
CASAUX-GINESTET	Géraldine	LMDC UPS/INSA	Toulouse	geraldine.casaux-ginestet@insa-toulouse.fr
CASSAGNABERE	Franck	LMDC UPS/INSA	Toulouse	cassagna@insa-toulouse.fr
CHAFEI	Sawsen	ESITC Caen	Caen	sawsenchafei@esitc-caen.fr
CLASTRES	Pierre	LMDC UPS/INSA	Toulouse	clastres@insa-toulouse.fr
CODINA	Maud	Ginger CEBTP	Elancourt (France)	m.feullard@gingergroupe.com
COLIN	Johan	ESTP Cachan	Cachan	jcolin@adm.estp.fr
CORNUCHE	Philippe	Groupe'Adour	Dax	
COURARD	Luc	Univ. Liège	Liège (Belgique)	luc.courard@ulg.ac.be
COUSTURE	Annelise	Univ. Cergy Pontoise	Cergy	annelise.cousture@u-cergy.fr
COUTAND	Marie	LMDC UPS/INSA	Toulouse	coutand@insa-toulouse.fr
CUSSIGH	François	VINCI Construction	Paris	francois.cussigh@vinci-construction.fr
CYR	Martin	LMDC UPS/INSA	Toulouse	cyr@insa-toulouse.fr
DE BOOM	Aurore	4MAT - Univ. Libre de Bruxelles	Bruxelles (Belgique)	Aurore.De.Boom@ulb.ac.be
De LARRARD	Thomas	LMDC UPS/INSA	Toulouse	delarrard@insa-toulouse.fr
DEBOUCHA	Walid	LBE - Univ. H. Boumédiène	Alger (Algérie)	

DELINIERE	Rémi	LMDC UPS/INSA	Toulouse	remi.deliniere@insa-toulouse.fr
DILIBERTO	Cécile	Inst. J. Lamour - Univ. de Lorraine	Nancy	cecile.diliberto@ijl.nancy-universite.fr
DIVET	Loïc	IFSTTAR	Paris	loic.divet@lcp.c.fr
DOMEDE	Nathalie	LMDC UPS/INSA	Toulouse	nathalie.domede@insa-toulouse.fr
DUPLAN	François	LMDC UPS/INSA	Toulouse	francois.duplan@menard-mail.com
EL BITOURI	Youssef	LMDC UPS/INSA	Toulouse	elbitour@insa-toulouse.fr
ESCADEILLAS	Gilles	LMDC UPS/INSA	Toulouse	gilles.escadeillas@insa-toulouse.fr
GARCIA-DIAZ	Eric	CMGD - Ecole des Mines d'Alès	Alès	Eric.garcia@mines-alès.fr
GEORGIN	Jean-François	LGCIÉ - INSA Lyon	Lyon	jean-francois.georgin@insa-lyon.fr
GINESTET	Stéphane	LMDC UPS/INSA	Toulouse	sgineste@insa-toulouse.fr
GOMART	Hector	L2MGC - Univ. Cergy Pontoise	Cergy	Hector.Gomart@u-cergy.fr
GONNON	Pascal	OMYA	Paris	pascal.gonnon@omya.com
GOUARDES	Eric	ADEME	Toulouse	eric.guardes@ademe.fr
GUIRAUD	Patrick	CIMBETON	Paris	p.guiraud@cimbeton.net
HENNI-CHEBRA	Khadidja	Univ. Hassiba Benbouali	Chlef (Algérie)	
HOUZE	Clément	IFSTTAR	Paris	
IDIR	Rachida	CETE Ile de France	Melun	rachida.idir@developpement-durable.gouv.fr
IZORET	Laurent	ATILH	Paris	l.izoret@atilh.fr
KAID	Nouria	Univ. M. Boudiaf	Oran (Algérie)	kaid.nouria@gmail.com
KENNE DIFFO	Beauderic Bernadin	LMDC UPS/INSA	Toulouse	kennedif@insa-toulouse.fr
KHARCHI	Fattoum	Univ. H. Boumédiène	Alger (Algérie)	kharchifcong@yahoo.fr
KHELIFI	Walid	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	walidodo_28008@hotmail.fr
KHELIL	Nacim	LMDC UPS/INSA	Toulouse	khelil@insa-toulouse.fr
KITOUNI	Saida	LMDC - Univ. de Constantine	Constantine (Algérie)	souad0714@yahoo.fr
LEKLOU	Nordine	GeM - Univ. de Nantes	Saint Nazaire	ali-nordine.leklou@univ-nantes.fr
LE	Vinh Anh	LMDC UPS/INSA	Toulouse	vinhandb@gmail.com
MAGNIONT	Camille	LMDC UPS/INSA	Toulouse	c_magnio@insa-toulouse.fr
MAHIEUX	Pierre-Yves	LaSIE - Univ. la Rochelle	La Rochelle	pierre-Yves.mahieux@univ-lr.fr
MAILLARD	Pascal	CTMNC	Limoges	p.maillard@ctmnc.fr
MARTINEZ	Thomas	LMDC UPS/INSA	Toulouse	thomas.martinez@insa-toulouse.fr
MAZARS	Arnaud	CETE du Sud Ouest	Toulouse	arnaud.mazars@developpement-durable.gouv.fr
MEASSON	Michel	Eiffage Travaux Publics	Corbas	Michel.MEASSON@eiffage.com
MENADI	Souad	Univ. Badji Mokhtar	Annaba (Algérie)	souad.menadi@lgc-univ-annaba.dz
MICHEL	Marie	LGCIÉ - INSA Lyon	Lyon	marie.boulet@insa-lyon.fr
MILLOGO	Younoussa	Univ. Polytechnique de Bobo	Bobo Dioulasso (Burkina Fasso)	younoussam@yahoo.fr
MITZITHRA	Maria-Eleni	LMDC UPS/INSA	Toulouse	me.mitzithra@gmail.com
MORANDEAU	Antoine	IFSTTAR	Paris	antoine.morandeaui@ifsttar.fr
MOUJALLED	Bassam	CETE/SO Groupe Bâtiment	Bordeaux	Bassam.Moujalled@developpement-durable.gouv.fr
MOULI	Mohamed	LABMAT - ENSET Oran	Oran (Algérie)	moulimohamed@yahoo.fr
MULTON	Stéphane	LMDC UPS/INSA	Toulouse	stephane.multon@insa-toulouse.fr
MUSIKAS	Nicolas	ECOCEM France	Aix en Provence	nicolasmusikas@wanadoo.fr

NAMOULNIARA	Kévin	LaSIE - Univ. la Rochelle	La Rochelle	
NDIAYE	Khadim	LMDC UPS/INSA	Toulouse	kndiaye@insa-toulouse.fr
NGUYEN	Dang	ESITC Caen	Caen	DangNGUYEN@esitc-caen.fr
NGUYEN	Van Tri	Argeco	Toulouse	van-tri.nguyen@entreprise-malet.fr
NGUYEN	Hau	ESTC - Hanoi	Hanoi (Vietnam)	ntbhau26@gmail.com
OLIVIER	Kelly	LMT Cachan	Paris	
OUALIT	Mehena	MPE - Univ. Boumerdès	Boumerdès (Algérie)	oualitmehenna@hotmail.com
OUMOUSSA	Mariam			
PAVOINE	Alexandra	CETE Ile de France	Melun	alexandre.pavoine@developpement-durable.gouv.fr
PETIT	Joëlle	Carmeuse Coordination Center	Louvain (Belgique)	joelle.petit@carmeuse.com
PONCHON	François	Carmeuse	France	francois.ponchon@carmeuse.com
PONS	Gérard	LMDC UPS/INSA	Toulouse	pons@insa-toulouse.fr
POUHET	Raphaëlle	LMDC UPS/INSA	Toulouse	pouhet@insa-toulouse.fr
QUENEUDECT-KINT	Michèle	IMaP/EPROAD - UPJV	Amiens	michele.tkint@u-picardie.fr
REAU	Frédéric	LMDC UPS/INSA	Toulouse	frederic.reau@insa-toulouse.fr
RICHERI	Fabrice	CETE/SO Groupe Bâtiment	Bordeaux	Fabrice.Richieri@developpement-durable.gouv.fr
ROJAT	Fabrice	CETE Lyon	Lyon	
ROSSIGNOL	Sylvie	GEMH - ENSCI	Limoges	sylvie.rossignol@unilim.fr
ROUX	André	CTG	Guerville	aroux@ctg.fr
SAIDAT	Fatma	LMDC UPS/INSA	Toulouse	saidat@insa-toulouse.fr
SAMRI	Driss	CETE/SO Groupe Bâtiment	Bordeaux	Driss.Samri@developpement-durable.gouv.fr
SAN NICOLAS	Rackel	Univ. de Melbourne	Melbourne (Australie)	rackel.san@unimelb.edu.au
SCHIETTEKATTE	Maud	LMDC UPS/INSA	Toulouse	schiette@insa-toulouse.fr
SOUYRIS	Pierre	LMDC UPS/INSA	Toulouse	psouyris@insa-toulouse.fr
STAQUET	Stéphanie	BATir - Univ. Libre de Bruxelles	Bruxelles (Belgique)	sstaquet@ulb.ac.be
STEINS	Prune	CEA Marcoule / GEMH - ENSCI	Limoges	prune.steins@etu.unilim.fr
TEBBAL	Nadia	Univ. Msila	M'Sila (Algérie)	tebbalnadia@yahoo.fr
TERBECHÉ	Ouafaa	LMDC UPS/INSA	Toulouse	terbeche@insa-toulouse.fr
THIERY	Mickaël	IFSTTAR	Paris	mickael.thiery@ifsttar.fr
TOUMI	Ahmed	LMDC UPS/INSA	Toulouse	toumi@insa-toulouse.fr
TREMBLOT	Pauline	Groupe OSMOS	France	tremblot@osmos-group.com
TURATSINZE	Anaclet	LMDC UPS/INSA	Toulouse	anaclet@insa-toulouse.fr
TURCRY	Philippe	LaSIE - Univ. la Rochelle	La Rochelle	philippe.turcry@univ-lr.fr
VERDIER	Thomas	LMDC UPS/INSA	Toulouse	thomas.verdier@univ-tlse3.fr
VERDIER	Jérôme	LMDC UPS/INSA	Toulouse	verdier@insa-toulouse.fr
VIDAL	Thierry	LMDC UPS/INSA	Toulouse	vidal@insa-toulouse.fr
VOLOLONIRINA	Oly	LMDC UPS/INSA	Toulouse	Oly.Vololonirina@insa-toulouse.fr
WANG	Gjinseu	LMDC UPS/INSA	Toulouse	wangjinseu@gmail.com
YOTTE	Sylvie	Univ. Limoges	Egletons	sylvie.yotte@unilim.fr
YU	Linwen	LMDC UPS/INSA	Toulouse	liyu@insa-toulouse.fr
ZHU	Wenjun	LMDC UPS/INSA	Toulouse	w_zhu@insa-toulouse.fr