

## UTILISATION DU MODÈLE PROBABILISTE DE WEIBULL À LA CARACTÉRISATION DE L'ASPECT ALÉATOIRE DE LA RUPTURE EN TRACTION DE PANNEAUX EN BOIS À LAMELLES ORIENTÉES



## STRATÉGIE OPTIMALE DE SÉLECTION D'UN REVÊTEMENT POUR LA CONSTRUCTION DE ROUTES FORTEMENT SOLLICITÉES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE - CAS DE L'AUTOROUTE DU NORD EN CÔTE D'IVOIRE



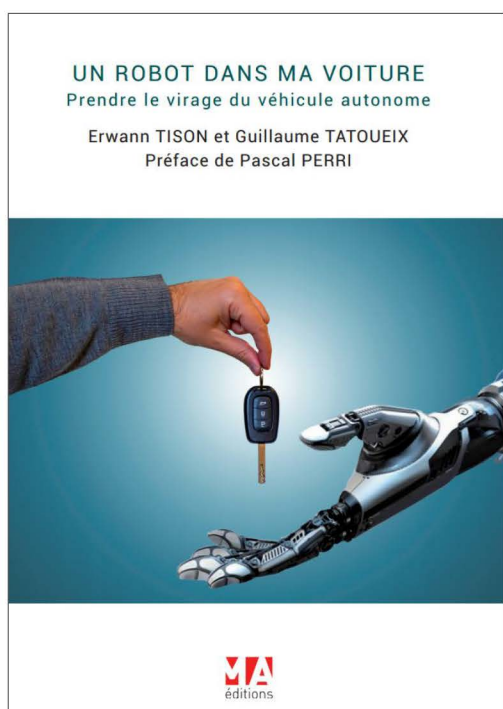
## RILEM TECHNICAL REPORT 2018-2019 – SÉLECTION POUR LES ABTP



# Un robot dans ma voiture

Prendre le virage du véhicule autonome

Erwann TISON et Guillaume Tatoueix



« Installez-vous confortablement dans votre voiture, levez les mains du volant et profitez du voyage ». Alors qu’il s’agissait d’un fantasme digne de la science-fiction, la voiture autonome est en passe de devenir une réalité technologique. Libéré de la conduite, le conducteur devient un passager qui peut alors s’adonner à d’autres tâches au sein de sa voiture : envoyer des mails, participer à des réunions, suivre une formation, animer une conférence, dormir, faire du yoga, lire son journal, visionner un film, le tout sans se soucier de la route et des autres véhicules.

La voiture n’est plus uniquement une technologie de locomotion, elle devient un lieu de travail et de loisir. C’est un nouveau moyen de transport écologique et innovant, une opportunité pour nos territoires et notre économie, qui augure un fantastique mouvement de liberté d’une ampleur jamais vue dans notre histoire.

Dans cet essai, **Erwann TISON** et **Guillaume TATOUEIX** apportent leurs regards croisés d’économiste et d’avocat sur la technologie de la conduite autonome. Un livre pédagogique destiné aux personnes curieuses de l’avenir des mobilités et souhaitant cerner avec précision l’immense potentiel de cette formidable technologie.

**Disponible le 9 juillet 2020**

## BON DE COMMANDE

Je désire recevoir ..... exemplaire(s) de l'ouvrage : « **Un robot dans ma voiture** » - 191 pages - Code ISBN 978-2-8224-0624-6

Prix : 19,90 € + 1,00 € de frais de port, soit ..... € x ..... exemplaire (s) = ..... €

Je joins mon règlement à l'ordre des Editions ESKA :

Chèque bancaire

Carte Bleue Visa n° .....

Date d'expiration : .....

Signature obligatoire :

Virement bancaire au compte des Editions ESKA

Etablissement BNP PARIBAS – n° de compte : 30004 00804 00010139858 36

IBAN : FR76 3000 4008 0400 0101 3985 836 BIC BNPAFRPPPC

Société / Nom, prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ..... Ville : .....

Tél. : ..... Fax : ..... E-mail : .....

Veillez retourner votre bon de commande accompagné de votre règlement à l'adresse suivante :

MA Editions - ESKA – Contact : [adv@eska.fr](mailto:adv@eska.fr)

12, rue du Quatre Septembre – 75002 Paris - France - Tél. : 01 42 86 55 75 - Fax : 01 42 60 45 35

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**  
Serge KEBABTCHIEFF

**Rédaction**

Rédacteur en chef  
François Buyle-Bodin,  
université de Lille

**Représentant l'Ifsttar**

Jean-Luc Clément, direction scientifique

**Représentant l'Union des Ingénieurs  
et Scientifiques Francophones UISF**

Élie Absi, président

**Relations internationales**

Zoubeir Lafhaj, École Centrale de Lille

**ABONNEMENT :**

<http://www.eska.fr>

Editions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre - 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 65 - Fax : 01 42 60 45 35

**FABRICATION :** AGPA Editions

4, rue Camélinat - 42000 Saint-Etienne

Tél. : 04 77 43 26 70 - Fax : 04 77 41 85 04

E-mail : [agpaedit@eska.fr](mailto:agpaedit@eska.fr)

**PUBLICITÉ** - à la rédaction

**IMPRESSION :** Imprimé en France

## SOMMAIRE

### éditorial

Prof. François BUYLE-BODIN

\* \* \* \*

<b>Utilisation du modèle probabiliste de Weibull à la caractérisation de l'aspect aléatoire de la rupture en traction de panneaux en bois à lamelles orientées .....</b>	<b>7</b>
<i>Using the Weibull probabilistic model to characterise the random aspect of the tensile fracture of oriented wood panels</i>	
Bachir REDJEL, Abbas REMADNIA & Myriam CHAPLAIN	
<b>Stratégie optimale de sélection d'un revêtement pour la construction de routes fortement sollicitées en Afrique subsaharienne - Cas de l'autoroute du nord en Côte d'Ivoire.....</b>	<b>13</b>
<i>Optimal strategy for selection of a pavement construction material for heavy volume roads in sub-Saharan Africa - Case of the Autoroute du Nord in Côte d'Ivoire</i>	
Nahouo SORO & Gabriel J. ASSAF	
<b>Rilem RAPPORT TECHNIQUE 2018-2019 - sélection pour les ABTP.....</b>	<b>32</b>
<i>Rilem TECHNICAL REPORT 2018-2019</i>	
<b>bulletin d'abonnement .....</b>	<b>6</b>
<b>résumés — abstracts.....</b>	<b>4</b>
<b>communiqués et colloques.....</b>	<b>65</b>
<b>recommandations aux auteurs.....</b>	<b>C3</b>

## Responsables des rubriques

Marwan AL HEIB

INERIS (Institut National de l'Environnement industriel et des Risques)  
et Ecole des Mines de Nancy

**Spécialité : Risques Naturels, Ouvrages et Stockages**

Gabriel J. ASSAF

Département de génie de la construction, École de technologie supérieure  
Québec, Canada

**Spécialité : Transports terrestres, infrastructures et milieux bâtis**

Mongi BEN OUEZDOU

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, (ENIT) Université de Tunis El  
Manar (UTM), Tunisie

**Spécialité : Pathologie des constructions, nouveaux matériaux,  
restauration des monuments historiques**

Lamine DIENG

IFSSTAR, laboratoire des structures métalliques et à câble, département  
Matériaux & Structures, Nantes, France

**Spécialité : Structures métalliques et à câbles**

Chafika DJELAL DANTEC

Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement LGCgE, Université  
d'Artois, Béthune, France

**Spécialité : Rhéologie des bétons, matériaux composites**

Raoul FRANCOIS

INSA de Toulouse, département Génie Civil, Toulouse, France

**Spécialité : Corrosion et maintenance des structures en béton  
armé**

Hocine HAMMOUM

Département de Génie Civil, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie

**Spécialité : Comportement et dimensionnement des structures  
soumises à des séismes**

Said KENAI

Laboratoire Matériaux et Génie Civil, département Génie Civil, université  
de Blida, Algérie

**Spécialité : Mortiers et bétons, liants alternatifs**

Pierre-Yves OLLIVIER

Ingénieur expert Structures, Nantes, France

**Spécialité : Structures**

Isabelle OUSSET

IRSTEA Unité de Recherche ETNA, Grenoble, France

**Spécialité : Structures de protection contre les aléas naturels**

Bachir REDJEL

Laboratoire de Génie Civil, Département Génie Civil, Université Badji  
Mokhtar, Annaba, Algérie

**Spécialité : Matériaux composites et alternatifs**

Hassène SABEUR

Ecole Polytechnique de Tunisie (EPT) - Université de Carthage.  
La Marsa, Tunisie

**Spécialité : Mécanique du béton**

Mohsen TENNICH

Institut supérieur des études technologiques de Radès, Tunisie

**Spécialité : Matériaux alternatifs du béton**

## LISTE DES ANNONCEURS

Annonces de colloques :

- ASTEE, 99<sup>e</sup> congrès EAUX-DÉCHETS ET SANTÉ,  
14-16 septembre 2020 – LYON
- AFGC, Colloque « LE PONT » - CHANGEMENT CLIMATIQUE  
ET LES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL,  
13-14 octobre 2020 – TOULOUSE

Chères lectrices, chers lecteurs,

Ce numéro des Annales paraît après une période perturbée, douloureuse humainement parlant et délicate pour le secteur du BTP.

Vous trouverez un article portant sur l'analyse de la rupture de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB). Cet article complète un précédent présenté dans le n°1 2019 des *Annales du BTP*. L'aspect statistique probabiliste de la rupture est examiné à l'aide d'une analyse des résultats expérimentaux des contraintes ultimes à la rupture mesurées en traction directe sur des éprouvettes prismatiques.

Nous continuons à publier par ailleurs des articles sur les techniques routières dans les pays africains. Rappelons que la revue se démarque d'autres revues routières, souvent plus techniques et moins décisionnelles, et présente des articles transposables dans d'autres domaines et d'autres matériaux. L'article que nous vous proposons aujourd'hui s'intitule « Stratégie optimale de sélection d'un revêtement pour la réhabilitation de routes fortement sollicitées en Afrique subsaharienne - Cas de l'autoroute du nord en Côte d'Ivoire ».

Enfin nous vous invitons à découvrir les activités des comités techniques Technical Committees TC de la RILEM. Après une présentation de ces comités, de leur rôle et des avantages que procurent la participation à leurs travaux, nous proposons un zoom sur trois clusters :

Cluster C: Structural Performance and Design

Cluster D: Service Life and Environmental Impact Assessment

Cluster E: Masonry, Timber and Cultural Heritage.

Je vous souhaite une bonne lecture.

**Le rédacteur en chef,  
Prof. François Buyle-Bodin**

**UTILISATION DU MODÈLE PROBABILISTE DE WEIBULL À LA CARACTÉRISATION DE L'ASPECT ALÉATOIRE DE LA RUPTURE EN TRACTION DE PANNEAUX EN BOIS À LAMELLES ORIENTÉES**

BACHIR REDJEL, ABBAS REMADNIA & MYRIAM CHAPLAIN

L'aspect statistique probabiliste de la rupture de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) est examiné à l'aide d'une analyse des résultats expérimentaux des contraintes ultimes à la rupture mesurées en traction directe sur des éprouvettes prismatiques adaptées au type d'éprouvette standard « Internal Bond IB ». Les valeurs mesurées de ces contraintes se caractérisent par une forte dispersion donnant ainsi à la contrainte moyenne une valeur déterministe. La mesure de la fragilité, la caractérisation du comportement à la rupture en traction de ce matériau fibreux ainsi que l'aspect probabiliste de la ruine sont décrits quantitativement à l'aide du modèle probabiliste de Weibull à deux paramètres. Le module de Weibull mesuré égal à 5,75 est faible traduisant une distribution des défauts très variable d'un échantillon à un autre.

**USING THE WEIBULL PROBABILISTIC MODEL TO CHARACTERIZE THE RANDOM ASPECT OF THE TENSILE FRACTURE OF ORIENTED WOOD PANELS**

BACHIR REDJEL, ABBAS REMADNIA & MYRIAM CHAPLAIN

*The statistical probabilistic aspect of the fracture of wooden panels of oriented strand board (OSB) is examined through an analysis of the experimental results of the ultimate fracture strengths obtained in direct tension on prismatic specimens adapted to the type of standard test tube "internal bond IB". The measured values of these strengths are characterized by a significant scatter giving to the average strength a deterministic value. The measure of the fragility, the characterization of the fracture behavior in tension of this fibrous material as well as the probabilistic aspect of the ruin are quantitatively described by means of the two parameters probabilistic model of Weibull. The measured Weibull modulus equal to 5,75 is low translating a very variable distribution of the defects from a sample to another one.*

**STRATÉGIE OPTIMALE DE SÉLECTION D'UN REVÊTEMENT POUR LA CONSTRUCTION DE ROUTES FORTEMENT SOLLICITÉES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE – CAS DE L'AUTOROUTE DU NORD EN CÔTE D'IVOIRE**

NAHOUE SORO & GABRIEL J. ASSAF

La préservation du réseau routier et son extension représentent des défis majeurs pour les pays d'Afrique subsaharienne vu

la rareté des financements. Le peu d'entretien effectué, les surcharges routières et les températures élevées entraînent une dégradation prématurée des routes avec pour conséquence d'importants coûts aux administrations et aux usagers. Face à cette préoccupante situation, il convient de recourir à une nouvelle approche de sélection du revêtement des chaussées entre l'enrobé bitumineux et le béton armé continu, particulièrement pour les chaussées fortement sollicitées en considérant les coûts globaux du cycle de vie au lieu des coûts initiaux. La chaussée à construire doit nécessiter peu d'entretien, avoir un meilleur comportement sous les températures élevées allant jusqu'à 50°C et résister au trafic lourd. Cet article propose de décrire et d'illustrer une approche innovante et originale d'optimisation de la conception et la sélection d'une option de chaussée revêtue en enrobé bitumineux (EB) ou en béton armé continu (BAC). Dans cet esprit, une validation est effectuée sur un tronçon de 50 km de l'autoroute du nord en Côte d'Ivoire. Les résultats indiquent que le coût initial de construction de la chaussée en BAC est plus cher de 10 à 20 % que celui de la chaussée en EB. Sur le cycle de vie de 20 ans, les coûts à l'administration et les coûts aux usagers baissent respectivement en moyenne de 15 % et 30 % en faveur de la chaussée en BAC. Au final, en fin de cycle de vie, les coûts globaux de la chaussée en EB sont plus chers de 21 à 28 % que ceux de la chaussée en BAC. Selon l'approche des coûts globaux du cycle de vie, la chaussée en béton armé continu doit être réalisée.

**OPTIMAL STRATEGY FOR SELECTION OF A PAVEMENT CONSTRUCTION MATERIAL FOR HEAVY VOLUME ROADS IN SUB-SAHARAN AFRICA. CASE OF THE AUTOROUTE DU NORD IN CÔTE D'IVOIRE**

NAHOUE SORO & GABRIEL J. ASSAF

*Preservation and extension of road network represent major challenges for sub-saharan African countries given the scarcity of funding. The poor maintenance carried out, the road overloads and the high temperatures leading to roads premature deterioration with consequent significant costs for both road administrations and users.*

*In view of this situation, a new way of selecting the type of asphalt or concrete pavement, particularly for heavily loaded pavements should be use considering the overall costs over the life cycle in place of initial costs. The pavement to be built should require little maintenance and have better behavior under high temperatures up to 50 °C and withstand heavy traffic.*

*This article aims to describe and illustrate an innovative and original approach for optimizing the design and selection of a pavement option between asphalt pavement (AC) and continuous reinforced concrete pavement (CRCP). In this spirit, validation is carried out on a 50 km section of the Autoroute*

*du nord in Côte d'Ivoire. The results indicate that CRCP initial cost is 10 to 20% more expensive than that of AC. Over the 20-year life cycle, administration costs and user costs decrease by an average of 15% and 30% respectively in favor of CRCP. Finally, at the end of the life cycle, the overall costs of AC are 21 to 28% more expensive than those of CRCP. According to the overall life cycle cost approach, the continuous reinforced concrete pavement must be built.*

## **RILEM RAPPORT TECHNIQUE 2018-2019**

Le RILEM souhaitait la publication d'un tel rapport depuis longtemps, mais des problèmes logistiques l'ont empêché jusqu'à présent. Ce rapport vise à mettre en lumière le travail acharné de tous les comités techniques actuels du RILEM. Il leur donne l'occasion de présenter leurs réalisations, leurs publications, leurs plans et leurs progrès au fil des ans. Le contenu présenté ici, organisé par grappe, couvre la durée de vie de chaque Technical Committee TC depuis sa date de début jusqu'en août 2019. Il fournit également une liste des rapports à venir et des ateliers et événements de TC. Les TC sont au cœur du RILEM, ou peut-être plutôt sont ses mains et ses pieds... C'est là que toute l'action se produit. Dans un TC, vous pouvez discuter avec les experts, et les futurs experts, dans un domaine spécifique. Vous donnez et recevez des conseils ; vous menez des recherches conjointes et inter laboratoires à l'échelle internationale, vous contribuez aux recommandations qui seront utilisées par les scientifiques et les praticiens dans les années à venir. Lors de rencontres à travers le monde, vous découvrez des outils de recherche pertinents dans les laboratoires de vos collègues, vous entrez en contact avec d'autres cultures et vous vous faites de nombreux nouveaux amis. Être membre d'un TC ouvre plus de portes que vous auriez pu l'imaginer.

Le comité des activités techniques CAT les soutient pendant toute leur durée de vie de cinq ans. Le CAT aide à identifier les sujets prometteurs pour le lancement d'un nouveau TC, et les experts qui pourraient en prendre l'initiative. Ainsi, RILEM peut rester à l'avant-garde de la recherche dans des domaines bien établis, mais aussi dans des domaines émergents comme l'économie circulaire, la durabilité, la fabrication numérique, etc. Le CAT donne des conseils pendant que l'idée d'un nouveau TC prend forme, fait le suivi des activités lorsqu'il est actif et

examine le résultat final. Les organisateurs des clusters conservent la vue d'ensemble des TC dans un domaine donné, afin qu'ils puissent identifier les synergies. L'ATC est en constante évolution et ne se repose jamais.

Cette présentation ne porte que sur les clusters :

Cluster C: Structural Performance and Design

Cluster D: Service Life and Environmental Impact Assessment

Cluster E: Masonry, Timber and Cultural Heritage.

## **RILEM TECHNICAL REPORT 2018-2019**

*RILEM has desired the publication of such a report for a long time but logistical issues prevented this to happen so far. This report aims to turn the spotlight on the hard work of all the current RILEM Technical Committees. It provides an opportunity for them to present their achievements, publications, plans and their progress over the years. The contents presented here, organized per cluster, cover the life span of each TC from its starting date to August 2019. It also provides a list of upcoming reports and TC workshops and events.*

*The TCs form the heart of RILEM, or maybe rather the hands and feet... It is where all the action happens. In a TC, you can discuss with the experts, and experts-to-be, in a specific field. You give and receive advice; you carry out joint research and interlaboratory tests at an international level, you contribute to recommendations that will be used by scientists and practitioners the years to come. In meetings around the world, you discover relevant research tools in your colleagues' labs, you come in touch with other cultures and make many new friends. To be a member of a TC opens more doors than you could have imagined.*

*TAC supports the TCs over the complete course of their 5 years lifetime. TAC helps to identify promising topics for the launch of a new TC, and experts who could take the lead. Hence, RILEM can remain at the forefront of research in established domains, but also in newly emerging fields like circular economy, sustainability, digital fabrication, etc.*

*TAC gives advice while the idea of a new TC is taking shape, follows up the activities when the TC is active and screens the final outcome. The cluster conveners keep the overview of the TCs in a certain area, so that they can identify synergies. TAC is an evolving and never resting committee.*



# BULLETIN D'ABONNEMENT

À retourner aux Éditions ESKA

12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. 01 42 86 55 65 – Fax 01 42 60 45 35

Nom .....

Raison sociale.....

Adresse.....

Code postal ..... Ville ..... Pays .....

Je m'abonne pour l'année 2020 (6 numéros/an) à la revue « *Annales du BTP* » :

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE individuel (TTC) : <b>274 €</b>  | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER individuel (HT) : <b>333 €</b>  |
| <input type="checkbox"/> Tarif FRANCE institution (TTC) : <b>344 €</b> | <input type="checkbox"/> Tarif ETRANGER institution (HT) : <b>396 €</b> |

Je joins :  Un chèque bancaire à l'ordre des Editions ESKA

- Un virement bancaire aux Editions ESKA -  
BNP Paris - Champs Elysées - 30004-00804 - Compte 000101399.56

N° 1 / 2020

# UTILISATION DU MODÈLE PROBABILISTE DE WEIBULL À LA CARACTÉRISATION DE L'ASPECT ALÉATOIRE DE LA RUPTURE EN TRACTION DE PANNEAUX EN BOIS À LAMELLES ORIENTÉES

## USING THE WEIBULL PROBABILISTIC MODEL TO CHARACTERISE THE RANDOM ASPECT OF THE TENSILE FRACTURE OF ORIENTED WOOD PANELS

---

**Bachir REDJEL<sup>1</sup>, Abbas REMADNIA<sup>2</sup> & Myriam CHAPLAIN<sup>3</sup>**

1. Professeur des Universités, Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000, Algérie. bredjel@yahoo.fr

2. Chargé de cours, Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba, 23000 Algérie. abbesremadnia922@yahoo.fr

3. Maître de conférences, I2M - GCE, Institut de Mécanique de Bordeaux, Université Bordeaux 1, Talence, France. myriam.chaplain@u-bordeaux.fr

---

### 1. CONTEXTE

Les hétérogénéités qui coexistent à plusieurs échelles dans le bois et ses dérivés se manifestent par des variations spatiales des caractéristiques physiques et mécaniques de ces matériaux. La variabilité de leur réponse mécanique est un fait expérimental connu et accepté aujourd'hui comme une caractéristique de ces produits. L'influence de cette variabilité sur la fiabilité des structures impose inévitablement d'en tenir compte

dans les calculs du dimensionnement et lors de la conception des pièces réalisées avec ces matériaux et il convient d'intégrer ce paramètre lors de l'élaboration de modèles de prédictions du comportement. L'aspect statistique probabiliste de la rupture de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) est examiné à l'aide d'une analyse des résultats expérimentaux des contraintes ultimes à la rupture mesurées en traction directe sur des éprouvettes prismatiques adaptées au type d'éprouvette standard « Internal Bond IB ». Les valeurs mesurées de

ces contraintes se caractérisent par une forte dispersion donnant ainsi à la contrainte moyenne une valeur déterministe. La mesure de la fragilité, la caractérisation du comportement à la rupture en traction de ces matériaux fibreux ainsi que l'aspect probabiliste de la ruine sont décrits quantitativement à l'aide du modèle probabiliste de Weibull à deux paramètres. Le module de Weibull mesuré égal à 5,75 est faible, traduisant une distribution des défauts très variable d'un échantillon à un autre. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail expérimental qui vise à investiguer le phénomène de dispersion en appliquant le modèle probabiliste à deux paramètres de Weibull.

## 2. INTRODUCTION

Le bois est considéré à juste titre comme un matériau composite dans lequel coexistent de nombreux niveaux d'hétérogénéités à plusieurs échelles, pourvu de défauts, distribués et localisés, de taille plus ou moins importante. Ces hétérogénéités se manifestent par des variations spatiales des caractéristiques physiques et mécaniques du matériau [1, 2]. La variabilité de sa réponse mécanique est un fait expérimental connu et accepté aujourd'hui comme une caractéristique de ce matériau [3]. L'influence de cette variabilité sur la fiabilité des structures impose inévitablement d'en tenir compte dans les calculs du dimensionnement et lors de la conception des pièces réalisées avec ce matériau et il convient d'intégrer ce paramètre lors de l'élaboration de modèles de prédictions du comportement. Ainsi les méthodes statistiques et les modèles probabilistes de plus en plus développés sont utilisés pour analyser des résultats expérimentaux et étudier leur variabilité [4]. Les phénomènes d'endommagement et de ruine dans le bois résultent de micro mécanismes qui se développent sous forme de rupture des fibres et des lamelles, de décohésion dans le plan de collage des lamelles, de dégradation et de cassure dans les liaisons de l'adhésif et de détérioration progressive de la colle. Tous les défauts microstructuraux qui sont à l'origine de l'amorçage des fissures dans le bois sont généralement repartis de manière aléatoire, ce qui confère aux phénomènes de rupture le même caractère [4, 5]. Ainsi les valeurs obtenues lors des essais mécaniques effectués sur des matériaux fragiles ne sont pas seulement significatives des propriétés du matériau mais aussi du degré de sévérité du défaut le plus critique présent dans l'échantillon testé. En général, les travaux consacrés à l'endommagement et à la rupture des matériaux composites et hétérogènes négligent ces aspects et adoptent souvent un point de vue déterministe. Contrairement à cette dernière démarche, l'approche probabiliste permet d'estimer l'importance relative des différentes variabilités influant sur la fiabilité [6].

Cette étude se propose d'analyser les résultats de mesure des contraintes ultimes en traction directe obtenus sur des éprouvettes standards découpées sur des panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) et d'étudier le phénomène de la dispersion en appliquant le modèle probabiliste à deux paramètres de Weibull.

## 3. MODÈLE PROBABILISTE DE WEIBULL

Selon cette théorie, la probabilité de rupture  $P_f$  d'un matériau de volume  $V$  soumis à une distribution uniforme de contrainte  $\sigma$  de traction est donnée par l'équation [7, 8] :

$$P_f = 1 - \exp \left\{ -V \left[ \frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0} \right]^m \right\} \quad (1)$$

$\sigma_0$  : facteur de normalisation sans signification physique.

$\sigma_u$  : contrainte seuil au dessous de laquelle la probabilité de rupture est nulle. En général elle est prise égale à 0 afin d'avoir une définition plus consistante du module de Weibull.

$m$  : facteur décrivant à la fois l'inhomogénéité des tailles des défauts et le degré de dispersion appelé « module de Weibull ».

La solution passe par l'affectation à un niveau de contraintes classées par ordre croissant de 1 à  $N$  au rang  $i$  d'une probabilité de rupture  $P_f$ , fonction de ce rang grâce à l'estimateur donné par l'expression suivante :

$$P_f = i / (N+1) \quad (2)$$

La linéarisation de l'équation (1) de la probabilité de rupture permet de déterminer le paramètre de Weibull en écrivant :

$$\ln \{ \ln [1 / (1 - P_f)] \} = m \cdot \ln \sigma - m \cdot \ln \sigma_0 + \ln V \quad (3)$$

La représentation graphique de  $\ln \{ \ln [1 / (1 - P_f)] \}$  en fonction de  $\ln \sigma$  est une droite de pente  $m$ .

## 4. MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

Les panneaux employés dans cette étude sont de type OSB3, de masse volumique variant entre 600 et 680 Kg/m<sup>3</sup>, de 10 mm d'épaisseur couramment utilisés en construction et composés de lamelles minces de 0,3 à 0,5 mm d'épaisseur et de 8 cm de longueur orientées de résineux provenant de bois d'éclaircies encollées par un liant organique suivant trois couches croisées. La fabrication est réalisée à partir d'un matelas de petits copeaux de bois rectangulaires compressés et encollés avec de la cire et de la résine (95% de bouts et 5% de cire et de la résine). Les éprouvettes ont été découpées et taillées à l'aide d'une scie spéciale à partir de grandes plaques rectangulaires d'OSB. Les surfaces latérales ont été rectifiées et polies à l'aide d'une rectifieuse spéciale afin d'éliminer toutes amorces de fissures qui peuvent se créer lors de l'usinage des échantillons. Ces éprouvettes sont de forme prismatique de longueur 150 mm, de largeur 15 mm et de 10 mm d'épaisseur adaptées au type d'éprouvette standard (Internal Bond) IB selon la norme ISO 524-4 et 5 [9] et conformes aussi aux documents normatifs relatifs aux essais de traction spécifiques aux matériaux composites à renforts fibreux (Norme ASTM D5083 ou NF T57-101 Juin 1977) [10, 11]. La figure 1 illustre un exemple. Les échantillons conditionnés à la température ambiante ont été disposés au niveau des locaux du laboratoire sans aucun traitement particulier. Le taux d'humidité moyen varie entre 9% et 11%.



Figure 1 : Géométrie de l'éprouvette utilisée

Les essais ont été menés en traction monotone directe sur une machine universelle de type Zwick/Roell Z 020 d'une capacité de 20 KN, équipée d'un système d'acquisition automatique des données au cours du chargement et pilotée par un logiciel test-expert (Fig. 2). La vitesse de déplacement de la traverse a été fixée à 5 mm/mn. Tous les essais ont été conduits jusqu'à la ruine totale des échantillons.



Figure 2 : Dispositif de traction directe

Le dispositif d'essai consiste à placer l'éprouvette entre les deux mors de la machine en s'assurant du bon alignement de l'axe longitudinal des éprouvettes avec l'axe de la machine et en évitant l'apparition de tout moment de flexion parasite. Lors de la mise sous contrainte, le mors inférieur reste fixe durant le déplacement vertical du mors supérieur (Fig. 2).

La résistance à la traction  $\sigma$  est calculée par la formule classique de la résistance des matériaux, à savoir  $\sigma = F/S$ . F et S représentent respectivement l'effort enregistré au moment de la rupture et la section transversale de l'éprouvette.

## 5. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 5.1. Courbe charge-déplacement

La figure 3 montre un exemple de courbe charge-déplacement enregistrée au cours de l'essai de traction directe avec une phase quasi linéaire sur une grande partie de l'essai traduisant la réponse élastique du bois suivie d'une très faible partie déviant légèrement de la linéarité caractérisant le développement et l'accroissement de l'endommagement progressif qui s'opère au sein du matériau avant la rupture finale. Il est difficile de localiser avec précision ce point de transition qui dépend de la nature de chaque éprouvette et qui est annonciateur des premiers signes de dommage, ni de quantifier le niveau de contrainte au moment de son apparition.

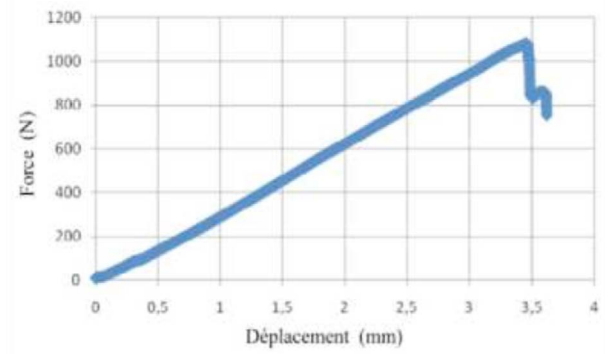


Figure 3 : Exemple de courbe charge - déplacement en traction directe

Cet endommagement se produit et se développe sous forme de rupture des fibres et des lamelles, de décohésion dans le plan de collage des lamelles, de dégradation et de cassure dans les liaisons de l'adhésif, de détérioration progressive de la colle. La figure 4 illustre ces phénomènes.



Figure 4 : Mécanismes de dégradation (délamination longitudinale)

Tous ces phénomènes conjugués et combinés interagissent ensemble et s'accroissent avec l'augmentation de la charge pour provoquer à la fin la ruine du panneau. Le mécanisme de dégradation dominant reste le délamination longitudinale et la décohésion des lamelles. La rupture dans ce type de sollicitation est franche et se produit en général dans la partie centrale calibrée de l'éprouvette.

### 5.2. Valeurs mesurées des contraintes

Le tableau 1 regroupe la valeur moyenne de la résistance à la traction ainsi que les paramètres de mesure de la dispersion. Les valeurs mesurées des résistances à la traction se caractérisent par une dispersion élevée au sein de toute la série.

Tableau 1 : Valeur moyenne de la contrainte de traction  $\sigma$  et paramètres de dispersion

Nombre d'éprouvettes	34
Moyenne arithmétique $\sigma$ (MPa)	6,5
Ecart-type ET (MPa)	1,3
Coefficient de variation CV (%)	20%

Cette dispersion est couramment observée sur les propriétés mécaniques des matériaux hétérogènes et notamment les composites fibreux comme le bois et ses dérivés [12, 13]. Elle est due en partie aux irrégularités des fibres à l'intérieur de l'OSB ainsi qu'à des différences d'état contrôlées par le taux, l'orientation, la longueur et la densité spatiale des lamelles qui sont rarement comparables d'une éprouvette à l'autre. Elle peut aussi être attribuée à une présence de micro défauts de différentes dimensions aléatoirement distribués au sein de la structure de l'OSB. Ainsi la rupture peut être amorcée à différents niveaux de contrainte selon l'orientation, la localisation, les dimensions et le degré de sévérité des microporosités et des discontinuités engendrées par des gonflements partiels et selon le degré de faiblesse de l'interface fibre-colle ainsi que des bouts de fibres. Il faut signaler que dans le cas de l'OSB, la fissuration une fois initiée au niveau du défaut le plus critique se propage de façon instable et catastrophique jusqu'à la ruine de l'échantillon. Ainsi les valeurs obtenues lors des expérimentations réalisées ne sont pas seulement significatives des propriétés du matériau mais aussi du degré de sévérité du défaut le plus critique présent dans l'échantillon testé.

La contrainte à la rupture moyenne de ces panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) utilisée dans les calculs de dimensionnement et de modélisation reste une valeur déterministe qui ne peut constituer une donnée suffisante pour décrire de façon fiable leurs caractéristiques à la rupture. C'est ce qui justifie alors la nécessité d'utiliser des approches statistiques probabilistes de la rupture basée sur la notion de probabilité de rupture acceptable.

### 5.3. Application du modèle de Weibull

L'application du modèle probabiliste à deux paramètres de Weibull au cas de l'OSB de cette étude est traduite par la figure 5 qui montre la probabilité de rupture pour chaque niveau de contrainte atteint dans les essais de traction directe en fonction de la contrainte ultime appliquée.

Comme il apparaît sur cette figure, la courbe représentative est une sigmoïde traduisant les distributions de Weibull des contraintes à la rupture mesurées en traction.

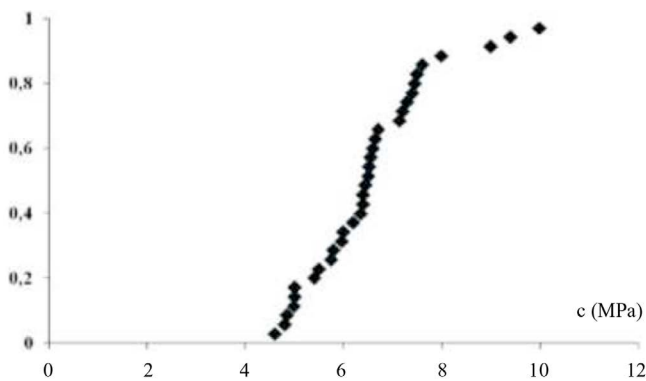


Figure 5 : Probabilité de rupture pour chaque niveau de contrainte

La représentation graphique de l'équation de probabilité linéaire pour la détermination du module de Weibull et de la contrainte

de normalisation est illustrée par la figure 6. Il existe une dispersion des points expérimentaux autour de la droite de régression linéaire de l'équation de probabilité.

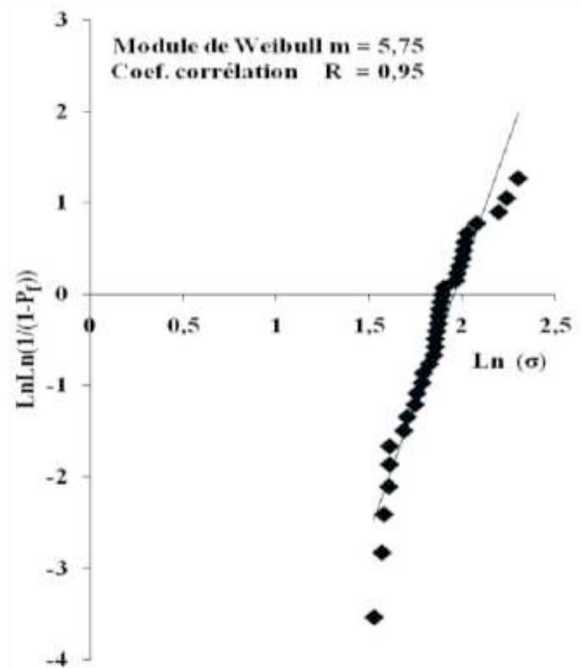


Figure 6 : Représentation graphique de l'équation de probabilité linéaire

Ces écarts des positions des points par rapport à la droite peuvent être dus à l'existence de plusieurs types de défauts révélée par les observations microscopiques et conduisant probablement à plusieurs distributions qui déterminent le comportement de ces matériaux. De nombreuses variables, autres que la taille des défauts qui affecte la résistance de ces matériaux, qui apparaissent et qui se développent durant le processus de rupture comme la densité des pores et des microfissures, leur croissance lente au cours du chargement, les bifurcations des chemins de fissuration au croisement de certains défauts et de certains obstacles et leur contournement, les origines multiples des initiateurs de rupture dans ces matériaux ainsi que les différents modes de ruine accentuent les phénomènes de dispersion autour de la droite de régression linéaire. D'autre part, il est important de signaler que tous ces défauts peuvent aussi ne pas appartenir à la même famille statistique et un mélange de deux ou plusieurs familles statistiques influence forcément les valeurs estimées du module de Weibull comme c'est le cas dans les matériaux granulaires. Les éprouvettes qui se caractérisent surtout par une différence d'état, une variabilité dans leur géométrie due aux méthodes de fabrication et une différence dans leur poids et leur densité sont ainsi nominalement non identiques et par conséquent peuvent aussi appartenir à des populations statistiquement non comparables.

La valeur du module de Weibull égale à 5,75 est faible traduisant la distribution des défauts très variable d'un échantillon à un autre engendrant la forte dispersion relevée sur les mesures expérimentales des contraintes à la rupture en traction de l'OSB. Il est à signaler que le module de Weibull est un indicateur de la dispersion. Plus il est faible, plus cette dispersion est importante.

Pour les faibles valeurs du module de Weibull (en général pour  $m < 20$ ) la distribution des défauts est très variable d'un échantillon à un autre d'où la dispersion des contraintes de rupture. Diverses études concernant les matériaux composites à fibres orientées au hasard, indiquent que plus le module de Weibull est faible, plus la dispersion sur les contraintes à rupture est grande [14-15-16-17-18-19-20]. Les observations et constats rapportées par J. Lamon et N. Godin [4] sur l'étude de l'endommagement et de la rupture de matériaux composites à matrice céramique montrent que lorsque la dispersion est très faible, tous les défauts microstructuraux possèdent la même sévérité. Toutes les fissures se forment alors pour la même force. Cependant, la sévérité des défauts devient différente lorsque la dispersion est significative et les forces nécessaires pour amorcer les fissures successives sont d'autant plus élevées que les défauts sont peu sévères et moins accentués.

Il est intéressant de noter que de nombreuses recherches ont tentées de corréler le module de Weibull aux paramètres de mesure de la dispersion observée sur les contraintes à la rupture et notamment au coefficient de variation. C. Zweben [18] relie le module de Weibull  $m$  au coefficient de variation  $c$  des contraintes à la rupture en traction des matériaux composites par la relation suivante :  $m = 1,2 \cdot c^{-1}$ . R.C. Wetherhold [21] rapporte que les matériaux composites contenant une modeste concentration de fibres montrent une variabilité significative des contraintes à la rupture caractérisée par des valeurs de  $m$  comprises entre 12,9 et 16,6. J. Margetson & B.E. Brokenbrow [22] relie de façon inverse le module de Weibull  $m$  et le coefficient de variation  $c$  des contraintes à la rupture en traction des matériaux composites et proposent la relation empirique suivante :  $m = (1,27 - 0,56 \cdot c) \cdot c^{-1}$ .

**Tableau 2 : Valeurs expérimentales et calculées du module de Weibull**

$\sigma$ [ MPa ]	6,5
$m$ exp.	5,75
$m$ (Zweben)	6
$m$ (Margetson & Brokenbrow)	5,79
Wetherhold	12,9 - 16,6

Le tableau 2 rassemble la valeur du module de Weibull  $m$  mesurée expérimentalement et celles calculées à partir des relations empiriques citées précédemment.

La valeur expérimentale de  $m$  mesurée dans le cas des panneaux en bois OSB est inférieure aux valeurs calculées par les différents modèles. Cependant, comme il apparaît sur le tableau 2, la relation de Margetson et Brokenbrow ainsi que celle de C. Zweben aboutissent à des valeurs calculées de  $m$  relativement comparables à celle mesurée expérimentalement. Il est à indiquer que le modèle de Wetherhold surestime la valeur du module de Weibull. Ce modèle ainsi que celui proposé par L.J. Broutman & R.H. Krock [31] pour les matériaux composites à base de ciment renforcé de fibres de verre reposent sur l'hypothèse d'une dispersion se situant à l'ordre de 10%.

Ces différences s'expliquent surtout par le degré élevé de la dispersion relevée sur les valeurs mesurées des contraintes à la rupture en traction des panneaux en OSB étudiés. Cette dispersion dont les origines sont complexes et multiples est la conséquence aussi de la présence de défauts surfaciques sur la peau des éprouvettes et de défauts volumiques au cœur de ces dernières. Ces défauts et ces discontinuités qui sont de différentes formes, tailles, orientations et sévérités appartiennent à des populations statistiques non comparables. Par conséquent tous ces paramètres conjugués à d'autres inhérents au caractère hétérogène et complexe des panneaux en bois à lamelles fibreuses et orientées ne peuvent rendre compte d'une bonne application des corrélations appliquées.

## 6. CONCLUSION

Un degré élevé de la dispersion est relevé sur les valeurs des contraintes à la rupture mesurées en traction directe sur des éprouvettes de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB). Cette dispersion couramment observée sur ces matériaux hétérogènes et fibreux est acceptée aujourd'hui comme une de leur caractéristique spécifique et est la conséquence de la présence de défauts d'origines multiples repartis au sein des surfaces et du volume des échantillons. Ces défauts de différentes formes, tailles, orientations et sévérités peuvent appartenir à des populations statistiques non comparables.

Malgré la forte dispersion observée sur les valeurs mesurées des contraintes à la rupture en traction de l'OSB, le modèle statistique de Weibull à deux paramètres est d'application satisfaisante et semble ainsi être adapté à la description de l'aspect probabiliste du comportement à la ruine de ce matériau hétérogène et fibreux.

Cependant, cette forme bi paramétrique du modèle de Weibull est appelé à être remplacée par celle à trois paramètres plus précise et certainement plus fiable dans la description probabiliste des phénomènes de ruine des matériaux composites fibreux comme le bois, ce qui nécessite de faire intervenir la notion de contrainte seuil «  $\sigma_u$  ».

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ensemble des personnels techniques, administratifs, et enseignants chercheurs de l'unité sciences du bois et des bio polymères USB2, rebaptisée GCE/I2M de l'Université Bordeaux 1 (France) pour leur implication, leur collaboration fructueuse et notamment pour la préparation, l'emballage et l'envoi sécurisé des plaques en OSB. Les essais ont été effectués au sein de l'équipe Mécanique des Matériaux du Laboratoire de Génie Civil de l'Université Badji Mokhtar de Annaba (Algérie), dans le cadre d'un accord de coopération scientifique entre les deux institutions. Le Professeur Mouloud Merzoud chef d'équipe au Laboratoire de Génie Civil de l'Université Badji Mokhtar de Annaba est à remercier pour son aide et sa contribution lors de la pratique des essais de traction.

## RÉFÉRENCES

- [1] P. Castera, D. Breysse, Mise en œuvre d'approches probabilistes pour décrire l'endommagement et la rupture de bois reconstitués, *Revue des composites et des matériaux avancés*, V. 8, numéro hors série/1998, Hermès, (1998) 137-152.
- [2] I. Aydin, G. Colakoglu, S. Colak, C. Demirkir, Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood, *Building and Environment* 41 (2006)1311-1316.
- [3] B. Redjel, A. Remadnia & M. Chapelain, Endommagement et comportement à la rupture au cisaillement de voile de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) sous différents environnements in Proceeding du 21<sup>e</sup> Congrès Français de Mécanique CFM'13 Bordeaux 26 au 30 août 2013 France.
- [4] J. Lamon & N. Godin, Approche statistique-probabiliste de l'endommagement et de la rupture des composites à matrice céramique, *Revue des composites et des matériaux avancés*, V. 8, numéro hors série/1998, Hermès, (1998) 23-50.
- [5] P. Castera, D. Breysse, Mise en œuvre d'approches probabilistes pour décrire l'endommagement et la rupture de bois reconstitués, *Revue des composites et des matériaux avancés*, Vol. 8, Numéro hors série/1998, Hermès, (1998) 137-152.
- [6] F. Richard, J. Rousseau, L. Ferry & D. Perreux, Optimisation du dimensionnement d'une structure composite : prise en compte du risque de défaillances, *Revue des composites et des matériaux avancés*, V. 8, numéro hors série/1998, Hermès, (1998) 167-188.
- [7] W. Weibull, A statistical distribution function of wide applicability, *J. Applied Mechanics*, Vol. 18, 1951.
- [8] S. Achouri, B. Redjel, Etude expérimentale et analyse probabiliste du comportement à la rupture en traction de matériaux composites verre-perlon-acrylique à usage orthopédique, Synthèse, *Revue des sciences et de la technologie*, éditée par l'Université Badji Mokhtar d'Annaba Algérie, N° 29, Octobre (2014), 59-76.
- [9] P. Krawczak, Essais des plastiques renforcés, Techniques de l'ingénieur, traité plastiques et composites, AM5 405, p. 8, 26 pages, Doc. 1-10.
- [10] D 5083-02, Tensile properties of reinforced thermosetting plastics using straight-sided specimens ASTM international - West Coughshocken, PA.
- [11] L.C. Bank, Composites for constructions: structural design with FRP materials Hoboken, N.J. : John Wileyand Sons, (2006).
- [12] A. Remadnia, B. Redjel & M. Chapelain "Influence of the environmental effect on the rolling shear behavior of wooden panels of oriented strand boards (OSB)", first international conference on innovative materials and techniques CIMT 2012, November 12-15, 2012 Hammamet (Tunisia).
- [13] A. Remadnia, B. Redjel, M. Chapelain, Comportement expérimental aux cisaillements roulant et de voile de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) conditionnés sous différents environnements, Synthèse, *Revue des sciences et de la technologie*, éditée par l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, Algérie, N° 33, Octobre (2016) 135-152.
- [14] B. Redjel, F.X. de Charentenay, « Application des statistiques de Weibull à la caractérisation des résines phénoliques et des matériaux composites SMC », *Matériaux et Techniques*, N° 10-11, Juillet- Aout, (1987) 421-424.
- [15] M. R'mili, T. Bouchaour, P. Merle, Détermination des paramètres de Weibull à partir d'essais sur mono mèches, *Comptes Rendus de JNC 9*, Volume 2, publiés par J.P. Favre et A. Vautrin, Saint- Etienne 22-24 Novembre 1994, pp. 1013-1018.
- [16] J.J. Reymann, Caractérisation de céramiques destinées aux sollicitations dynamiques, *Matériaux & Techniques*, Avril-Mai (1985) 133-140.
- [17] B. Tolba, P. Becker, G. Pluvinage, Ténacité en dynamique d'une alumine, *Annales de Chimie*, France, 10, (1985) 331-334.
- [18] C. Zweben, The effect of stress nonuniformity and size on the strength of composite materials, *Composite Technology Review*, Vol. 3, (1981) 23-26.
- [19] J.J. Broutman, R.H. Krock, Modern composite materials, Addison-Wesley Publishing Co., Menlo Park, California, USA, (1967) p. 52.
- [20] B. Redjel, D. Djeghader, Application du modèle de Weibull à la caractérisation de l'aspect probabiliste de la rupture en choc des matériaux composites, 1<sup>re</sup> Conférence internationale sur les mines et la métallurgie CI2M'10, Annaba 10-12 Mai 2010.
- [21] R.C. Wetherhold, Statistical distribution of strength of fiber reinforced composite materials, *Polymer Composites*, Vol. 7, N° 2, (1986) 116-123.
- [22] J. Margetson, B.E. Brokenbrow, Brittle tensile failure characteristics of propellants derived from flexural tests, *Propellants and explosives*, 5, (1980) 151-157.

# STRATÉGIE OPTIMALE DE SÉLECTION D'UN REVÊTEMENT POUR LA CONSTRUCTION DE ROUTES FORTEMENT SOLLICITÉES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE – CAS DE L'AUTOROUTE DU NORD EN CÔTE D'IVOIRE

---

## OPTIMAL STRATEGY FOR SELECTION OF A PAVEMENT CONSTRUCTION MATERIAL FOR HEAVY VOLUME ROADS IN SUB-SAHARAN AFRICA - CASE OF THE AUTOROUTE DU NORD IN CÔTE D'IVOIRE

---

**Nahouo SORO & Gabriel J. ASSAF**

Département de génie de la construction, École de technologie supérieure  
1100, Rue Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada, H3C 1K3  
(nahouo.soro.1@ens.etsmtl.ca) (gabriel.assaf@etsmtl.ca)

---

### 1. INTRODUCTION

Les infrastructures routières sont nécessaires pour la communication, le commerce et de façon plus générale pour la croissance de tout pays. Elles constituent l'un des premiers indicateurs du niveau de développement d'un pays.

Toutefois, la construction des infrastructures routières nécessite la mobilisation d'importantes sommes pour leur

financement dans tous les pays du monde. Les coûts de la construction routière ont monté en flèche depuis quelques années et les budgets s'y rapportant n'ont pas toujours augmenté au même rythme (Langlois, 1982). Les liaisons internationales sont généralement des routes à faible débit. Selon Ken *et al.*, 2008, la vitesse du trafic sillonnant ces routes a été dramatiquement réduite (généralement à moins de 10 km

par heure) par l'engorgement administratif au niveau des frontières et des ports (Ken *et al.*, 2008).

Dans les pays en développement la rareté des fonds nécessaires au financement des routes est une situation à prendre en compte dans la conception et le choix des revêtements des chaussées routières. À cette difficulté de financement s'ajoute, pour l'Afrique subsaharienne, le manque d'entretien des routes et les contraintes liées au climat tropical. Le niveau d'entretien pratiqué par les pays est généralement faible si l'on se réfère à l'étude réalisée par Ken *et al.*, 2008, et les chaussées soumises à de très fortes températures, vieillissent prématurément. En outre la pratique de la surcharge routière non encore maîtrisée par les pays vient accélérer la dégradation des routes. Au final, les routes africaines sont vieillissantes et peu entretenues et la construction de nouvelles routes se fait attendre. Les effets combinés des fortes sollicitations et des températures élevées particulièrement sur les routes ou autoroutes assurant les liaisons internationales sont néfastes à ces corridors commerciaux qui jouent un rôle de haute importance pour l'économie des pays desservis.

Face à cette situation, il faut recourir à une nouvelle approche pour le choix de la chaussée à construire. Les pays occidentaux ont déjà fait le pas en construisant des routes en béton armé ou non armé ou encore en béton compacté au rouleau (BCR). Aux Etats-Unis, Selon les statistiques de la FHWA, 94 % des routes publiques sont revêtues en enrobé bitumineux et seulement 6 % sont revêtues en béton (Federal Highway Administration, 1995). En Afrique subsaharienne, quelques pays comme l'Afrique du Sud et Madagascar font figure de pionniers. En Côte d'Ivoire comme dans l'espace UEMOA, il n'existe pas de routes en béton, particulièrement pour les chaussées fortement sollicitées. Pour faire face aux effets de la surcharge routière et des dégradations prématurées, l'UEMOA a adopté le règlement 14 qui vise à normaliser la charge à l'essieu et le gabarit des véhicules roulant sur le réseau routier de l'espace UEMOA. La charge à l'essieu actuellement pratiquée peut atteindre 20 tonnes versus 8-12 tonnes en Amérique du nord. Le règlement 14 de l'UEMOA prévoit une charge à l'essieu simple de 6 tonnes (Le conseil des ministres de l'UEMOA, 2005).

Cet article effectue une étude comparative des chaussées traditionnellement construites en enrobé bitumineux et les chaussées en béton. Les chaussées en béton couramment réalisées dans les pays développés sont de type dalles goujonnées en béton armé (JRCP), dalles goujonnées en béton non armé (JPCP), dalles en béton armé continu (CRCP) ou encore le béton compacté au rouleau (BCR). Le modèle CRCP ou BAC est généralement adopté pour les chaussées fortement sollicitées (Thébeau, 2004). Cette étude se limitera à la comparaison des modèles de chaussées en enrobé bitumineux (EB ou AC) et en béton armé continu (BAC ou CRCP). La comparaison des coûts initiaux et des coûts globaux à l'exception des coûts environnementaux comme cela se fait couramment en Afrique subsaharienne, sera faite sur un tronçon de l'autoroute du nord en Côte d'Ivoire l'un des axes routiers les plus sollicités eu égard au rôle majeur qu'il joue dans le commerce sous régional. L'étude comparative se fera d'abord au niveau du dimensionnement et ensuite à celui de l'analyse économique à l'aide du logiciel HDM-4.

## 2. LOCALISATION DE LA ZONE DU PROJET

Le projet est situé dans l'espace de l'union monétaire ouest africaine (UEMOA). Son importance pour le commerce sous régional se justifie par le fait qu'il relie le port d'Abidjan en Côte d'Ivoire à l'arrière-pays en permettant le transport notamment des marchandises entre la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Mali et le Niger tel que présenté à la Figure 1.



Figure 1 : Localisation du site du projet  
Tirée de *atoo.ci* (2017)

## 3. MÉTHODOLOGIE

L'étude a été réalisée sur un tronçon de 50 km de l'autoroute du Nord en Côte d'Ivoire se décomposant en 3 sections homogènes. Afin de comparer les coûts de construction des deux options de chaussée, l'enrobé bitumineux et le béton armé continu, il a été procédé aux dimensionnements des structures de chaussées dans chaque section à partir des données du terrain. Le dimensionnement obtenu à l'aide du catalogue des chaussées a ensuite été optimisé en utilisant le logiciel Alizé-LCPC v1.3. Cette optimisation permet de vérifier les contraintes mécaniques de la structure et d'ajuster au besoin le dimensionnement. L'évaluation économique des deux options de chaussées a par la suite été faite sur une période d'analyse de 20 ans. Les indicateurs économiques déterminés à savoir la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI) ont permis d'apprécier la viabilité économique des projets étudiés. Le logiciel HDM-4 Version 2.0 de l'association mondiale de la route a été utilisé pour déterminer pour chaque section homogène et pour chaque scénario de trafic les indicateurs économiques de l'analyse.

Les trois sections homogènes étudiées sont la section Banco-Gesco, la section Gesco-Attinguié et la section Attinguié-PK 50. Les figures 2, 3 et 4 présentent respectivement une vue de leur état actuel avant les aménagements en cours d'études.



**Figure 2 : Section Banco-Gesco**



**Figure 3 : Section Gesco-Attinguié**



**Figure 4 : Section Attinguié-PK 50**

### 3.1. Dimensionnement des chaussées

#### 3.1.1. Les paramètres de la conception

a) Les données du sol

Le sol d'infrastructure a été caractérisé par le California Bearing Ratio (CBR) pour le dimensionnement des chaussées flexibles et le module de réaction du sol d'infrastructure (K) pour les chaussées rigides. Le CBR a été obtenu par un test de pénétration du sol et le module de réaction K a été quant à lui obtenu après un essai de chargement de plaque.

Tableau 1 : Évolution du DJMA des poids lourds (véhicules / jours)

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BANCO-GESCO	750	3 500	6 300	9 100	11 900	14 700
GESCO-ATTINGUIÉ	534	2 669	4 804	6 939	9 074	11 209
ATTINGUIÉ-PK50	438	2 188	3 938	5 688	7 488	9 188

#### 3.1.2. Les outils utilisés

a) Le Catalogue de dimensionnement des structures types du SÉTRA-Lcpc édition 1998

Le dimensionnement des chaussées est généralement fait en zone subsaharienne de l'Afrique à l'aide de catalogues de chaussées. Il existe différents types de catalogues selon les régions. On peut citer les règles techniques pour la construction routière dans les pays africains de la zone intertropicale et le guide Overseas Road Note 31 à titre d'exemple. Dans cette étude, en vue de pouvoir dimensionner les chaussées en enrobé (chaussées flexibles) et en béton (chaussées rigides) avec le même guide, le catalogue des structures types de chaussées neuves du service d'études techniques des routes et autoroutes (SÉTRA) et du laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) version 1998 en France, a été utilisé. Ce guide est par ailleurs relié au logiciel Alizé-LCPC.

b) Le Logiciel Alizé-LCPC v 1.3.0

Le logiciel Alizé-LCPC v 1.3.0 est basé sur la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussées. Cette méthode a été développée par le LCPC et le SÉTRA. Tel que précisé dans le manuel d'utilisation du logiciel, cette méthode constitue la méthode règlementaire de dimensionnement des chaussées du réseau routier national français et adopté par ailleurs par de nombreuses maîtrises d'ouvrages. Le logiciel Alizé-LCPC v 1.3.0 est un logiciel de type mécaniste. Il a été utilisé pour vérifier le dimensionnement fait à l'aide du catalogue puis pour optimiser les structures par le calcul de variantes de sections.

b) Le trafic

Les données de trafic ont été obtenues par une campagne en amont pour déterminer le DJMA du projet selon les données de 2016. Le trafic des poids lourds a été pris comme variable indépendante dans cette étude. Il varie de 4 % d'un scénario de trafic au suivant. Les scénarios de trafic correspondent aux variations de 1 %, 5 %, 9 %, 13 %, 17 % et 21 % pour chaque section homogène de route. Le Tableau 1 récapitule les données de trafic de poids lourds utilisées.

### 3.2. L'évaluation économique sur le cycle de vie

#### 3.2.1. Les outils utilisés

a) Le logiciel HDM-4 v2.0

Le logiciel HDM-4 v2.0 de l'association mondiale de la route (AIPCR) est l'un des outils les plus adaptés à l'analyse des chaussées particulièrement pour les pays en voie de développement. Il a été utilisé pour faire une analyse des coûts du cycle de vie (ACCV / LCCA). Les résultats obtenus ont permis de comparer le comportement des deux options de chaussées sur le cycle de vie dont la période d'analyse adoptée est de 20 années.

b) Les alternatives envisagées (GL, EB, BAC)

Les deux modèles de chaussées sont comparés à la chaussée en graveleux latéritique (GL), non revêtue, prise comme l'alternative de base. On obtient les alternatives suivantes analysées par le logiciel HDM-4 v2.0 :

Alternative de base : Route en graveleux latéritique (GL)

Alternative 1 : Route en enrobé bitumineux (EB ou AC)

Alternative 2 : Route en béton armé continu (BAC ou CRCP)

c) Les normes d'entretien

Les normes d'entretien utilisées sont résumées dans les Tableaux 2, 3 et 4, respectivement pour la chaussée en graveleux latéritique, en enrobé et la chaussée en béton armé continu.

Tableau 2 : Normes d'entretien de la chaussée en graveleux latéritique (GL)

Option	Opération de travaux	Critères
1	Rechargement à 50 mm	Epaisseur de grave $\leq 100 \text{ m}^2$ Intervalle $\geq 5, \leq 99$ ans
2	Reprofilage tous les 6 mois	Intervalle $\geq 360$ jours
3	Point à temps quand ép. $< 100$ mm	Epaisseur de grave $\leq 150$ mm Intervalle $\geq 2, \leq 99$ ans Quantité maximum $\leq 150 \text{ m}^3/\text{Km}/\text{An}$

**Tableau 3 : Normes d'entretien de la chaussée en enrobé (BB)**

Option	Opération de travaux	Critères
1	Reconstruction à 10 IRI	Uni $\geq$ 10 IRI
2	Rechargement 50 mm à 6 IRI	Uni $\geq$ 6 IRI et Uni $\leq$ 10 IRI Intervalle $\geq$ 5 ans
3	Enduit à 15 % fissuration	Fissuration totale $\geq$ 15 % Intervalle $\geq$ 5 ans, Uni $\leq$ 10 IRI
4	Réparation nids de poules	Nids de poules $\geq$ 50 nb / Km Intervalle $\geq$ 1, $\leq$ 99 ans, Uni $\leq$ 12,5 IRI

**Tableau 4 : Normes d'entretien de la chaussée en béton armé continu**

Option	Opération de travaux	Critères
1	Rechargement en béton collé	Uni $\geq$ 6 IRI
2	Réparation en pleine épaisseur	Uni $\geq$ 4 IRI
3	Dépendances	Intervalle $\geq$ 1, $\leq$ 99 ans

#### d) La calibration du logiciel

Afin d'obtenir les résultats les plus précis il est nécessaire de calibrer le logiciel HDM-4 v2.0. Il est adapté pour les analyses des coûts sur le cycle de vie des chaussées dans les pays en voie de développement. Toutefois, pour avoir des résultats fiables, le logiciel doit être calibré aux conditions réelles du pays où la chaussée devra être réalisée (Tsunokawa & Ul-Islam, 2003). Ainsi les paramètres économiques, techniques et environnementaux du pays et du site du projet ont été utilisés à cette fin.

#### 3.2.2. Rentabilité économique des projets

Il existe diverses approches de calcul de la viabilité économique des investissements routiers. La plupart des approches sont issues de l'analyse économique des projets. Ces différentes approches de rentabilité sont basées sur l'analyse du coût du cycle de vie (ACCV ou LCCA). Une analyse des coûts du cycle de vie avec le logiciel HDM-4 déterminera les indicateurs économiques à savoir la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI). Ces indicateurs seront exploités. Cela implique l'actualisation de toutes les dépenses futures au présent, en utilisant un taux d'actualisation approprié.

La méthode de la valeur actuelle nette, malgré les inconvénients qui lui sont associés, est considérée comme celle qui donnera toujours la meilleure réponse par rapport aux autres méthodes (Haas, Hudson R., & Zaniewski, 1994; Wohl & Tversky, 1967). Cette méthode est habituellement utilisée pour les projets mutuellement exclusifs.

La méthode du taux de rendement interne, utilisée par un certain nombre d'administrations routières, tient compte à la fois des coûts et des avantages et détermine le taux d'actualisation auquel les coûts et les avantages d'un projet sont égaux (Haas *et al.*, 1994). La méthode du taux de rendement interne présente un avantage majeur dans la mesure où les résultats sont bien compris par la plupart des gestionnaires et décideurs. Elle a été favorisée par plusieurs administrations routières. Cependant, il peut arriver que la méthode du taux de rendement interne donne des réponses ambiguës (Wohl & Tversky, 1967).

#### 3.2.3. La comparaison des coûts initiaux et globaux du cycle de vie

À partir du dimensionnement réalisé une évaluation des coûts initiaux de construction avec les prix d'une entreprise locale a été faite. Les résultats obtenus ensuite par l'analyse économique du HDM-4 v2.0 permettent d'obtenir les coûts globaux sur le cycle de vie de 20 ans. Les graphiques sont élaborés pour permettre une analyse comparative des deux types de chaussées telle qu'expliquée dans les sections suivantes.

## 4. RÉSULTATS ET ANALYSE

Cette section est consacrée à la présentation des résultats obtenus et à leurs analyses. La section 5 sera consacrée à leurs discussions.

### 4.1. Dimensionnement des chaussées

En tenant compte de la variation du DJMA des poids lourds de 1 % à 21 % de croissance, le dimensionnement de la chaussée a été fait pour les deux options envisagées. Les structures de chaussées obtenues sont données dans les tableaux 5 et 6 qui suivent pour chaque section de route. Ces différentes épaisseurs de couches reposent sur une plateforme d'épaisseur 30 cm au-dessus du sol d'infrastructure pour les deux types de chaussées, de classe PF2. Les couches de base et de forme sont constituées de grave bitume de classe 3 (GB3) pour la chaussée en enrobé bitumineux (EB). La chaussée en béton armé continu (BAC) a une couche de base constituée en béton de ciment de classe 2 (BC2).

#### - Section 1 : Banco-Gesco

Les Tableaux 5 et 6 donnent respectivement le dimensionnement selon l'option EB et l'option BAC pour la section 1.

La couche de surface en EB varie de 8 à 10 cm si le DJMA des poids lourds augmente de 1 % à 21 %. Le dimensionnement ne change pas entre les tranches de DJMA de 5 % à 17 %. Les couches de base et de fondation ne changent pas également pour cette même tranche.

La structure de chaussée en BAC est la même respectivement pour les plages de DJMA des poids lourds de 1 % à 5 %, de 9 % à 13 % et de 17 à 21 %. La dalle de béton armé continu varie de 18 à 20 cm d'épaisseur.

**Tableau 5 : Épaisseur des couches de la chaussée en EB**

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BB (cm)	8	9	9	9	9	10
GB3 (cm)	15	20	20	20	20	22
GB3 (cm)	15	20	20	20	20	22

**Tableau 6 : Épaisseur des couches de la chaussée en BAC**

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BAC (cm)	18	18	20	20	20	20
BC2 (cm)	18	18	20	20	20	20

### - Section 2 : Gesco-Attingué

Les Tableaux 7 et 8 donnent respectivement le dimensionnement selon l'option EB et l'option BAC pour la section 2.

La couche de surface en EB varie de 8 à 10 cm si le DJMA des poids lourds augmente de 1 % à 21 %. Le dimensionnement ne change pas entre les tranches de DJMA de 5 % à 17 %. Les couches de base et de fondation augmentent dans la plage de 5 % à 9 % puis dans la plage de 13 % à 21 %.

La structure de chaussée en BAC est la même respectivement pour les plages de DJMA des poids lourds de 5 % à 9 % et de 13 % à 21 %. La dalle de béton armé continu varie de 16 à 20 cm d'épaisseur.

**Tableau 7 : Épaisseur des couches de la chaussée en EB**

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BB (cm)	8	9	9	9	9	10
GB3 (cm)	13	18	18	20	20	20
GB3 (cm)	13	18	18	20	20	20

**Tableau 8 : Épaisseur des couches de la chaussée en BAC**

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BAC (cm)	16	18	18	20	20	20
BC2 (cm)	18	18	18	20	20	20

### - Section 3 : Attingué-PK50

Les Tableaux 9 et 10 donnent respectivement le dimensionnement selon l'option EB et l'option BAC pour la section 3.

La couche de surface en EB varie de 8 à 10 cm si le DJMA des poids lourds augmente de 1 % à 21 %. Le dimensionnement ne change pas entre les tranches de DJMA de 5 % à 13 %. Les

couches de base et de fondation augmentent dans la plage de 5 % à 13 % puis dans la plage de 17 % à 21 %.

La structure de chaussée en BAC est la même respectivement pour les plages de DJMA de 5 % à 9 % et de 13 % à 21 %. La dalle de béton armé continu varie de 16 à 20 cm d'épaisseur.

**Tableau 9 : Épaisseur des couches de la chaussée en EB**

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BB (cm)	8	9	9	9	9	10
GB3 (cm)	13	18	18	18	20	20
GB3 (cm)	13	18	18	18	20	20

**Tableau 10 : Épaisseur des couches de la chaussée en BAC**

DJMA	1 %	5 %	9 %	13 %	17 %	21 %
BAC (cm)	16	18	18	20	20	20
BC2 (cm)	18	18	18	20	20	20

## 4.2. Analyse comparative des chaussées en EB et en BAC à l'aide du logiciel HDM-4 V2.0

### 4.2.1. Taux de dégradation des chaussées en EB et en BAC sous l'effet du trafic

Les dégradations présentées dans cette section ainsi que leur évolution en fonction du trafic des poids lourds sont celles d'un trafic lourd faible correspondant au scénario de variation de 1 % et celles d'un trafic lourd élevé correspondant au scénario de variation de 21 %.

#### - Section 1 : Banco-Gesco

Les Figures 5 et 6 montrent le taux de dégradations de la chaussée par la mesure de l'IRI tout au long de la période d'analyse, respectivement pour le trafic faible et le trafic élevé.

Les deux options de chaussées ont une performance sensiblement identique en termes d'IRI sur les dix premières années dans le cas de trafic de poids lourds faible. Alors que la chaussée en béton armé continu conserve le même IRI, celui de la chaussée en enrobé va varier de 3 à 4 m/km à la fin de la période d'analyse.

Dans le cas d'un trafic fort comme présenté à la Figure 6, l'IRI de la chaussée en enrobé bitumineux se détériore dès les trois premières années. Le niveau de l'IRI de l'option en enrobé bitumineux atteint un niveau de 6 m/km avant de redescendre à son niveau initial après un traitement en 2032 soit 15 ans après la mise en service de la chaussée. Le niveau de l'IRI pour l'option en béton armé continu ne change pas tout au long des 20 années d'analyse.

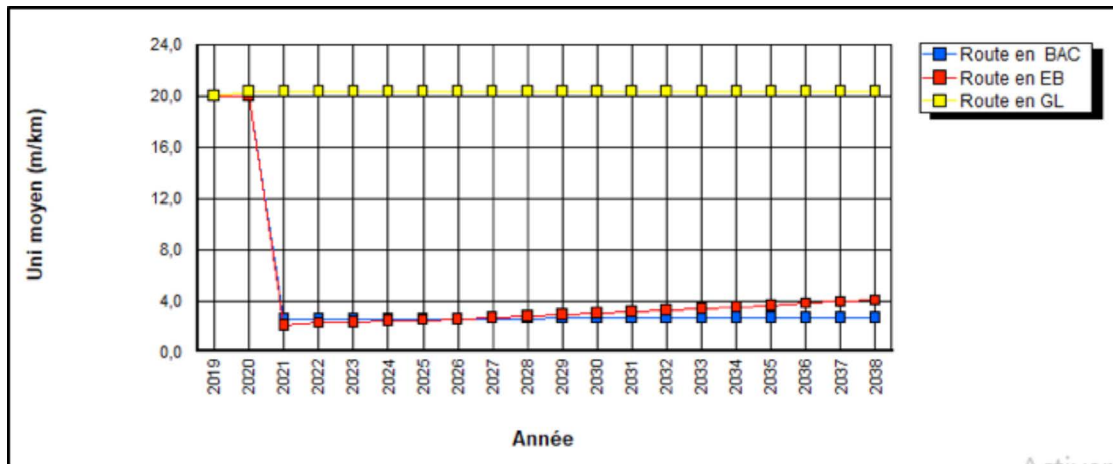


Figure 5 : Évolution de l'IRI-Trafic lourd faible

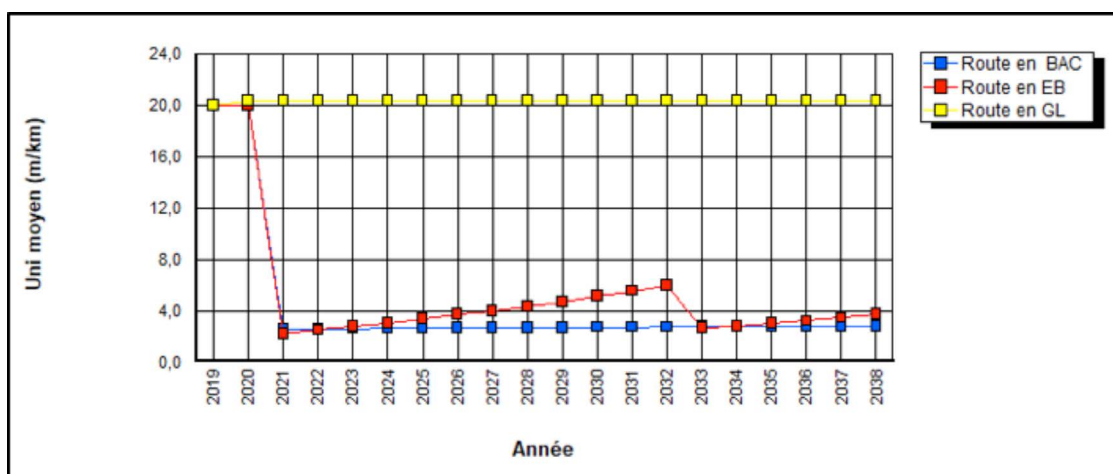


Figure 6 : Évolution de l'IRI-Trafic lourd élevé

**- Section 2 : Gesco-Attingüé**

Dans le tronçon 2 et pour un trafic lourd faible tel qu'indiqué à la Figure 7 le fonctionnement des chaussées sera sensiblement identique sur près de douze (12) ans pour le trafic lourd faible. L'IRI de l'option en enrobé bitumineux va se dégrader pour atteindre la valeur de 4,0 m/km alors qu'il reste constant pour l'option en béton armé continu (Figure 7).

Dans le cas de trafic lourd fort comme présenté à la Figure 8, l'option en enrobé bitumineux reçoit un traitement seize (16) ans après sa mise en service pour ramener l'IRI à son état initial. Le comportement de la chaussée en béton armé continu reste constant. L'IRI ne varie pas sur toute la période d'analyse (Figure 8).

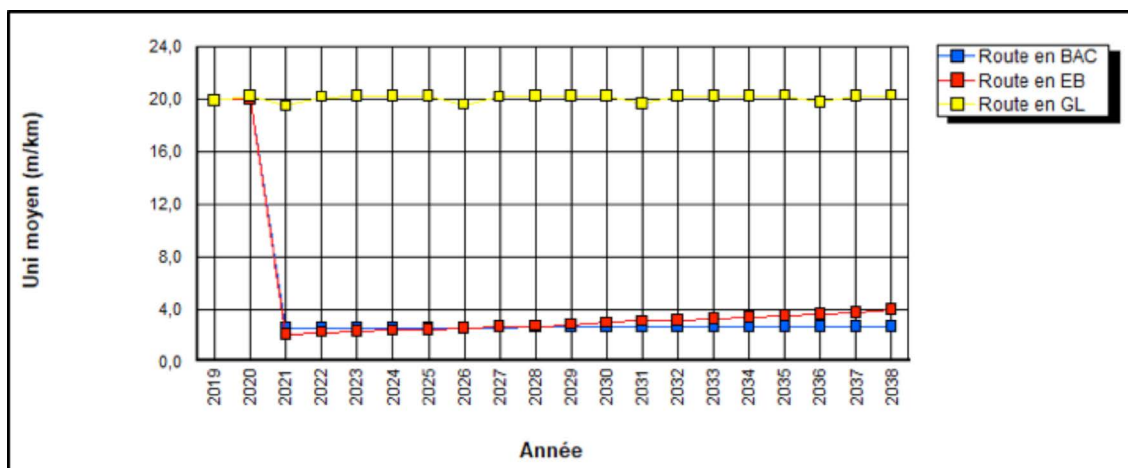


Figure 7 : Évolution de l'IRI - Trafic lourd faible

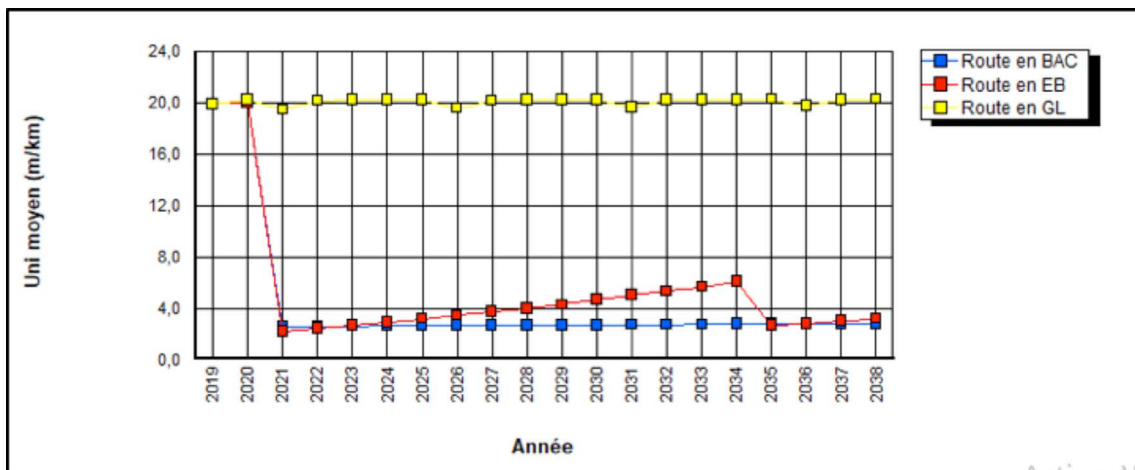


Figure 8 : Évolution de l'IRI-Trafic lourd élevé

### - Section3 : Attinguié-PK50

Les tendances observées et présentées pour un trafic lourd faible à la Figure 9 et pour un trafic lourd fort à la Figure 10, sont les mêmes que celles obtenues sur les deux premières sections. Sur une première période de seize (16) ans, le fonctionnement est le même pour les deux options avant que l'IRI de l'option

en enrobé bitumineux ne s'élève pour atteindre une valeur de 4,0 m/km.

Un traitement effectué à la seizième année remet l'IRI à son état initial pour le trafic lourd fort et pour la chaussée en enrobé bitumineux. Comme pour les tronçons précédents, l'IRI de l'option en béton armé continu ne change pas (Figure 10).

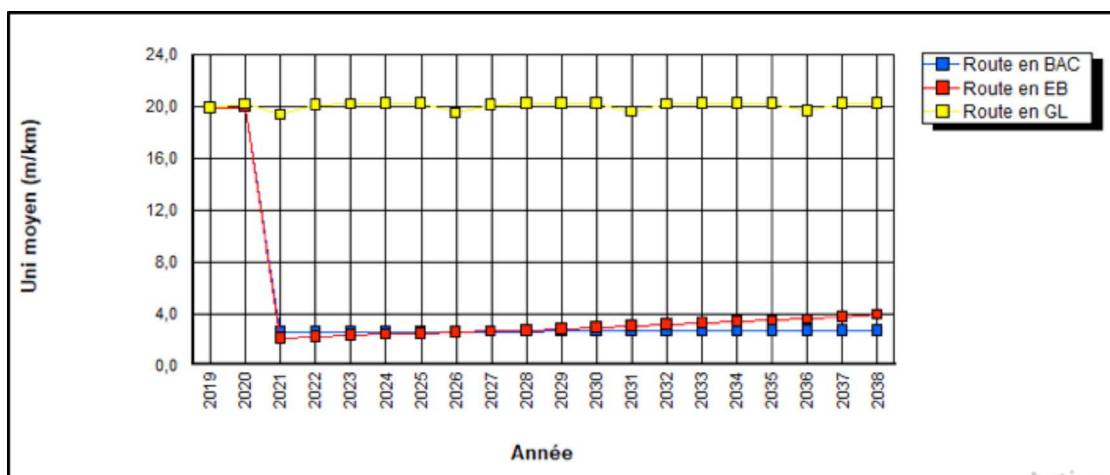


Figure 9 : Évolution de l'IRI-Trafic lourd faible

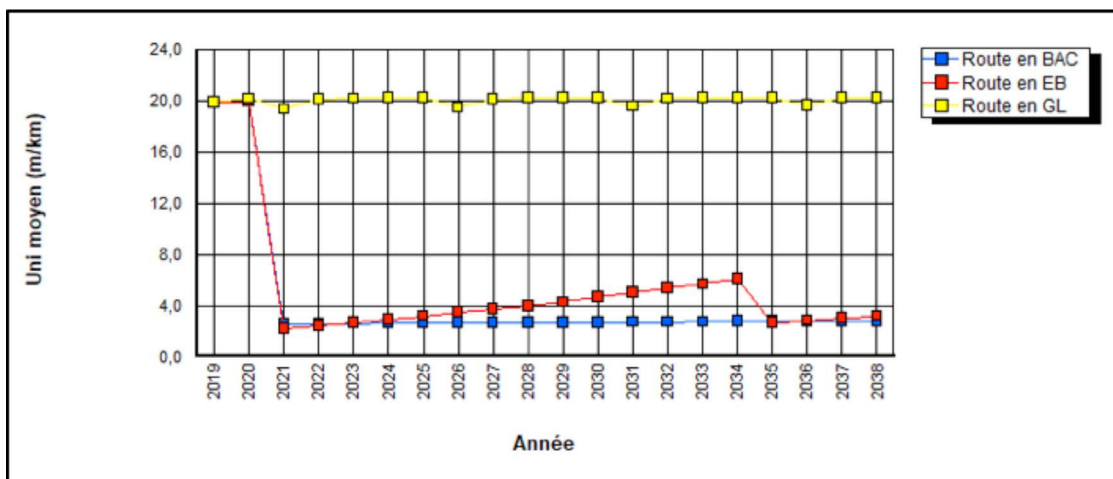


Figure 10 : Évolution de l'IRI-Trafic lourd élevé

#### 4.2.2. Coûts initiaux (CI)

##### - Section 1 : Banco-Gesco

Dans la section 1 dont le DJMA total est 70 000 véhicules / jours, la Figure 11 compare les coûts initiaux de construction pour chaque scenario de DJMA des poids lourds. Le coût initial de la chaussée en béton armé continu est supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux. Cet écart s'agrandit au fur et à mesure que le DJMA des poids lourds augmente et représente une valeur moyenne de 20 %. L'écart entre les coûts initiaux est plus élevé si le DJMA des poids lourds est plus élevé et donc si la chaussée est fortement sollicitée.

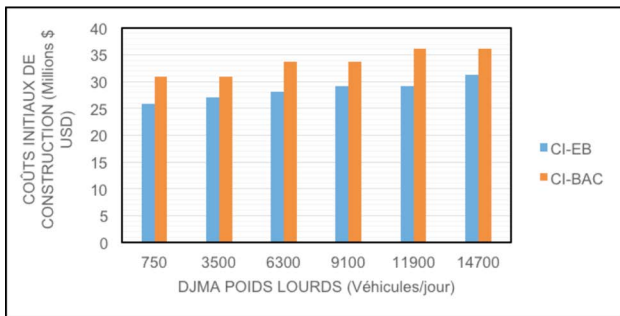


Figure 11 : Coûts initiaux des chaussées

##### - Section 2 : Gesco-Attinguïé

Le DJMA de cette section est inférieur à celui de la section 1 en passant de 70 000 à 53 375 véhicules / jour. Comme à la section précédente les coûts initiaux augmentent respectivement pour chaque option de chaussée avec la croissance du trafic des poids lourds. Le coût initial de la chaussée en BAC reste supérieur à celui de la chaussée en EB pour tous les niveaux de trafic envisagés. L'écart entre les deux coûts initiaux s'agrandit au fur et à mesure que le DJMA des poids lourds augmente et représente une valeur moyenne de 14 %. L'écart entre les coûts initiaux est plus élevé si le DJMA des poids lourds est plus élevé et donc si la chaussée est fortement sollicitée. Les résultats sont présentés à la Figure 12. Toutefois l'écart moyen est réduit si le DJMA diminue en comparaison avec la section 1.

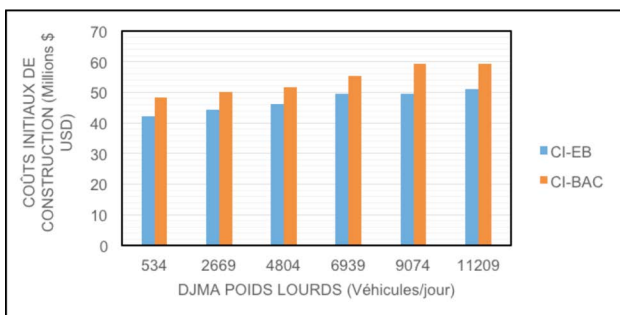


Figure 12 : Coûts initiaux des chaussées

##### - Section 3 : Attinguïé-PK50

En passant de la section 2 à la section 3, le DJMA connaît une baisse et est de 43 750 véhicules / jour. Comme à la section précédente les coûts initiaux augmentent respectivement pour chaque option de chaussée avec la croissance du trafic des poids lourds. Le coût initial de la chaussée en BAC reste supérieur à celui de la chaussée en EB pour tous les niveaux de trafic envisagés. L'écart entre les deux coûts initiaux s'agrandit au fur et à mesure que le DJMA des

poids lourds augmente et représente une valeur moyenne de 10 %. L'écart entre les coûts initiaux est plus élevé si le DJMA des poids lourds est plus élevé et donc si la chaussée est fortement sollicitée. Les résultats présentés à la Figure 13 gardent la même tendance que ceux de la section 2. Dans cette section aussi, l'écart est réduit si le DJMA diminue en comparaison avec les deux premières sections.

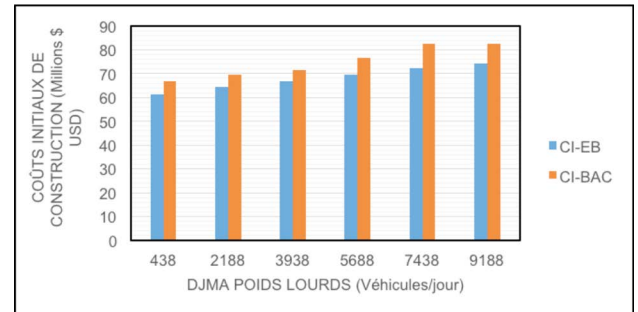


Figure 13 : Coûts initiaux des chaussées

#### 4.2.3. Coûts d'entretien (CE)

##### - Section 1 : Banco-Gesco

Les coûts d'entretien des deux options de chaussée sur le cycle de vie sont représentés à la Figure 14. Ils se composent des coûts de l'entretien périodique et de l'entretien courant. On constate que les coûts d'entretien croissent avec le DJMA des poids lourds pour la chaussée en enrobé bitumineux alors qu'ils restent quasiment constants pour la chaussée en béton armé continu. Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts d'entretien augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 110 % et 17 %.

Si l'on compare les coûts totaux d'entretien des deux options de chaussée sur le cycle de vie, l'écart entre ces coûts varie de 500 à 1 000 % environ, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. Sur le cycle de vie, la chaussée en enrobé bitumineux génère des coûts d'entretien plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

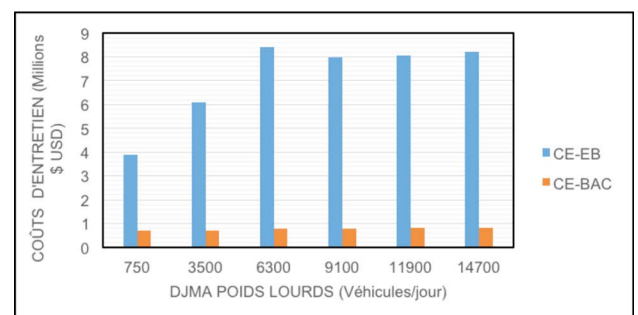


Figure 14 : Coûts d'entretien

##### - Section 2 : Gesco-Attinguïé

Dans cette section également, les coûts d'entretien de la chaussée en enrobé bitumineux augmentent avec l'accroissement du trafic des poids lourds alors qu'ils restent quasiment constants pour la chaussée en béton armé continu, tel que représentés à la Figure 15.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts d'entretien augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 180 % et 10 %.

Si l'on compare les coûts totaux d'entretien des deux options de chaussée sur le cycle de vie, l'écart entre ces coûts varie de 130 à 300 % environ, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. Sur le cycle de vie, la chaussée en enrobé bitumineux génère des coûts d'entretien plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

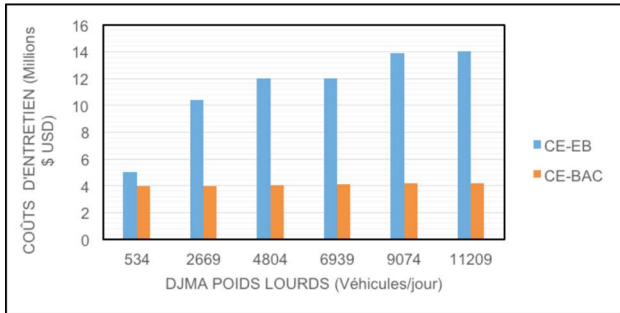


Figure 15 : Coûts d'entretien

**- Section 3 : Attingüé-PK50**

La Figure 16 donne la même tendance pour les résultats dans cette troisième section. Les coûts d'entretien de la chaussée en enrobé bitumineux augmentent avec l'accroissement du trafic des poids lourds alors qu'ils restent quasiment constants pour la chaussée en béton armé continu.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts d'entretien augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 180 % et 10 %.

Si l'on compare les coûts totaux d'entretien des deux options de chaussée sur le cycle de vie, l'écart entre ces coûts varie de 150 à 300 % environ, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. Sur le cycle de vie, la chaussée en enrobé bitumineux génère des coûts d'entretien plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

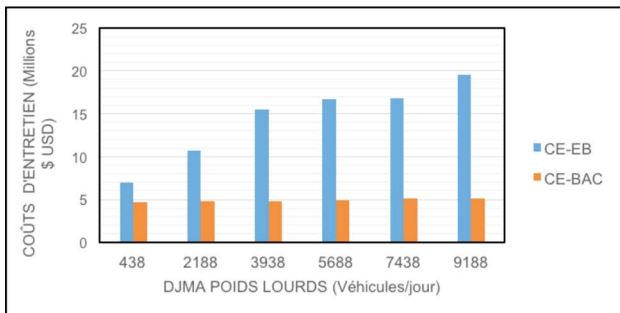


Figure 16 : Coûts d'entretien

**4.2.4. Coûts à l'administration (CA)**

**- Section 1 : Banco-Gesco**

Les coûts à l'administration sont composés des coûts initiaux de construction et des coûts d'entretien sur le cycle de vie. Tel que présenté à la Figure 17, les coûts à l'administration croissent avec le niveau de trafic des poids lourds aussi bien pour la chaussée en enrobé

bitumineux que pour la chaussée en béton armé continu. Pour les différents niveaux de variation du trafic, les coûts à l'administration de la chaussée en EB sont supérieurs à ceux de la chaussée en BAC. Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts à l'administration augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 33 % et 17 %.

Si l'on compare les coûts à l'administration des deux options de chaussée sur le cycle de vie, ceux de l'option BAC baissent d'environ 15 % en moyenne par rapport à ceux de l'option EB, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. Sur le cycle de vie, les coûts à l'administration de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

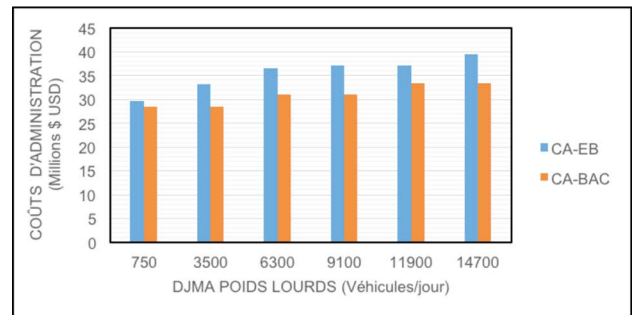


Figure 17 : Coûts à l'administration de la section 1

**- Section 2 : Gesco-Attingüé**

Dans cette section, tel que présenté à la Figure 18, les coûts à l'administration sont quasiment équivalents pour le niveau de trafic des poids lourds de 1 %. Ils augmentent ensuite lorsque la variation du trafic des poids lourds passe de 5 % à 21 %. Dans cet intervalle, les coûts de l'option en enrobé bitumineux restent supérieurs à ceux de l'option en béton armé continu. Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts à l'administration augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 38 % et 22 %.

Si l'on compare les coûts à l'administration des deux options de chaussée sur le cycle de vie, ceux de l'option BAC baissent d'environ 12 % en moyenne par rapport à ceux de l'option EB, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. Sur le cycle de vie, les coûts à l'administration de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

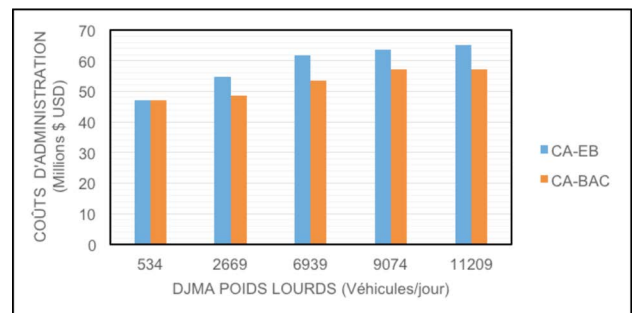


Figure 18 : Coûts à l'administration de la section 2

**- Section 3 : Attingüé-PK50**

Tel que présenté par le graphique de la Figure 19, les coûts à l'administration croissent avec le niveau de trafic des poids lourds aussi bien pour la chaussée en enrobé bitumineux que pour la chaussée en béton armé continu. Pour les différents niveaux de variation du trafic, les coûts à l'administration de la chaussée en EB sont supérieurs à ceux de la chaussée en BAC.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts à l'administration augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 36 % et 22 %.

Si l'on compare les coûts à l'administration des deux options de chaussée sur le cycle de vie, ceux de l'option BAC baissent d'environ 11 % en moyenne par rapport à ceux de l'option EB, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds.

Sur le cycle de vie, les coûts à l'administration de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

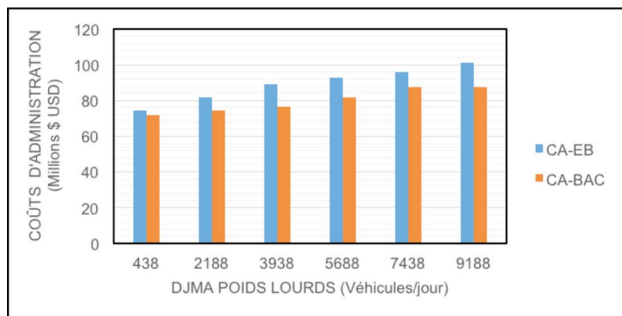


Figure 19 : Coûts à l'administration de la section 3

**4.2.5. Coûts aux usagers (CU)**

**- Section 1 : Banco-Gesco**

Les coûts aux usagers (CU) représentent la somme des coûts reliés à l'exploitation des véhicules (VOC), les délais et les accidents de la route. Ainsi, tel que présenté à la Figure 20 les coûts aux usagers augmentent avec la croissance du DJMA des poids lourds pour les deux options de chaussée. Pour les différents niveaux de variation du trafic, la chaussée en enrobé bitumineux totalise des coûts aux usagers supérieurs à ceux de la chaussée en béton armé continu.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts aux usagers augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 51 % et 49 %.

Si l'on compare les coûts aux usagers des deux options de chaussée sur le cycle de vie, ceux de l'option BAC baissent d'environ 30 % en moyenne par rapport à ceux de l'option EB, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds.

Sur le cycle de vie, les coûts aux usagers de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

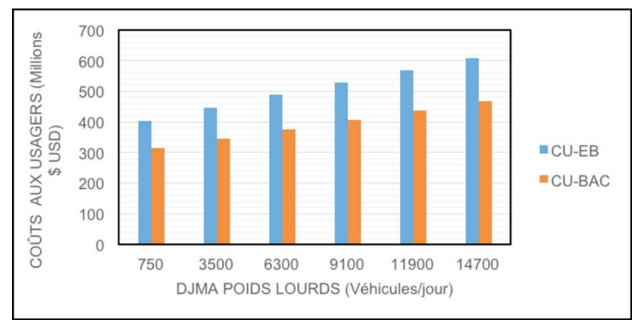


Figure 20 : Coûts aux usagers de la section 1

**- Section 2 : Gesco-Attingüé**

Dans cette section, tel que présenté à la Figure 21 les coûts aux usagers augmentent également avec la croissance du DJMA des poids lourds pour les deux options de chaussée. Pour les différents niveaux de variation du trafic, la chaussée en enrobé bitumineux totalise des coûts aux usagers supérieurs à ceux de la chaussée en béton armé continu.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts aux usagers augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 50 % et 47 %.

Si l'on compare les coûts aux usagers des deux options de chaussée sur le cycle de vie, ceux de l'option BAC baissent d'environ 22 % en moyenne par rapport à ceux de l'option EB, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds.

Sur le cycle de vie, les coûts aux usagers de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

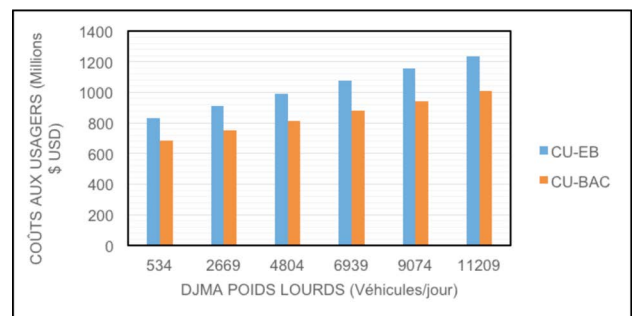


Figure 21 : Coûts aux usagers de la section 2

**- Section 3 : Attingüé-PK50**

Dans la section 3, tel que présenté à la Figure 22, on obtient la même tendance observée aux sections 1 et 2. Pour les différents niveaux de variation du trafic, la chaussée en enrobé bitumineux totalise des coûts aux usagers supérieurs à ceux de la chaussée en béton armé continu.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 % les coûts aux usagers augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 58 % et 56 %.

Si l'on compare les coûts aux usagers des deux options de chaussée sur le cycle de vie, ceux de l'option BAC baissent d'environ 22 % en moyenne par rapport à ceux de l'option EB, lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds.

Sur le cycle de vie, les coûts aux usagers de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés que ceux de la chaussée en béton armé continu.

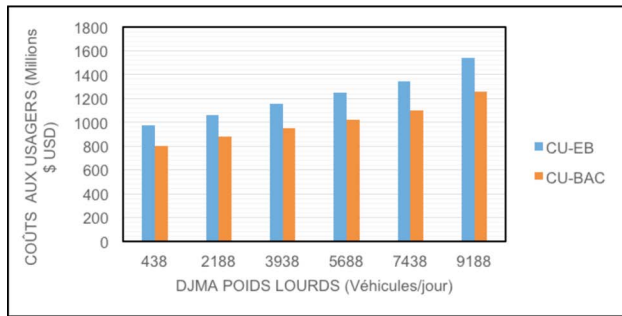


Figure 22 : Coûts aux usagers de la section 3

#### 4.2.6. Valeur actuelle nette (VAN)

##### - Section 1 : Banco-Gesco

Tel que présenté à la Figure 23, la valeur actuelle nette (VAN) de chaque option de chaussée croît avec le DJMA des poids lourds. La valeur actuelle nette de l'option en béton armé continu reste supérieure à celle de l'option en enrobé bitumineux dans les six scénarios de trafic des poids lourds. On observe une corrélation entre Le DJMA et la valeur actuelle nette.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, la valeur actuelle nette augmente respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 71 % et 76 %. L'écart entre les valeurs actuelles nettes des deux options de chaussée varie de 1 à 10 % environ quand le DJMA des poids lourds varie de 1% à 21 %.

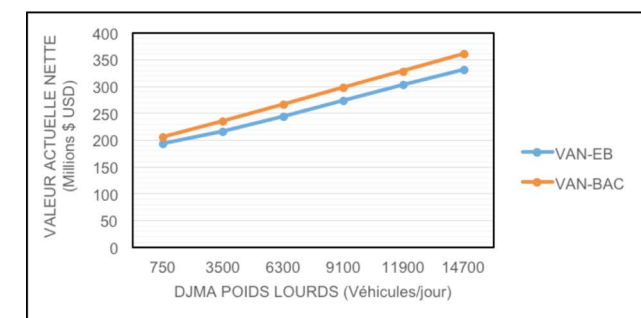


Figure 23 : Valeurs actuelles nettes

##### - Section 2 : Gesco-Attinguïé

Dans la section 2, les résultats représentés à la Figure 24 vont dans le même sens que ceux obtenus à la section 1. La valeur actuelle nette de l'option en béton armé continu reste supérieure à celle de l'option en enrobé bitumineux dans les six scénarios de trafic des poids lourds.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, la valeur actuelle nette augmente respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 66 % et 69 %. L'écart entre les valeurs actuelles nettes des deux options de chaussée varie de 1 à 10 % environ quand le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %.

La chaussée en BAC ayant la plus grande valeur nette est la plus viable comparée à la chaussée en EB.

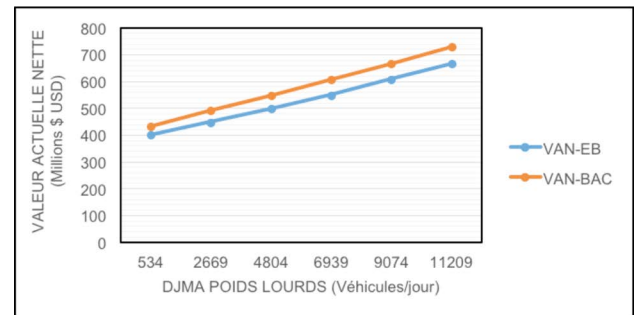


Figure 24 : Valeurs actuelles nettes

##### - Section 3 : Attinguïé-PK50

Dans la section 3, tels que représentés à la Figure 25 les résultats gardent la même tendance obtenue aux sections 1 et 2. La valeur actuelle nette de l'option en béton armé continu reste supérieure à celle de l'option en enrobé bitumineux dans les six scénarios de trafic des poids lourds.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, la valeur actuelle nette augmente respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 80 % et 82 %. L'écart entre les valeurs actuelles nettes des deux options de chaussée varie de 1 à 10 % environ quand le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %.

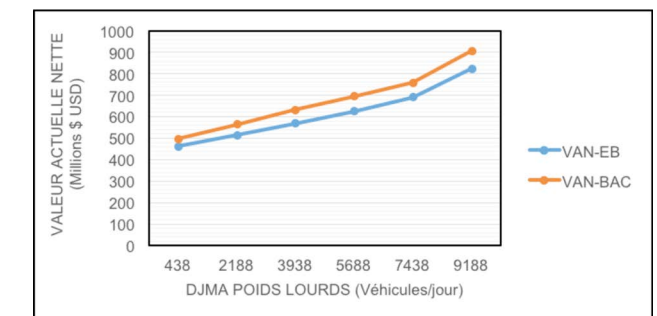


Figure 25 : Valeurs actuelles nettes

#### 4.2.7. Taux de rendement interne (TRI)

##### - Section 1 : Banco-Gesco

Le taux de rendement interne des deux options de chaussée est représenté à la Figure 26. Ce taux de rendement pour chaque option de chaussée est supérieur à zéro (0) d'une part et supérieur d'autre part au taux d'actualisation considéré de 12 %.

Le Taux de rendement interne de la chaussée en béton armé continu est supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux dans les six scénarios de trafic des poids lourds.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, le taux de rendement interne augmente respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 28 % et 25 %. L'écart moyen entre les taux de rendement interne des deux options de chaussée est d'environ 10 % quand le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %.

Ces résultats indiquent que les deux options de chaussée sont viables. Mais l'avantage est à la chaussée en béton armé continu car son TRI reste supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux.

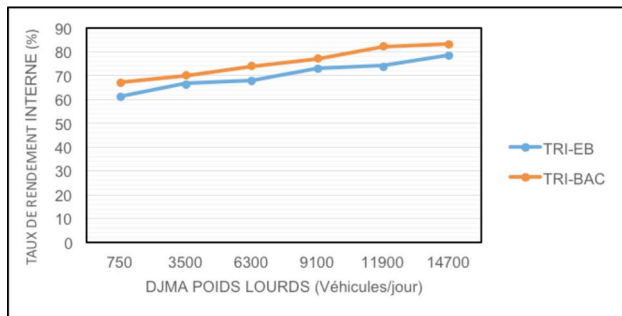


Figure 26 : Taux de rendement internes dans la section 1

**- Section 2 : Gesco-Attingüié**

Dans cette section également le graphique de la Figure 27 présente la variation du taux de rendement interne (TRI) en fonction du DJMA et pour chaque type de chaussée. Le TRI de l'option en béton armé continu est supérieur à celui de l'option en enrobé bitumineux dans les six scénarios de trafic des poids lourds.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, le taux de rendement interne augmente respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 20 % et 20 %. L'écart moyen entre les taux de rendement interne des deux options de chaussée est d'environ 5 % quand le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %.

Ces résultats indiquent également que les deux options de chaussée sont viables. Mais l'avantage est à la chaussée en béton armé continu car son TRI reste supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux.

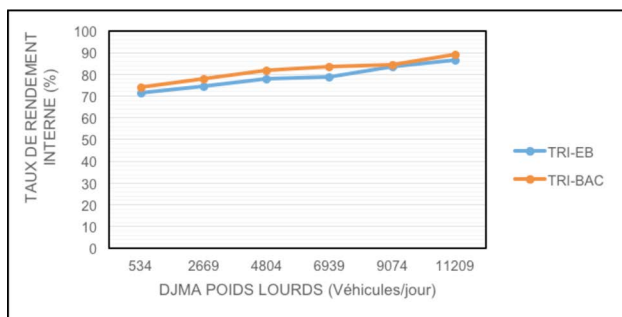


Figure 27 : Taux de rendement internes dans la section 2

**- Section 3 : Attingüié-PK50**

Dans cette section également le graphique de la Figure 28 présente la variation du taux de rendement interne (TRI) en fonction du DJMA et pour chaque type de chaussée. Le TRI de l'option en béton armé continu est supérieur à celui de l'option en enrobé bitumineux dans les six scénarios de trafic des poids lourds.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, le taux de rendement interne augmente respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 27 % et 26 %. L'écart

moyen entre les taux de rendement interne des deux options de chaussée est d'environ 3 % quand le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %.

Ces résultats indiquent également que les deux options de chaussée sont viables. Mais l'avantage est à la chaussée en béton armé continu car son TRI reste supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux.

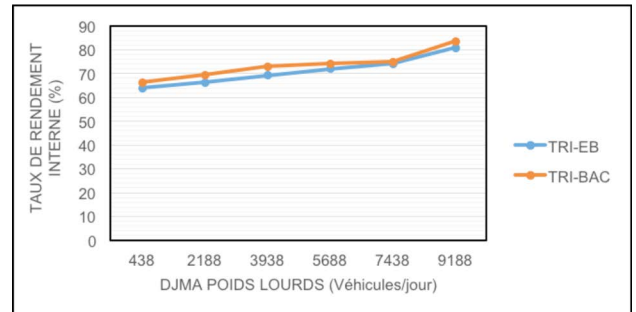


Figure 28 : Taux de rendement internes dans la section 3

**4.2.8. Coûts globaux du cycle de vie (CT)**

**- Section 1 : Banco-Gesco**

Les coûts globaux sont les coûts totaux (CT) du cycle de vie et ils comprennent les coûts à l'administration et les coûts aux usagers. Tel que représenté à la Figure 29, les coûts totaux (CT) augmentent avec la croissance du DJMA des poids lourds pour les deux options de chaussée. Pour les différents niveaux de variation du trafic, les coûts totaux de la chaussée en enrobé bitumineux sont supérieurs à ceux de la chaussée en béton armé continu.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, les coûts totaux augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 50 % et 46 %.

Sur le cycle de vie, l'écart entre les coûts totaux des deux options de chaussée varie de 27 à 30 % environ lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. L'écart moyen observé est de 28 %.

Ainsi, au terme du cycle de vie de 20 ans, les coûts totaux de la chaussée en béton armé continu baissent d'environ 28 % par rapport à ceux de la chaussée en enrobé bitumineux.

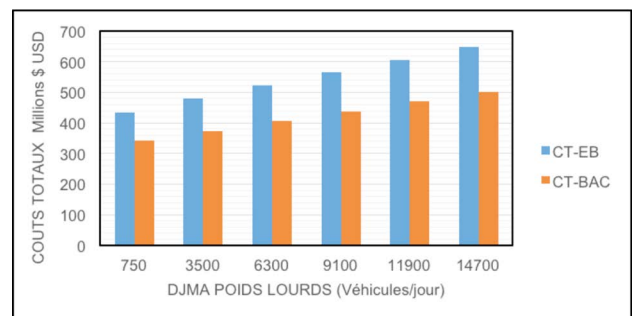


Figure 29 : Coûts totaux du cycle de vie de la section 1

**- Section 2 : Gesco-Attingüié**

Dans cette section, tel que représenté à la Figure 30, les coûts totaux (CT) augmentent avec la croissance du DJMA des poids lourds

pour les deux options de chaussée. Pour les différents niveaux de variation du trafic, les coûts totaux de la chaussée en enrobé bitumineux sont supérieurs à ceux de la chaussée en béton armé continu. Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, les coûts totaux augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 48 % et 46 %.

Sur le cycle de vie, l'écart entre les coûts totaux des deux options de chaussée varie de 20 à 22 % environ lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. L'écart moyen observé est de 21 %.

Ainsi, au terme du cycle de vie de 20 ans, les coûts totaux de la chaussée en béton armé continu baissent d'environ 21 % par rapport à ceux de la chaussée en enrobé bitumineux.

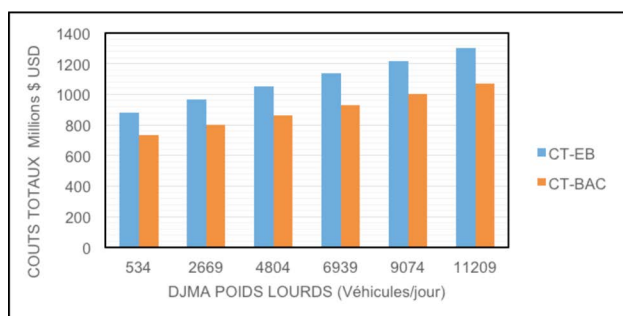


Figure 30 : Coûts totaux du cycle de vie de la section 2

### - Section 3 : Attingüé-PK50

Dans cette section, tel que représenté à la Figure 31, les coûts totaux (CT) augmentent également avec la croissance du DJMA des poids lourds pour les deux options de chaussée. Pour les différents niveaux de variation du trafic, les coûts totaux de la chaussée en enrobé bitumineux sont supérieurs à ceux de la chaussée en béton armé continu.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie de 1 % à 21 %, les coûts totaux augmentent respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC de 57 % et 54 %.

Sur le cycle de vie, l'écart entre les coûts totaux des deux options de chaussée varie de 20 à 22 % environ lorsqu'on passe d'un trafic lourd faible à un trafic lourd élevé soit de 1 % à 21 % d'augmentation du trafic des poids lourds. L'écart moyen observé est de 21 %.

Ainsi, au terme du cycle de vie de 20 ans, les coûts totaux de la chaussée en béton armé continu baissent d'environ 21 % par rapport à ceux de la chaussée en enrobé bitumineux.

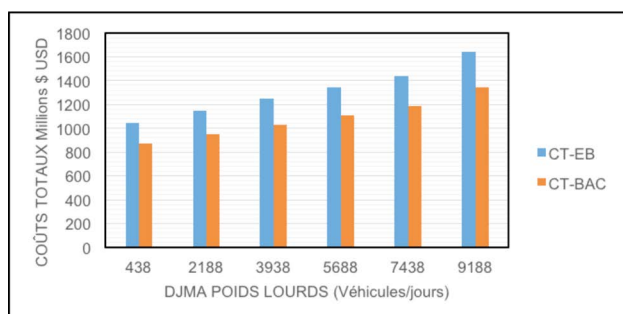


Figure 31 : Coûts totaux du cycle de vie de la section 3

## 5. DISCUSSIONS

### 5.1. Dimensionnement des chaussées

La structure de chaussée ne change pas à chaque accroissement du DJMA des poids lourds. L'augmentation de trafic doit atteindre un seuil caractérisé par le niveau du trafic pour nécessiter le changement des épaisseurs des couches des structures. Ainsi, on observe que les épaisseurs sont les mêmes dans des plages d'augmentation du trafic des poids lourds. Cette conclusion est en accord avec les résultats de l'étude de Asta Guciute (2011), comparant les chaussées en enrobé bitumineux à celles réalisées en béton armé continu en Irlande (Asta Guciute, 2011). La chaussée en béton comporte une épaisseur de dalle comprise dans les limites autorisées par le catalogue des chaussées utilisé pour la conception des chaussées neuves en enrobé bitumineux ou en béton armé continu, en France (Sétra-Lcpc, 1998). Cette conception est toutefois conservatrice. La dalle de béton peut être posée directement sur le sol d'infrastructure (Haseeb, 2017). Ainsi en évitant de mettre une dalle en béton maigre comme couche de base le coût initial de la structure diminuerait avec l'économie de la couche de base.

On observe que les structures sont influencées par le DJMA des poids lourds. Les épaisseurs de la structure augmentent dans le même sens que le DJMA des poids lourds. La couche de base n'est pas disposée pour des raisons structurales mais plutôt pour des raisons de fonctionnement permettant de réduire les affouillements et les effets de pompage (Assaf, 2018; Haas *et al.*, 1994).

La plateforme de la chaussée de classe PF2 respecte les prescriptions du catalogue des chaussées de 1998. Les résultats d'observation du comportement des chaussées ont montré une forte relation entre le niveau de qualité de la plate-forme support de chaussée et le bon comportement des chaussées. Ces résultats conduisent d'une part à ne plus retenir la réalisation de plates-formes de classe PF1, dont le niveau de portance à long terme est trop faible pour garantir une bonne tenue des chaussées (Sétra-Lcpc, 1998).

Tenant compte du niveau de trafic de poids lourds relativement plus élevé dans le tronçon 1 puis décroissant dans les tronçons 2 et 3, il a été observé que la chaussée en béton armé continu, comparée à la chaussée en enrobé bitumineux, se comporte bien en conservant un IRI identique sur la période d'analyse de 20 ans et sur l'ensemble des trois sections.

### 5.2. Analyse comparative des deux options de chaussées

#### a) Taux de dégradations des chaussées en fonction du trafic des poids lourd

Pour la chaussée en enrobé bitumineux, que le trafic soit faible ou élevé, l'IRI se dégrade et donc la chaussée se détériore dès les cinq (5) premières années de service. Lorsque le trafic est élevé, un traitement devra toujours être fait pour ramener le niveau

de l'IRI à un niveau acceptable. Au cours du cycle de vie, une chaussée typique peut avoir un IRI compris entre moins de 1 m / km et plus de 4 m / km, ce qui laisse supposer que la rugosité pourrait avoir un effet significatif sur la consommation de carburant (Santero, Masanet, & Horvath, 2011).

Cette comparaison indique que la chaussée en enrobé bitumineux nécessite des travaux d'entretien pour ramener l'IRI à un niveau acceptable tout au long du cycle de vie alors que la chaussée en béton armé continu n'en a pas besoin.

#### **b) Coût initial (CI)**

Le coût initial de la chaussée en béton armé continu est supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux dans les trois sections étudiées. L'écart entre les coûts initiaux est de 20 % pour la section 1 avec un DJMA total de 70 000 véhicules / jour. Il est respectivement de 14 % et 10 % pour la section 2 avec un DJMA total de 53 375 véhicules / jour et la section 3 avec un DJMA total de 43 750 véhicules / jour. À l'intérieur de chaque section, cet écart s'accroît avec l'augmentation du trafic des poids lourds si l'on passe d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %). D'une section à une autre lorsque le DJMA total augmente, l'écart augmente également. Le coût initial de la chaussée en BAC est plus élevé de l'ordre de 10 à 20 % que celui de la chaussée en EB. Une étude de cas réalisée par Kamal *et al.*, indique un coût supplémentaire de 20 % par rapport à une conception de type chaussée perpétuelle (Kamal, Hafeez, & Khan, N.D.). Aux États-Unis, différentes études comparatives ont été effectuées par plusieurs auteurs. En particulier l'étude de CTL/Thompson (2002) dans le Colorado, indique que le coût initial de l'option béton est de 14 % plus cher, celle de Cross et Parsons (2002) dans le Kansas précise que la chaussée en béton est de 22 % plus chère et l'étude de Gibboney (1995) dans l'Ohio indique que les coûts de construction avec le béton peuvent aller jusqu'à 20 % plus chers que ceux de la chaussée en enrobé bitumineux.

Toutefois les coûts initiaux sont influencés par divers paramètres. Il y a notamment les matières premières entrant dans la confection des revêtements. Les prix du pétrole qui influencent le coût du bitume et donc de l'enrobé bitumineux et ceux du ciment qui influencent à leur tour le coût du béton armé continu sont donc deux paramètres à considérer selon le pays où sera réalisée la chaussée. Ces paramètres peuvent avantager l'une ou l'autre des deux options de chaussées (Ukar, Akakin, & Engin, 2007). En Afrique, les coûts sont largement influencés par des réalités telles que la corruption, les conflits et l'instabilité politique (Collier, Kirchberger, & Söderbom, 2013). En outre la banque mondiale indique que les estimations des coûts de la collusion et des cartels dans le secteur routier sont importantes et varient entre 8 % et 60 % (Bank, 2011). Les coûts initiaux sont ainsi le plus souvent déterminés dans cet environnement.

#### **c) Coûts d'entretien (CE)**

Les coûts d'entretien s'accroissent lorsque le DJMA des poids lourds augmente en passant d'un trafic lourd faible (1%) à un trafic lourd élevé (21%). Ainsi, dans la section 1, ils s'accroissent de 110 % et 17 % respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Pour les sections 2 et 3, le taux

d'accroissement est de 180 % et 10 %, respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC.

Les coûts d'entretien de la chaussée en BAC sont quasiment constants sur le cycle de vie pour les différents scénarios de trafic alors qu'ils augmentent de manière sensible pour la chaussée en EB. L'écart entre ces coûts d'entretien, lorsque le trafic des poids lourds varie de 1 % à 21 %, varie de 500 à 1 000 % dans la section 1, de 130 à 300 % dans la section 2 et de 150 à 300 % dans la section 3. Ainsi, cet écart de coûts d'entretien entre la chaussée en EB et la chaussée en BAC double, sur le cycle de vie. Les coûts d'entretien de la chaussée en EB sont de plus en plus élevés lorsque le DJMA total est de plus en plus élevé de la section 3 à la section 1. On en déduit que plus la chaussée est fortement sollicitée plus les coûts d'entretien de l'option en EB sont plus élevés comparés à ceux de l'option en BAC. Au Québec, depuis 1990 de nouveaux changements sont intervenus dans la conception et le choix du type de chaussée à construire au ministère des transports du Québec (MTQ). Ainsi, comme indique Claude *et al.*, toujours dans le but d'optimiser nos façons de faire en fonction des ressources anticipées à l'entretien et à la réhabilitation des chaussées en béton de ciment, un nouveau type de dalle est proposé à cet effet : la dalle en béton armé continu (Claude, El-Nemr, Tighiouart, Ahmed, & Benmokrane, 2013). Le choix de la dalle en béton armé continu permet la réduction importante des coûts liés aux travaux de réhabilitation. Comparés à l'option en béton armé continu, les coûts d'entretien de la chaussée en enrobé bitumineux sont plus élevés (Haseeb, 2017). En Inde, une étude comparative entre les deux types de chaussée détermine un ratio coût de construction / coût d'entretien de 19 % plus faible pour la chaussée en béton par rapport à la chaussée en enrobé bitumineux (Pradham Mantri Gram Sarak Yojana (PMGSY), 2006). Cela donne l'avantage à la chaussée en béton armé continu. Les principaux avantages de la solution dalle en béton armé continu sont l'absence quasi-totale d'entretien. La réduction des opérations d'entretien entraîne une diminution des coûts aux usagers. Les autres facteurs favorables sont le meilleur comportement à long terme et la pérennité de l'uni de surface (Thébeau, 2004).

#### **d) Coûts à l'administration (CA)**

Les coûts à l'administration s'accroissent lorsque le DJMA des poids lourds augmente en passant d'un trafic lourd faible (1%) à un trafic lourd élevé (21%). Ainsi, dans la section 1, ils s'accroissent de 33 % et 17 % respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Ils s'accroissent, pour la section 2 de 38 % et 22 % et pour la section 3, de 36 % et 22 %, respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Lorsque le DJMA des poids lourds varie d'un trafic lourd faible (1%) à un trafic lourd élevé (21 %), les coûts à l'administration de la chaussée en EB restent supérieurs à ceux de la chaussée en BAC dans les trois sections. L'écart moyen entre ces coûts est de 15 % pour la section 1, de 12 % et 11 % respectivement pour les sections 2 et 3 sur le cycle de vie. Les coûts à l'administration de la chaussée en BAC baissent de 11 à 15 % par rapport à ceux de la chaussée en EB dans les trois sections. Au terme

du cycle de vie de 20 ans la chaussée en BAC est plus avantageuse que la chaussée en EB pour les administrations routières.

#### **e) Coûts aux usagers (CU)**

Les coûts aux usagers s'accroissent lorsque le DJMA des poids lourds augmente en passant d'un trafic lourd faible (1%) à un trafic lourd élevé (21%). Ainsi, dans la section 1, ils s'accroissent de 100 % et 49 % respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Ils s'accroissent, pour la section 2 de 50 % et 47 % et pour la section 3, de 58 % et 56 %, respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Lorsque le DJMA des poids lourds varie d'un trafic lourd faible (1%) à un trafic lourd élevé (21 %), les coûts aux usagers de la chaussée en EB restent supérieurs à ceux de la chaussée en BAC dans les trois sections. L'écart moyen entre ces coûts est de 30 % pour la section 1 et de 22 % pour les sections 2 et 3 sur le cycle de vie. Les coûts aux usagers de la chaussée en BAC baissent de 22 à 30 % par rapport à ceux de la chaussée en EB dans les trois sections. Au terme du cycle de vie de 20 ans la chaussée en BAC est plus avantageuse que la chaussée en EB pour les usagers de la route. Il y a ainsi pour les usagers, une baisse des coûts liés aux accidents, à l'entretien des véhicules et aux délais de trajets.

#### **f) Valeur actuelle nette (VAN)**

Les valeurs actuelles nettes augmentent lorsque le DJMA des poids lourds augmente en passant d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %). Ainsi, dans la section 1, ils s'accroissent de 71 % et 76 % respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Ils s'accroissent, pour la section 2 de 66 % et 69 % et pour la section 3, de 80 % et 82 %, respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC.

Lorsque le DJMA des poids lourds varie d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %), la valeur actuelle nette de la chaussée en BAC reste supérieure à celle de la chaussée en EB dans les trois sections. L'écart moyen entre les valeurs actuelles nettes est de 7 % pour la section 1 et de 10 % pour les sections 2 et 3 sur le cycle de vie. Cet écart moyen sur les trois sections varie de 7 à 10 %. Une corrélation est observée entre la variation du DJMA des poids lourds et la valeur actuelle nette. Sur le cycle de vie de 20 ans, la chaussée en BAC ayant une valeur actuelle nette supérieure à celle de la chaussée en EB est la plus viable. Les deux projets sont mutuellement exclusifs et la valeur actuelle nette de la chaussée en BAC est supérieure à celle de la chaussée en enrobé (École de management Sorbonne, 2015). La valeur actuelle nette est un indicateur économique viable pour effectuer un meilleur choix de projet d'investissement (Huang, 2004). Une étude comparative réalisée au Ghana indiquait qu'en terme de VAN, le béton de grade 5 pouvait être utilisé comme matériau alternatif à l'enrobé bitumineux pour la construction routière selon une étude de cas effectuée (Okae Adow, Allotey, & Sasraku-Neequaye, 2015). La valeur actuelle nette, habituellement utilisée pour les projets mutuellement exclusifs, est considérée comme celle qui donnera toujours la meilleure réponse par rapport aux autres méthodes (Haas *et al.*, 1994; Wohl & Tversky, 1967). C'est une grandeur monétaire qui mesure la création de richesse. L'investisseur choisira

donc le projet qui crée le plus de richesse (École de management Sorbonne, 2015). Un investissement ne doit être retenu que si sa valeur actuelle nette est positive et entre plusieurs projets mutuellement exclusifs on doit retenir celui dont la valeur actuelle nette est la plus grande (Bejar, 2019).

#### **g) Taux de rendement interne (TRI)**

Les taux de rendement interne augmentent lorsque le DJMA des poids lourds augmente en passant d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %). Ainsi, dans la section 1, ils s'accroissent de 28 % et 25 % respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Ils s'accroissent, pour la section 2 de 20 % et 20 % et pour la section 3, de 27 % et 26 %, respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Lorsque le DJMA des poids lourds varie d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %), le taux de rendement interne de la chaussée en BAC reste supérieur à celui de la chaussée en EB dans les trois sections. L'écart moyen entre les taux de rendement interne est de 10 % pour la section 1, de 5 % pour la section 2 et de 3 % pour la section 3, sur le cycle de vie. Cet écart moyen sur les trois sections varie de 3 à 10 %. Le taux de rendement interne (TRI) pour chaque section et chaque scénario de trafic est toujours positif dans les trois sections. Une corrélation est observée entre la variation du DJMA des poids lourds et le taux de rendement interne. Le taux de rendement interne, en pratique, doit être supérieur au taux d'actualisation exigé par l'investisseur et dans le cas de projets mutuellement exclusifs, il faut retenir celui qui a le taux de rendement interne le plus élevé (Chrissos & Gillet, 2016). Si l'on considère, dans le cadre cette étude, un taux d'actualisation de 12 %, on peut déduire que les deux projets peuvent être acceptés mais avec l'avantage à la chaussée en béton armé continu. Le critère du taux de rendement interne conduit parfois à des conflits avec le critère de la valeur actuelle nette et de ce fait le TRI ne permet pas toujours de prendre des décisions d'investissement fiables. Il donne parfois des réponses ambiguës (Corporate Finance Institute (CFI), 2019; Wohl & Tversky, 1967).

#### **h) Coûts globaux (CT)**

Les coûts totaux augmentent lorsque le DJMA des poids lourds augmente en passant d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %). Ainsi, dans la section 1, ils s'accroissent de 50 % et 46 % respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Ils s'accroissent, pour la section 2 de 48 % et 46 % et pour la section 3 de 57 % et 54 %, respectivement pour la chaussée en EB et la chaussée en BAC. Lorsque le DJMA des poids lourds varie d'un trafic lourd faible (1 %) à un trafic lourd élevé (21 %), les coûts totaux de la chaussée en EB restent supérieurs à ceux de la chaussée en BAC dans les trois sections. L'écart moyen entre ces coûts est de 28 % pour la section 1 et de 21 % pour les sections 2 et 3 sur le cycle de vie. Les coûts totaux de la chaussée en BAC baissent de 21 à 28 % par rapport à ceux de la chaussée en EB de la section 3 à la section 1.

Les coûts totaux (CT) obtenus dans les trois sections étudiées et pour les deux options de chaussées, donne l'avantage à la solution de chaussée en béton armé continu sur la période d'analyse

de 20 ans et la chaussée en béton armé continu coûte de 21 à 28 % moins cher. L'écart entre les coûts initiaux de construction qui était supérieur à 20 % donnait un avantage à la chaussée en enrobé bitumineux. Au terme de la période d'analyse, cette tendance s'est inversée. Une étude comparative sur 20 ans réalisée en Inde indiquait que le coût initial de la chaussée en béton armé continu était supérieur de 28 % par rapport à celui de la chaussée en enrobé bitumineux. À la fin du cycle de vie, les coûts de la chaussée en enrobé bitumineux étaient supérieurs de 20 à 25 % par rapport à ceux de la chaussée en béton armé continu (Pradham Mantri Gram Sarak Yojana (PMGSY), 2006). On peut donc conclure que la chaussée en béton armé continu se comporte mieux sur le long terme. L'avantage obtenu avec la chaussée en béton armé continu pourrait être plus important si la période d'analyse était prolongée à 30 ans ou au-delà tel qu'adopté dans les pays comme les États-Unis, le Canada ou l'Europe où celle-ci peut aller jusqu'à 50 ans. Pour l'étude comparative réalisée au Ghana, les coûts globaux de la chaussée en béton armé continu comparés à ceux de la chaussée en enrobé bitumineux indiquent que la chaussée en enrobé bitumineux représente un coût supérieur de 11 % par rapport à la chaussée en béton de grade 5.

La durée de la période d'analyse est souvent prise à 20 ans si l'on considère le trafic. Cette durée peut aller jusqu'à 30 ans en prenant en compte d'autres facteurs que le trafic (Haas *et al.*, 1994). Ces autres facteurs en dehors du trafic peuvent être le type et le niveau de maintenance appliqué, la disponibilité des fonds correspondant au coût initial de construction, les coûts du cycle de vie ainsi que des considérations d'ingénierie diverses (Huang, 2004). Pour effectuer une bonne utilisation des fonds disponibles, poursuit-il, le guide de conception AASHTO encourage l'adoption d'une période d'analyse plus longue pour les chaussées à fort volume de trafic (Huang, 2004). En effet, le guide prescrit une période d'analyse de 20 à 50 années pour les autoroutes rurales à fort volume et 30 à 50 années pour les autoroutes urbaines à fort volume de trafic. En outre, ces coûts totaux ne prennent pas dans cette première phase de l'étude les coûts environnementaux. Aussi, la deuxième phase de l'étude portera sur l'évaluation de l'empreinte environnementale des deux options de chaussées pour leur comparaison du point de vue environnemental.

## 6. CONCLUSION

L'autoroute du nord qui prolonge la voie de Yopougon Express est un axe routier sous régional de haute importance pour le développement des activités commerciales entre la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Mali et le Niger. C'est l'une des liaisons routières fortement sollicitée en Côte d'Ivoire.

Cet article avait pour objet de faire sa conception structurale et d'envisager sa reconstruction en faisant un choix judicieux du type de revêtement de chaussée et de déterminer ainsi l'option la plus avantageuse entre la chaussée en enrobé bitumineux et la chaussée en béton armé continu. Les routes africaines

doivent être construites pour durer dans le temps, pour résister aux fortes sollicitations et aux températures élevées et sans nécessiter un entretien important tout au long du cycle de vie. La route est aussi construite pour être économique aussi bien pour les administrations que pour les usagers. En d'autres termes les coûts investis par les administrations doivent être minimisés de même que les coûts aux usagers. La solution à adopter doit être l'option de revêtement qui répond à cette double condition en constituant un partenariat gagnant-gagnant entre les administrations routières et les usagers de la route. Au moment où la reconstruction du tronçon Yopougon Express est programmée et les discussions engagées entre les différents partenaires du projet sur l'option de chaussée à réaliser, cette étude vient à point nommé pour participer au débat en cours et aider les décideurs à la prise d'une décision optimale. Cette contribution est d'autant plus utile dans le contexte où la Côte d'Ivoire n'a pas encore expérimenté d'autres types de revêtements de chaussée en dehors de l'enrobé bitumineux et où les spécialistes affichent une réticence à l'idée de changement vers l'adoption de nouveaux concepts pour les projets d'infrastructures routières en fonction du projet à réaliser.

Les principaux résultats de cette étude comparative se résument ainsi :

### - Taux de dégradation en fonction du trafic

À mesure que le niveau du trafic des poids lourds augmente le taux de dégradations augmente pour la chaussée en enrobé bitumineux. L'IRI n'est pas conservé sans effectuer des travaux. La chaussée en béton armé continu quant à elle conserve son IRI.

### - Coût initial

Le coût initial de la chaussée en EB est moins cher de l'ordre de 10 à 20 %. Le coût initial de construction de la chaussée en enrobé bitumineux est généralement plus faible que celui de la chaussée en béton armé continu selon différents auteurs en Afrique et dans le reste du monde. Cette tendance peut être inversée en fonction des prix des matières premières du moment, entrant dans la fabrication de l'enrobé bitumineux et du béton armé continu. La solution en béton compacté au rouleau réduit significativement les coûts de construction. L'option d'une chaussée en béton compacté au rouleau sera toutefois plus économique que la solution en béton armé continu si les travaux sont d'une grande envergure selon différents auteurs. Cette option revient moins chère que la chaussée en enrobé bitumineux selon une étude comparative des coûts initiaux de construction réalisée en Côte d'Ivoire entre le béton compacté au rouleau et l'enrobé bitumineux.

### - Coûts d'entretien

Les coûts d'entretien de la chaussée en EB augmentent sensiblement avec l'augmentation du trafic des poids lourds alors qu'ils restent quasiment constants et relativement faibles pour la chaussée en BAC. Tous les auteurs à travers toutes les études réalisées sur le cycle de vie des chaussées aboutissent à la même conclusion. Les coûts d'entretien sont relativement plus élevés pour la chaussée en enrobé bitumineux et à l'inverse, ils sont plus faibles pour la chaussée en béton armé continu. En termes d'entretien c'est l'option de chaussée qui convient aux pays qui

ne disposent pas de ressources financières allouées à l'entretien des routes. L'entretien ici n'est pas compris comme un entretien ponctuel effectué à la demande mais celui qui s'inscrit dans une politique de gestion routière sur le cycle de vie de la chaussée.

#### - Coûts à l'administration et coûts aux usagers

Les coûts à l'administration de la chaussée en BAC baissent de 11 à 15 % en faveur de la chaussée en BAC sur le cycle de vie. Les coûts aux usagers de la chaussée en BAC baissent de 22 à 30 % par rapport à ceux de la chaussée en EB sur le cycle de vie. La solution BAC permet ainsi de réaliser le partenariat gagnant-gagnant entre les administrations routières et les usagers de la route.

#### - Indicateurs économiques

Les indicateurs économiques utilisés sont la valeur actuelle nette et le taux de rendement interne. L'utilisation de la valeur actuelle nette est préférable pour les décisions d'investissement des projets routiers et pour les projets mutuellement exclusifs. La chaussée en BAC a une valeur actuelle nette supérieure à celle de la chaussée en EB. Il en est de même pour le taux de rendement interne. Le projet à réaliser est celui qui a la plus grande valeur actuelle nette.

#### - Coûts globaux

Les coûts totaux du cycle de vie de la chaussée en BAC sont moins chers de 21 à 28 % par rapport à ceux de la chaussée en EB. Bien que les études réalisées dans le monde indiquent que d'une manière générale le coût initial de construction de la chaussée en béton armé continu est supérieur à celui de la chaussée en enrobé bitumineux, ces études démontrent qu'au terme du cycle de vie adopté, le coût global de la chaussée en béton armé continu est inférieur tout au moins du même écart que celui qui existait entre les coûts initiaux, à celui de la chaussée en enrobé bitumineux. L'attribution des marchés est souvent faite sur la base du coût initial en préférant le projet le moins cher entre les deux options de chaussée. Ce critère d'attribution se traduit par une dépense moindre pour construire la route et d'importantes dépenses d'entretien pendant la phase d'exploitation de la chaussée. À l'inverse pour l'option BAC, il faut accepter de dépenser plus au départ pour la construction et faire de faibles dépenses d'entretien durant la phase d'exploitation de la chaussée. C'est pourquoi le choix de l'option de chaussée à réaliser doit être effectué de façon judicieuse en tenant compte de ces aspects. Si l'on tient compte des coûts globaux, la chaussée en béton armé continu représente le meilleur choix d'investissement routier pour les chaussées fortement sollicitées et particulièrement en Afrique subsaharienne. À l'inverse si l'on ne considère que les coûts initiaux, le choix de la chaussée à construire sera quasiment toujours porté sur la chaussée en enrobé bitumineux.

Les divers avantages de chacune de ces chaussées reliés aux phases d'exploitation et de fin de vie, viennent éclairer d'avantage sur le choix idéal.

#### - Incidence d'une chaussée en béton armé continu sur le règlement 14 de l'UEMOA

Dans le cas particulier de l'espace de l'union économique et monétaire en Afrique de l'ouest (UEMOA), une chaussée en

béton armé continu, parce qu'elle résiste aux charges très lourdes, aura une incidence sur le règlement 14 devant harmoniser les charges d'essieux et les gabarits des véhicules roulants sur le réseau routier de cet espace. En effet, l'on serait tenté dans le cadre du territoire de l'UEMOA, d'augmenter le niveau des charges limites à l'essieu telles que définies par le règlement 14, si les corridors pour camionnage étaient en béton armé continu. Ainsi, au lieu de réduire la charge à l'essieu jusqu'à 6 tonnes, elle pourra au contraire être augmentée jusqu'à 10-12 tonnes comme aux États Unis ou 13 tonnes comme en Europe. Cela facilitera le transport des marchandises et apportera des richesses supplémentaires aux populations tout en accélérant la croissance des pays.

Cette recherche montre que les sections homogènes fortement sollicitées pourraient être aménagées en béton armé continu. Le choix de l'option BAC n'est pas économique pour les chaussées à faible trafic. Le choix de l'option de chaussée devrait donc s'appuyer sur une étude comparative sur le cycle de vie qui n'a pas pour vocation de s'imposer aux décideurs mais plutôt de les éclairer en les aidant à faire un choix judicieux du type de chaussée à construire. L'attribution des marchés devrait par conséquent considérer les coûts globaux sur le cycle de vie et non les coûts initiaux comme critère d'attribution.

La prise en compte du contexte particulier de chaque projet, les aspects environnementaux et les diverses considérations reliées à la construction routière en Afrique subsaharienne nécessitent de futures recherches afin d'éclairer d'avantages les décideurs et l'ensemble des partenaires sur les choix d'investissements des projets routiers qui devraient se faire au cas par cas.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Standards. Washington DC, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Assaf, G. J. (2018). *MGC 840 : Conception et réhabilitation des chaussées (notes de cours)*. Montréal, QC: École de technologie supérieure.
- Asta Guciute, S. (2011). *Life Cycle Cost Analysis of Asphalt and Concrete Pavements*, (Reykjavík University, Iceland).
- Atoo.ci (Cartographe). (2017). carte-côte -d-ivoire. Repéré à <http://www.atoo.ci/2017/11/05/principales-mines-dor-cote-divoire/carte-cote-d-ivoire/>
- Babilotte, C., & Soulie, C. (1994). *Guide technique de conception et de dimensionnement des chaussées communautaires-Fasciule 2-Dimensionnement des structures de chaussées neuves et élargissement des voies*. Lyon, France: CETE DE LYON.
- Bank, W. (2011). *Curbing fraud, corruption, and collusion in the roads sector*. Integrity Vice Presidency.
- Bejar, Y. (2019). *Les mathématiques financières*. Paris, France. Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics. (2018). *Règles techniques pour la construction routière dans les pays africains de la zone*

- intertropicale*. Paris, France. Repéré à de la notice : <http://www.sudoc.fr/001006657>
- Chrissos, J., & Gillet, R. (2016). Principaux critères de sélection des projets. Dans *Gestion appliquée-décision d'investissement* (4<sup>e</sup> édition éd.). Repéré à [www.gestion-appliquee.com](http://www.gestion-appliquee.com)
- Claude, J. F., El-Nemr, E., Tighiouart, B., Ahmed, E., & Benmokrane, B. (2013). *Conception d'une dalle de chaussée en Béton Armé Continu (BAC) avec des armatures en PRFV sur l'autoroute 40 Est (Montréal)*. Sherbrooke, Québec: Université de Sherbrooke. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1153189.pdf>
- Collier, P., Kirchnerberger, M., & Söderbom, M. (2013). The cost of road infrastructure in developing countries. *Centre for the Study of African Economies, mimeo*.
- Corporate Finance Institute (CFI). (2019). What is internal rate of return (IRR) ? Repéré le 07 juillet 2019 à <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/internal-rate-return-irr/>
- Cross, S. A., & Parsons, R. I. (2002). Evaluation of Expenditures on Rural Interstate Pavements in Kansas. (University of Kansas. Kansas University Transportation. Center. Lawrence, Kansas).
- CTL/Thompson, I. (2002). *Asphalt Vs. Concrete: A Pavement Cost Comparison Study of Reconstructing Major Highway Corridors in Colorado. Report Prepared for the Colorado Asphalt Pavement Association*. Centennial, Colorado, USA.
- École de management Sorbonne. (2015). Choix d'investissement (VAN, TRI). Dans E. d. m. Sorbonne (Éd.), *Cours de gestion financière (M1)*. Paris, France. Repéré à 12/05/2019
- Federal Highway Administration. (1995). "Highway Statistics 1994", Report No. FHWA-PL-95-042, FHWA, Washington, D. C., October 1995.
- Gibboney, W. B. (1995). *Flexible and Rigid Pavement Costs on the Ohio Interstate Highway System, Final Report, Flexible Pavements of Ohio*. Columbus, Ohio, USA.
- Haas, R., Hudson R., & Zaniewski, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company. Malabar, FL, United States.
- Haseeb, J. (2017). Types of Pavements - Flexible Pavement / Rigid Pavement. Repéré le 02/03/2018 à <https://www.aboutcivil.org/types-of-pavements.html>
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. New Jersey, USA: PEARSON Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, USA.
- ISOHDM. (2005). Highway development & management (HDM-4 Version 2)-Progiciel pour l'évaluation des choix d'investissements routiers (Version HDM-4 V2.10). Paris, France: AIPCR-Word Bank.
- itech. (1998). Alizé-Lcpc-Calcul des déflexions et des sollicitations internes des structures de chaussées, et Aide au dimensionnement selon la méthode rationnelle française Lcpc-Sétra. Paris, France.
- Kamal, M. A., Hafeez, I., & Khan, K. M. (N.D.). Feasibility of perpetual pavements in developing countries. Repéré à <https://www.ohio.edu/icpp/upload/Feasibility%20of%20Perpetual%20Pavements-Kamal.pdf>
- Ken, G., Foster, V., Archondo-Callao, R., Briceno-Garmendia, C., Nogales, A., & Sethi, K. (2008). *Les routes en Afrique Subsaharienne*. Washington DC, USA: Banque mondiale et SSATP. Repéré à <http://www.eu-africa-infrastructure-tf.net/attachments/library/aicd-background-paper-14-roads-sect-summary-fr.pdf>
- Langlois, R. (1982). *Recyclage des revêtements bitumineux*. Québec, Québec: Ministère des transports du Québec. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1154236.pdf>
- Le conseil des ministres de l'UEMOA. (2005). *Règlement N°14/2005/CM/UEMOA*. Bamako, Mali: Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA).
- Okae Adow, M. A.-A., Allotey, S. E., & Sasraku-Neequaye, B. K. (2015). Comparative Cost Analysis between Asphalt Pavement and Concrete Pavement in Road Construction: A Case study using Concrete grade 35, *Civil and Environmental Research, Vol.7, No.10, 2015*.
- Overseas Centre (ODA). (1993). *Overseas Roads Note 31-A Guide to the structural design of Bitumen-surfaced road in tropical and sub-tropical countries*. London, United Kingdom: ODA.
- Pradham Mantri Gram Sarak Yojana (PMGSY). (2006). *Cement concrete roads Vs Bituminous roads\_A cost analysis*, India.
- Santero, N. J., Masanet, E., & Horvath, A. (2011). Life-cycle assessment of pavements Part II: Filling the research gaps. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(9-10), 810-818.
- Sétra-Lcpc. (1998). *Catalogue des structures types de chaussées neuves*. Paris, France: Ministère de l'Équipement, des Transports et du logement.
- Thébeau, D. (2004, 19 au 22 septembre 2004). *La dalle en béton armé continu à Transports Québec*, présentée à Congrès annuel 2004 de l'Association des transports du Canada, Québec (Québec). Repéré à <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2004/docs/s3/thebeau-f.pdf>
- Tsunokawa, K., & UI-Islam, R. (2003). Optimal pavement design and maintenance strategy for developing countries: An analysis using HDM-4. *International Journal of Pavement Engineering*, 4(4), 193-208.
- Ukar, S., Akakin, T., & Engin, Y. (2007). Cost Comparison of Rigid and Flexible Pavements: Applications in Turkey. Dans *ERMCO, Seville Congress*.
- Wohl, E., & Tversky, A. (1967). *Decision making*. Baltimore, USA: Penguin book.



# TECHNICAL REPORT

## 2018-2019



International Union of Laboratories and Experts  
in Construction Materials, Systems and Structures



**RILEM**  
TECHNICAL REPORT

## About RILEM

The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM, from the name in French) was founded in June 1947 in Paris, France, with the aim to promote scientific cooperation and to stimulate new directions for research and applications, thus promoting excellence in construction worldwide.

This mission is fulfilled through the collaboration of leading experts in construction science and practice, including academics, researchers, industrialists, testing laboratories, and authorities.

## Become a member

If you are interested in joining RILEM, please consult our website [www.rilem.net](http://www.rilem.net) and become a member.

Membership benefits include:

- Participation in RILEM Technical Committees
- Access to the private Web directories restricted to RILEM Members and Online version of the RILEM Directory of Members,
- Personal access after login online to the journal Materials and Structures, RILEM Proceedings and Springer/ Nature proceedings
- Reduced fees for RILEM events
- 30% discount on printed RILEM publications
- 20% discount on all Springer / Nature e-books
- Opportunity to publish selected articles as free Open Access paper in Materials & Structures and in RILEM Technical Letters

### Individual fees in 2019:

Student Member: 25 euros  
Affiliate Member: 100 euros  
Senior Member: 375 euros  
Retired Member: 75 euros

### Corporate fees in 2019:

Institutional Member: 2205 euros  
Industrial Member: 4050 euros  
Associate Member: 1165 euros

Note that special discounts of 40% up to 60% on the membership fees apply depending on the country of residence. Please consult the website [membership.rilem.net](http://membership.rilem.net) for all details.

## Editorial by RILEM TAC Chair Nele De Belie



This year I had the honour to take over the position of chair of the RILEM Technical Activities Committee (TAC) from Dr. Nicolas Roussel, whose mandate expired in August 2018. I would like to take advantage of this editorial to thank Nicolas for his excellent work and to wish him well in his new role of RILEM Vice president.

It is with great pleasure that I write the Editorial of this first RILEM Annual Technical Report!

RILEM has desired the publication of such a report for a long time but logistical issues prevented this to happen so far. This report aims to turn the spotlight on the hard work of all the current RILEM Technical Committees. It provides an opportunity for them to present their achievements, publications, plans and their progress over the years. The contents presented here, organised per cluster, cover the life span of each TC from its starting date to August 2019. It also provides a list of upcoming reports and TC workshops and events.

The TCs form the heart of RILEM, or maybe rather the hands and feet... It is where all the action happens. In a TC, you can discuss with the experts, and experts-to-be, in a specific field. You give and receive advice, you carry out joint research and inter-laboratory tests at an international level, you contribute to recommendations that will be used by scientists and practitioners the years to come. In meetings around the world, you discover relevant research tools in your colleagues' labs, you come in touch with other cultures and make many new friends. To be a member of a TC opens more doors than you could have imagined.

TAC supports the TCs over the complete course of their 5 years lifetime. TAC helps to identify promising topics for the launch of a new TC, and experts who could take the lead. Hence, RILEM can remain at the forefront of research in established domains, but also in newly emerging fields like circular economy, sustainability, digital fabrication, etc. TAC gives advice while the idea of a new TC is taking shape, follows up the activities when the TC is active and screens the final outcome. The cluster conveners keep the overview of the TCs in a certain area, so that they can identify synergies.

TAC is an evolving and never resting committee; recently, some mandates expired and new members joined TAC. Here comes a short summary:

- Cluster C convener Takafumi Noguchi was succeeded by Giovanni Plizzari
- Cluster F convener Hervé Di Benedetto was succeeded by Michael Wistuba
- Cluster E convener Robert Flatt was succeeded by Enrico Sassoni
- Expert Viktor Mechtcherine was succeeded by Kei-ichi Imamoto
- Expert Giovanni Plizzari was succeeded by Sergio Cavalaro
- Expert Jay Sanjayan was succeeded by Daman Panesar
- Expert Barbara Lubelli was succeeded by Arun Menon
- Expert Michael Wistuba was succeeded by Eshan Dave
- A special additional mandate (2018-2020) was given to expert Hervé Di Benedetto

I would like to thank all the members leaving TAC (cluster conveners and experts) for their outstanding work over the last years, and the members continuing in TAC for their ongoing commitment.

TAC meets twice a year: during the RILEM Annual Week and during the Spring Convention.

In Rovinj (Croatia) in March 2019, during the most recent RILEM Spring Convention, several TC related decisions were discussed and taken by TAC:

- Two TCs were given a number: TC 282-CCL and TC 283-CAM.
- Several TCs reached the end of their lifetime and were closed: 247-DTA, 244-NUM, 249-ISC, 254-CMS and 250-CSM.
- Following TCs will present their achievements at the Technical Day of the 2019 RILEM Annual Week in Nanjing (China): 267-TRM, 252-CMB, 253-MCI and 255-FRS.
- Furthermore, around five TCs will present their work at the 2020 RILEM Annual Week in Sheffield (UK).
- Three new TC proposals were approved:
  - > DCM: Long-term durability of structural concretes in marine exposure conditions (chaired by Kefei Li) in Cluster D, Kick-off meeting in June 2019;
  - > GDP: Test Methods for Gas Diffusion in Porous Media (chaired by Bruno Huet) in Cluster B;
  - > IMC: Durability of Inorganic Matrix Composites used for Strengthening of Masonry Constructions (chaired by Maria Antonietta Aiello) in Cluster E, Kick-off meeting in June 2019.
- TAC was glad to see that several new proposals are in the pipeline to be submitted soon. Some are follow-ups of closing TCs and others are brand-new projects. The reader will learn more about this in the 2019-2020 Annual Technical Report.
- Last but not least, I would like to acknowledge the collaboration of RILEM with the fib Model Code 2020 initiative (for more details, please read TC IEC on page 39). This partnership brings many mutual benefits. RILEM TC members are proud of being part of this alliance.

I hope that this technical report will be a source of inspiration and that it will help you to identify TCs that you may want to join and actively contribute to.

Enjoy reading!

# Contents

<b>An overview of the 2<sup>nd</sup> RILEM Spring Convention in Rovinj, Croatia</b> .....	<b>5</b>
<b>Technical Committees (TCs): The heart of RILEM</b> .....	<b>7</b>
<b>Active TCs at a glance</b> .....	<b>9</b>
<b>Cluster A: Material Processing and Characterization</b> .....	<b>11</b>
260-RSC: Recommendations for use of superabsorbent polymers in concrete construction .....	12
261-CCF: Creep behaviour in cracked sections of fibre reinforced concrete .....	13
266-MRP: Measuring rheological properties of cement-based materials .....	14
267-TRM: Tests for reactivity of supplementary cementitious materials .....	15
275-HDB: Hygrothermal behaviour and durability of bio-aggregate based building materials .....	16
276-DFC: Digital fabrication with cement-based materials .....	17
282-CCL: Calcined clays as supplementary cementitious materials .....	18
AMC: Use of agro-based materials as cementitious additions in concrete and cement-based materials.....	19
CEC: Controlled expansion of concrete by adding MgO-based expansive agents taking the combined influence of composition and size of concrete elements into consideration .....	20
<b>Cluster B: Transport and Deterioration Mechanisms</b> .....	<b>21</b>
247-DTA: Durability testing of alkali-activated materials.....	22
251-SRT: Sulfate resistance testing .....	23
253-MCI: Microorganisms-cementitious materials interactions .....	24
262-SCI: Characteristics of the steel/concrete interface and their effect on initiation of chloride induced reinforcement corrosion .....	25
281-CCC: Carbonation of concrete with supplementary cementitious materials .....	26
283-CAM: Chloride transport in alkali-activated materials .....	27
FTC: Durability and service life of concrete under the Influence of freeze-thaw cycles combined with chloride penetration .....	28
TMS: Test method for concrete durability under combined role of sulphate and chloride ions .....	29
GDP: Test methods for gas diffusion in porous media .....	30
<b>Cluster C: Structural Performance and Design</b> .....	<b>31</b>
244-NUM: Numerical modelling of cement-based materials .....	32
249-ISC: Non-destructive in-situ strength assessment of concrete .....	33
254-CMS: Thermal cracking of massive concrete structures.....	34
255-FRS: Fire resistance of concrete structures repaired with polymer cement mortar .....	35
256-SPF: Spalling of concrete due to fire: testing and modelling.....	36

<b>269-IAM:</b> Damage assessment in consideration of repair/retrofit-recovery in concrete and masonry structures by means of innovative NDT .....	37
<b>273-RAC:</b> Structural behaviour and innovation of recycled aggregate concrete .....	38
<b>IEC:</b> Impact and explosion .....	39
<b>Cluster D: Service Life and Environmental Impact Assessment</b> .....	<b>40</b>
<b>258-AAA:</b> Avoiding alkali aggregate reactions in concrete - performance based concept .....	41
<b>259-ISR:</b> Prognosis of deterioration and loss of serviceability in structures affected by alkali-silica reaction .....	42
<b>263-EEC:</b> Environmental evaluation of concrete structures toward sustainable construction .....	43
<b>270-CIM:</b> Benchmarking chloride ingress models on real-life case studies: theory and practice.....	44
<b>CCH:</b> Stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of concrete-reinforcing steel .....	45
<b>DCM:</b> Long-term durability of structural concretes in marine exposure conditions .....	46
<b>SHE:</b> Self-healing concrete – Its efficiency and evaluation.....	47
<b>Cluster E: Masonry, Timber and Cultural Heritage</b> .....	<b>48</b>
<b>245-RTE:</b> Reinforcement of timber elements in existing structures .....	49
<b>250-CSM:</b> Composites for sustainable strengthening of masonry.....	50
<b>271-ASC:</b> Accelerated laboratory test for the assessment of the durability of materials with respect to salt crystallization .....	51
<b>274-TCE:</b> Testing and characterisation of earth-based building materials and elements.....	52
<b>277-LHS:</b> Specifications for testing and evaluation of lime-based repair materials for historic structures .....	53
<b>IMC:</b> Durability of inorganic matrix composites used for strengthening of masonry constructions .....	54
<b>Cluster F: Bituminous Materials and Polymers</b> .....	<b>55</b>
<b>264-RAP:</b> Asphalt pavement recycling .....	56
<b>272-PIM:</b> Phase and interphase behaviour of bituminous materials .....	57
<b>278-CHA:</b> Crack healing and asphalt pavement materials .....	58
<b>279-WMR:</b> Testing of waste and marginal materials for road pavements.....	59
<b>280-CBE:</b> Multiphase characterisation of cold bitumen emulsion materials .....	60
<b>Upcoming RILEM publications</b> .....	<b>61</b>
<b>WWW of upcoming RILEM events - where, what and when</b> .....	<b>63</b>
<b>Contributors to the 2018-2019 Technical Report</b> .....	<b>65</b>
<b>Concluding remarks from the RILEM Presidency</b> .....	<b>68</b>

# Active TCs at a glance

**RILEM**  
TECHNICAL REPORT

TC NUMBER	TC ACRONYM	TC TITLE	CLUSTER	TC CHAIR	TC DEPUTY CHAIR	ACTIVITY STARTED IN	TC CLOSED IN MARCH 2019
260	RSC	Recommendations for use of superabsorbent polymers in concrete construction	A	Viktor MECHTCHERINE	Mateusz WYRZYKOWSKI	2014	
261	CCF	Creep behavior in cracked sections of fiber reinforced concrete	A	Pedro SERNA ROS	Sergio Henrique PIALARISSI CAVALARO	2014	
266	MRP	Measuring rheological properties of cement-based materials	A	Mohammed SONEBI	Dimitri FEYS	2015	
267	TRM	Tests for reactivity of supplementary cementitious materials	A	Karen SCRIVENER	Ruben SNELLINGS	2015	
275	HDB	Hygrothermal behaviour and durability of bio-aggregate based building materials	A	Sofiane AMZIANE	Florence COLLET	2016	
276	DFC	Digital fabrication with cement-based materials	A	Nicolas ROUSSEL	Dirk LOWKE	2016	
282	CCL	Calcined clays as supplementary cementitious materials	A	José Fernando MARTIRENA-HERNANDEZ	Manu SANTHANAM	2018	
	AMC	Use of agro-based materials as cementitious additions in concrete and cement-based materials	A	Said KENAI	Mike B. OTIENO	2018	
	CEC	Controlled expansion of concrete by adding MgO-based expansive agents taking the combined influence of composition and size of concrete elements into consideration	A	Jiaping LIU	Ole Mejlhede JENSEN	2018	
247	DTA	Durability testing of alkali-activated materials	B	John PROVIS	Frank WINNEFELD	2012	❖
251	SRT	Sulfate resistance testing	B	Véronique BAROGHEL-BOUNY	Esperanza MENENDEZ MENDEZ	2013	
253	MCI	Microorganisms-cementitious materials interactions	B	Alexandra BERTRON	Henk JONKERS	2014	
262	SCI	Characteristics of the steel/concrete interface and their effect on initiation of chloride-induced reinforcement corrosion	B	Ueli ANGST	Mette GEIKER	2015	
281	CCC	Carbonation of concrete with supplementary cementitious materials	B	Nele DE BELIE	Susan BERNAL	2018	
283	CAM	Chloride transport in alkali-activated materials	B	Arnaud CASTEL	John PROVIS	2018	
	FTC	Durability and service life of concrete under the influence of freeze-thaw cycles combined with chloride penetration	B	Folker H. WITTMAN	Peng ZHANG	2018	
	TMS	Test method for concrete durability under combined role of sulphate and chloride ions	B	Changwen MIAO	Geert de SCHUTTER	2018	
	GDP	Test methods for gas diffusion in porous media	B	Bruno HUET	Pilippe TURCRY	2019	
244	NUM	Numerical modelling of cement-based materials	C	Klaas VAN BREUGEL	Ravi PATEL	2011	❖
249	ISC	Non destructive in situ strength assessment of concrete	C	Denys BREYSSE	Jean-Paul BALAYSSAC	2012	❖
254	CMS	Thermal cracking of massive concrete structures	C	Eduardo FAIRBAIRN	Miguel Ângelo Dias AZENHA	2013	❖
255	FRS	Fire resistance of concrete structures repaired with polymer cement mortar	C	Takafumi NOGUUCHI	Kei-Ichi IMAMOTO	2013	

# Active TCs at a glance

**RILEM**  
TECHNICAL REPORT

TC NUMBER	TC ACRONYM	TC TITLE	CLUSTER	TC CHAIR	TC DEPUTY CHAIR	ACTIVITY STARTED IN	TC CLOSED IN MARCH 2019
256	SPF	Spalling of concrete due to fire: testing and modelling	C	Pierre PIMIENTA	Robert McNAMEE	2013	
269	IAM	Damage assessment in consideration of repair/retrofit-recovery in concrete and masonry structures by means of innovative NDT	C	Tomoki SHIOTANI	Dimitrios AGGELIS	2016	
273	RAC	Structural behaviour and innovation of recycled aggregate concrete	C	Jianzhuang XIAO		2015	
	IEC	Impact and explosion	C	Marco DI PRISCO	Ezio CADONI	2018	
258	AAA	Avoiding alkali aggregate reactions in concrete - performance based concept	D	Borge J. WIGUM	Jan LINDGARD	2014	
259	ISR	Prognosis of deterioration and loss of serviceability in structures affected by alkali-silica reactions	D	Victor SAOUMA	Leandro SANCHEZ	2015	
263	EEC	Environmental evaluation of concrete structures toward sustainable construction	D	Amnon KATZ	Guillaume HABERT	2012	
270	CIM	Benchmarking chloride ingress models on real-life case studies: theory and practice	D	Eddie A. B. KOENDERS	Kei-ichi IMAMOTO	2016	
	CCH	Stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of concrete-reinforcing steels	D	Javier Sanchez MONTERO	Alvaro RIDRUEJO	2016	
	DCM	Long-term durability of structural concretes in marine exposure conditions	D	Kefei LI	Junjie ZENG	2019	
	SHE	Self-healing concrete – its efficiency and evaluation	D	Feng XING	Erik SCHLANGEN	2016	
245	RTE	Reinforcement of timber elements in existing structures	E	Jorge BRANCO	Philipp DIETSCH	2011	
250	CSM	Composites for sustainable strengthening of masonry	E	Gianmarco DE FELICE	Daniel OLIVEIRA	2012	❖
271	ASC	Accelerated laboratory test for the assessment of the durability of materials with respect to salt crystallization	E	Barbara LUBELLI	Inge RORIG-DALGAARD	2016	
274	TCE	Testing and characterisation of earth-based building materials and elements	E	Jean Claude MOREL	Antonin FABBRI	2016	
277	LHS	Specifications for testing and evaluation of lime-based repair materials for historic structures	E	Ioanna PAPAYIANI	Jan VALEK	2017	
	IMC	Durability of inorganic matrix composites used for strengthening of masonry constructions	E	Antonietta AIELLO	Catherine PAPANICOLAOU	2019	
264	RAP	Asphalt pavement recycling	F	Gabriele TEBALDI	Eshan V. DAVE	2015	
272	PIM	Phase and interphase behaviour of bituminous materials	F	Emmanuel CHAILLEUX	Christiane RAAB	2016	
278	CHA	Crack-healing of asphalt pavement materials	F	Hassan BAAJ	Orazio BAGLIERI	2016	
279	WMR	Valorisation of waste and secondary materials for roads	F	Lily POULIKAKOS	Bernhard HOFKO	2017	
280	CBE	Multiphase characterisation of cold bitumen emulsion materials	F	Andrea GRAZIANI	Alan CARTER	2017	

Foreword from Cluster A Convener, **Barzin MOBASHER**



“

I have been a member of RILEM for the past 16 years, however I started as a participant in various RILEM conferences and sponsored workshops at least a decade prior to that.

My participation in two RILEM Technical Committees 201-TRC State of the Art Report on Textile Reinforced Concrete and 232-TDT led by late Professor Brameshuber has had a lasting impact on my career. I joined RILEM TAC in 2011 and became the convener of Cluster A in 2014. In this process, I have learned so much more about the inner working and functions of the committees that has helped me tremendously in serving other organizations as well.

Cluster A constitutes a broad range of areas dealing with the chemistry, characteristics, microstructure, and physical properties of a wide range of materials addressed under the auspices of RILEM technical committees. The TCs in this Cluster range from the characterization of supplementary cementitious materials, to the characterization of quasi-brittle fracture.

The level of professional dedication of the cluster members in developing new test methods, conducting and testing interlaboratory tests, and development of tools for a better understanding of the materials places us at the forefront of many recent developments in the construction materials industry and academia.

The guidelines, state of the art documents, and the test methods developed are routinely used and adopted by other organizations and researchers as a testament to the quality of work conducted. It is truly an honour to be working with such a class of RILEM researchers from around the world who dedicate so much energy to produce documents that serves our industry, infrastructure, and development of new recommendations for characterization of new and exciting concrete and cement-based materials.

It is interesting that before the work of a committee is about to complete, the working of the committee members culminates with proposals for continuation of work through the next generation of committee and the members of the TC gladly volunteer to continue their efforts.

The colleagues I have interacted have become very close personal friends, colleagues, collaborators and mentors. The names are far too many. It is the continued interactions with such colleagues that makes this organization one of the most delightful career experiences I have had and I look forward to a more fruitful future.

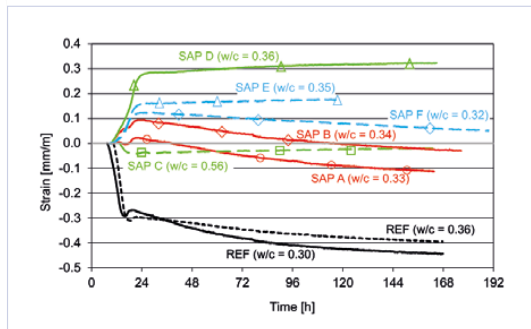
”

# 260-RSC: Recommendations for use superabsorbent polymers in concrete construction

Chair: Viktor MECHTCHERINE // Deputy chair: Mateusz WYRZYKOWSKI  
Activity started in 2014

## Significance

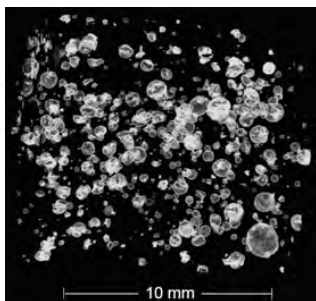
- Superabsorbent Polymers (SAP) have proven to be effective in improving concrete properties (decrease in autogenous and plastic shrinkage, increase in freeze-thaw resistance, etc.).
- A considerable gap still exists between laboratory experience and application in the praxis of construction.



▲ Effect of SAP addition on autogenous shrinkage of concrete. Courtesy of Viktor Mechtcherine.

## Relevance

- Clear guidelines are needed on a purposeful choice of type and dosage of SAP as well as on the consideration of interactions of SAP with other chemical admixtures and the effects of SAP addition on workability and mechanical properties of concrete.



▲ CT image of SAP void distribution in hardened cement paste. Courtesy of Viktor Mechtcherine.

## Goals

- To trigger application of SAP in concrete construction.
- To find answers to open questions related to practical use of SAP.
- To come up with recommendations for practitioners.

## Methodology

- Collecting and evaluating relevant articles, data and expert opinions.
- Preparing joint publications on the state-of-the-art in the field.
- Developing standard testing procedures for SAP prior to use in concrete.
- Performing round-robin test to investigate the effect of SAP addition on plastic shrinkage
- Publishing recommendations on 1) testing sorption behaviour of SAP, 2) use of SAP to mitigate autogenous shrinkage, and 3) use of SAP to improve freeze-thaw resistance.

## Progress

- Wyrzykowski M. et al. (2018) Recommendation of RILEM TC 260-RSC: using superabsorbent polymers (SAP) to mitigate autogenous shrinkage, *Materials and Structures*, 51:135.
- Snoeck D. et al. (2018) Recommendation of RILEM TC 260-RSC: testing sorption by superabsorbent polymers (SAP) prior to implementation in cement-based materials, *Materials and Structures*, 51:116.
- Mechtcherine V. et al. (2017) Effect of superabsorbent polymers (SAP) on the freeze-thaw resistance of concrete: Results of a RILEM interlaboratory study, *Materials and Structures*, 50: 14.
- Schröfl C et al. (2017) A review of characterisation methods for superabsorbent polymer (SAP) samples to be used in cement-based construction materials: Report of the RILEM TC 260-RSC, *Materials and Structures*, 50:197.
- Mechtcherine V et al. (2018) Testing SAP characteristics prior to implementation in concrete: Results of a RILEM round-robin test, *Materials and Structures*, 51:28.

# 249-ISC: Non-destructive in-situ strength assessment of concrete

Chair: Denys BREYSSE // Deputy chair: Jean-Paul BALAYSSAC  
Activity started in 2012

## Significance

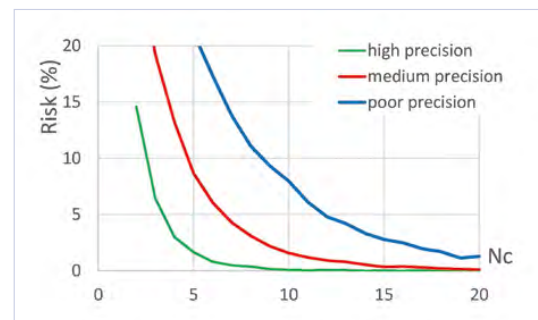
- Non-destructive techniques (NDT) are used to estimate the concrete strength in existing structures without significant damage.
- Recent works in academic research have identified that the common assessment methodology suffers many weaknesses and have suggested ways for improving it.

## Relevance

- Clear guidelines are needed describing all steps to follow in order to improve the reliability of the concrete assessment process.
- They must rely on a limited number of cores (destructive tests) and provide ways of quantifying the reliability of the assessment.

## Goals

- Based on engineer's expertise and real databases, identify the most important factors that govern the reliability of the assessment process and quantify their effect.
- Address the issue of mean strength, local strength and overall variability in concrete structures.



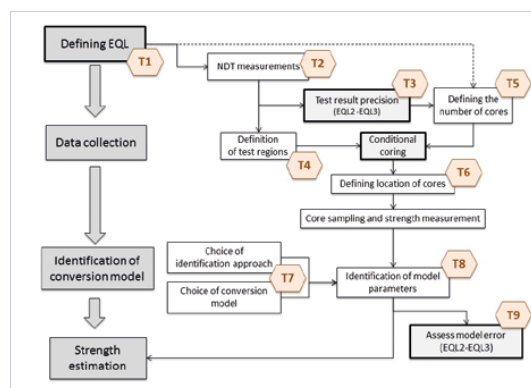
Risk-curves defining the number of cores.  
Courtesy of Denys Breyse.

## Methodology

- Main issues were:
  - the definition of the assessment target (EQL) and its tolerance interval,
  - the quantification of the precision of ND test results, and
  - the definition of location of cores on the basis of a previous NDT screening.
- All conclusions were drawn after checking on real datasets and synthetic datasets.

## Progress

- Detailed Guidelines with practical examples will be published (2019) in a Springer book.
- Breyse D. et al. (2017) Nondestructive assessment of in situ concrete strength: comparison of approaches through an international benchmark, *Materials and structures*, 50: 133.
- Breyse D. and Balayssac J.P. (2018) Strength assessment in reinforced concrete structures: From research to improved practices, *Construction and Building Materials*, 182: 1-9.



▲ Flowchart of the recommended process, with key tasks.  
Courtesy of Denys Breyse.

# 254-CMS: Thermal cracking of massive concrete structures

Chair: Eduardo M. R. FAIRBAIRN // Deputy chair: Miguel AZENHA  
Activity started in 2013

## Significance

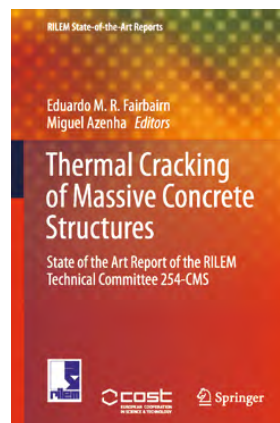
- Thermal cracking of massive concrete structures is an important phenomenon originated by the hydration reaction of the cementitious materials.
- There have been several recent developments related to the old problem of the stresses originated from the evolution of concrete hydration.
- Having identified that there was a lack in the organization of scientific and technological knowledge about cracking at the early ages, it was decided to undertake an in-depth study of the recent developments on this subject.

## Relevance

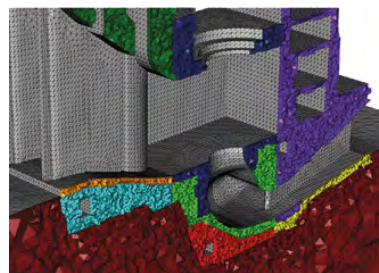
- In practice, it happens that several massive concrete structures such as hydroelectric and nuclear power plants, thick foundations, bridge pier columns and caps, thick walls, tetrapods breakwaters, etc., may experience cracking at the early ages due to restrained thermal deformations. Therefore, the construction phase and the period that follows it should be accurately analysed.

## Goals

- Establish a state-of-the-art-report (STAR) on principles, criteria, methods and technology applied worldwide to control thermal cracking in mass concrete.
- Application to concrete dams, nuclear power plants, massive foundations and massive members of concrete structures.
- Follow up on the development of guidelines on how to analyse and control the risk of thermal cracks of concrete. As a first step of this work, write papers that will support developments.



Springer 2018.



Courtesy of Eduardo Fairbairn.

## Methodology

- Use of web platforms or conference calls to perform on-line meetings (roughly half of the meetings).
- Bibliographical research and exchange of experience and results, including unpublished results.

## Progress

- Thermal Cracking of Massive Concrete Structures – State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 254-CMS (2019) Edited by Eduardo Fairbairn, Miguel Azenha, Springer.
- The STAR was published by Springer in 2018.
- 6 web meetings, 9 presence meetings and 1 workshop.
- 6 papers are being prepared with joint work and case studies.
- A follow-up committee is being planned.

# 255-FRS: Fire resistance of concrete structures repaired with polymer cement mortar

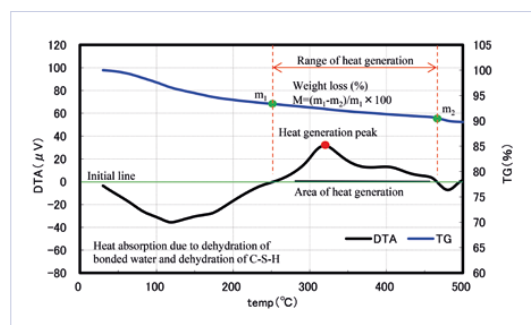
Chair: Takafumi NOGUCHI // Deputy chair: Kei-Ichi IMAMOTO  
Activity started in 2013

## Significance

- Polymer cement mortar (PCM) is currently used in large quantities as a popular repair material for the deteriorated reinforced concrete.
- The existence of polymer might reduce the fire preventive performance of the cement mortar and concrete, which sometimes causes the spalling of the PCM (see picture).
- There is the need of a deeper fundamental understanding of the mechanisms of spalling of PCM under fire and of the mechanical properties of reinforced concrete members repaired with PCM.

## Relevance

- The outcomes of this TC will be beneficial for academics, test laboratory workers, industrialists and practitioners.
- Extending the lifetime of concrete means safer and more durable structures.
- Best practices related to the study of concrete with PCM will lead to new materials and practices.



▲ Exothermic peak area is a key indicator of fire resistance.  
Courtesy of Takafumi Noguchi.

## Goals

- Developing a deeper fundamental understanding of the mechanisms of spalling of PCM under fire and of the mechanical properties of reinforced concrete members repaired with PCM.
- Establish test methods to evaluate their fire resistance.



Courtesy of Takafumi Noguchi.

## Methodology

- This TC will conduct scholarly activities on the following areas:
  - Properties of PCM: Thermal conductivity, Thermal expansion coefficient, Mechanisms of spalling, Fire resistance, Mechanical properties at high temperature.
  - Structural behaviour of RC members repaired with PCM: flexural performance of beams and slabs, structural performance of columns, method to keep the bond between PCM and structural concrete, prevention method for fire spalling of concrete structures.
  - Test methods: Incombustibility of PCM, spalling resistance of PCM, fire resistance.

## Progress

- STAR "Fire Resistance of Concrete Structures Repaired with Polymer Cement Mortar" currently being reviewed by TC members and will be hopefully published in 2019.
- Main outcomes of TC will be presented at the 73<sup>rd</sup> RILEM Annual Week in Nanjing, China, in August 2019.

# 256-SPF: Spalling of concrete due to fire: testing and modelling

Chair: Pierre PIMIENTA // Deputy chair: Robert McNAMEE  
Activity started in 2013

## Significance

- Spalling is the sudden ejection of concrete on the exposed surface of structural elements exposed to fire which can significantly reduce the fire resistance of the structure.
- Although this phenomenon has been studied for several decades, it remains an active topic of investigation due to the complexity of the physical mechanisms involved.
- No consensus exists on how to assess concrete spalling.
- No model can predict the phenomena properly.

## Relevance

- Recommendations of the new TC on test methods will allow a better comparison of international results.
- Results from testing laboratories will be better harmonized.
- Report on modelling will constitute a guideline for research works.
- All the actors (construction owners, manufacturers...) will benefit from the outcomes of the TC owing the improvements of the safety.

## Goals

- To publish a State-of-the Art on fire spalling of concrete.
- To establish recommendations on experimental methods for characterizing fire spalling and connected properties (e.g. concrete water content).
- To publish examples of the consequences of spalling phenomena on the fire resistance and residual capacities of different types of concrete structures.
- To help improving accuracy of models by analysing their key parameters.



Spalling phenomena observed inside a furnace during a laboratory fire test.  
Courtesy of Robert McNamee.



Spalling observed after a fire in a parking garage.  
Courtesy of Robert McNamee.

## Methodology

- The TC has 52 active members and is organised in 5 Tasks:
- Task 1: State of the Art of concrete spalling under fire;
- Task 2: Influence on fire resistance and residual capacity;
- Task 3: Experimental methods for assessing concrete fire spalling;
- Task 4: Modelling of spalling phenomenon;
- Task 5: Round-robin tests (provided funding).

## Progress

- 4<sup>th</sup> "International Workshop" on October 8<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup>, 2015, organized by MFPA (Prof. Frank Dehn) and the RILEM TC as Scientific Committee.
- 5<sup>th</sup> "International Workshop" on October 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup>, 2017, organized by RISE (Dr. Lars Boström), Brandskyddslaget (Dr. Robert McNamee) and the RILEM TC as Scientific Committee.
- Next 6<sup>th</sup> "International Workshop" on September 19-20, 2019, organized by Sheffield University (Dr. Shan-Shan Huang) and the RILEM TC as Scientific Committee.

# 269-IAM: Damage assessment in consideration of repair/retrofit-recovery in concrete and masonry structures by means of innovative NDT

Chair: Tomoki SHIOTANI // Deputy chair: Dimitrios AGGELIS  
Activity started in 2016

## Significance

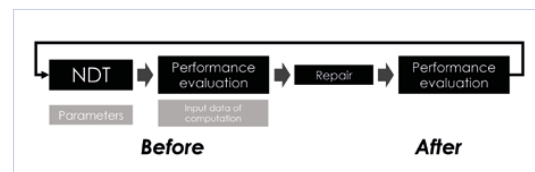
- Worldwide infrastructure is aging. By 2030 more than half of the roads and bridges will be older than 50 years.
- Proper condition evaluation and maintenance is essential.
- Nowadays maintenance is mostly "reactive" after serious damage is evident. There is an urgent necessity to change this to "proactive".

## Relevance

- Infrastructure safety is of paramount importance for humans to avoid casualties.
- Limited budget calls for assessment of the condition before prioritization of the decision which structure to repair/maintain first.
- Proactive maintenance and repair require less budget than repair of large-scale damage.
- Construction and maintenance industries, owners/managers of infrastructure, a broad range of stakeholders are relevant to the scope of the TC.

## Goals

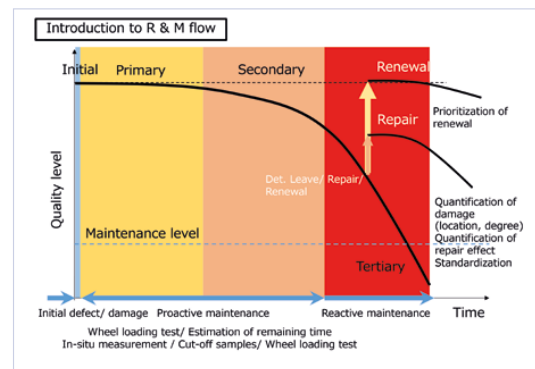
- Exploration of effective NDT techniques. Quantification of the repair effect.
- Improvement of reliability of repair and monitoring methods.
- Establish life cycle scenarios considering repair improvement as obtained by NDT techniques.
- RILEM recommendations and recommended practices for quantification of repair/ reinforcement works by NDT.



Courtesy of Tomoki Shiotani.

## Methodology

- Study of repair practices in different countries.
- Separate in "task forces" focused on:
  1. Survey (suitable NDT methods)
  2. Evaluation of initial damage
  3. Evaluation of repair
  4. Life cycle management in relation to 3



Courtesy of Tomoki Shiotani.

## Progress

- Six meetings have been organized. Separation in task forces is under way.

# 273-RAC: Structural behaviour and innovation of recycled aggregate concrete

Chair: Jianzhuang XIAO  
Activity started in 2015

## Significance

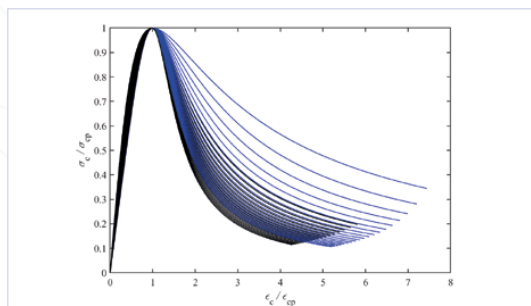
- Construction and Demolition (C&D) waste encompasses a very broad range of materials, characterized by significantly different relevant properties.
- The properties of RAC should be improved to efficiently facilitate the effective reuse of RCA especially in structural components.
- The reuse of C&D waste materials in the construction industry needs adequate technical means to promote their worldwide employment.

## Relevance

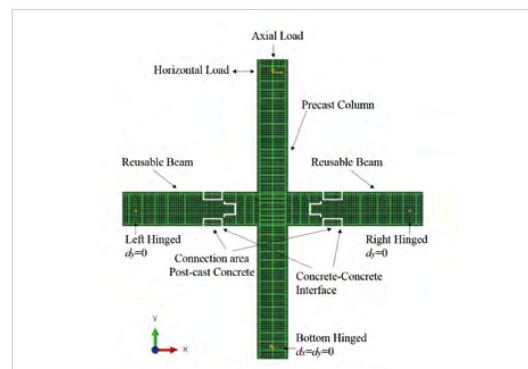
- Members of industry or researchers involved in the field of sustainability, recycling of materials for structural use, will promote them for further investigation.
- Producing guidelines for engineers, architects and practitioners to use these materials at a daily basis to promote sustainability.

## Goals

- To predict and improve the mechanical properties of structural recycled concrete.
- To encourage the transfer of TC's findings to practitioners through the publication based on the given four points:
  - Component behaviour
  - Case-studies in structural RAC
  - Code or Guidelines
  - Monitoring and numerical simulation models for practical design



Courtesy of Jianzhuang Xiao.



Courtesy of Jianzhuang Xiao.

## Methodology

- To validate the RAC for structural purposes, by experiments and simulations and comparing them with the data for regular concrete and monitoring on-site.
- Performing tests to investigate the effect of RCA addition on mechanical behaviour and long-term properties of RAC.
- Analysing the existing standards and specifications of RA and/or RAC.
- Publishing recommendations/codes and specifications on the mix proportion and structural design of RAC.

## Progress

- Xiao et al. (2018) A recycled aggregate concrete high-rise building: Structural performance and embodied carbon footprint, *Journal of Cleaner Production*, 199.
- Xiao et al. (2018) Variability of stress-strain relationship for recycled aggregate concrete under uniaxial compression loading, *Journal of Cleaner Production*, 181.

# IEC: Impact and explosion

Chair: Marco DI PRISCO // Deputy chair: Ezio CADONI  
Activity started in 2018

## Significance

- In the framework of impact and explosion, there are many specific experimental devices all over the world, which have never been thoroughly compared and connected.
- There is the need to develop a stronger link between the worldwide existing experimental laboratories that have specific devices, often not fully used.
- At present, there is no interaction between activities by national, regional and international associations (fib, ACI, etc.).
- A joint committee RILEM-fib working on the chapter "Impact and Explosion" of the fib Model Code 2020 can contribute to revitalize the RILEM association as "Labs link" and not only as "Experts link", fully rediscovering its original mission.

## Relevance

- The targeted users are researchers, practitioners and standardization bodies in the field of concrete technology.

## Goals

- To coordinate a database of the special devices oriented to investigate Impact and Explosion effects on materials and structures;
- To introduce the state-of-the-art knowledge in the specific Model Code 2020 chapter aimed at guiding the designers to quantify the bearing capacity of conventional structures to these specific actions;
- To propose and compare test methods to determine the parameters characterizing the high strain rate (or better loading rate) behaviour depending on the specific structure;
- To analyse the variables which more affect the structural effects when subjected to these actions;
- To develop new practical recommendations and design criteria.



RILEM-fib group in the last meeting on 12<sup>th</sup> March 2019, in JRC Ispra (III meeting).  
Courtesy of Marco Di Prisco.



Barajas Airport, Terminal T4 Parking Building - 30<sup>th</sup> December, 2006.  
Courtesy of Alejandro Pérez Caldentey.

## Methodology

- Preparation of a first meeting in Milan by the end of May in order to discuss the index of Model Code 2020 and to distribute the chapters among the participants.
- In the second year of activities, the working group will be aimed at the preparation of a RILEM/fib/ACI Workshop that could converge in a workshop organized in Vancouver.
- In the two following years, the Committee will achieve the last three main objectives.

## Progress

- Three meetings held so far: Kick-off meeting in July 2018 in Politecnico di Milano; 2<sup>nd</sup> meeting in November 2018 in Madrid (Fhecor Company), 3<sup>rd</sup> meeting in March 2019 in JRC Ispra.

## Foreword from Cluster C Convener, Alexandra BERTRON



“

Cluster D coordinates the activities of the Technical Committees (TCs) dealing with “Service life” and “environmental impact” of structures, mainly reinforced concrete structures. These are key-areas of research and without any doubt, some of the most discussed topics today in all sectors, from finance to engineering to mention a few.

At the moment, the Cluster comprises seven TCs. The topics covered by these TCs vary from alkali-silica reactions to chloride ingress and stress corrosion cracking, from loss of serviceability evaluation, development of performance-based approaches of concrete design, to environmental analysis. The originality and the richness of the TCs’ works lie in the fact that they often combine literature reviews, on-site experimental campaigns and/or modelling of service life assessment.

The first TC belonging to Cluster D was established in 1998 and it was “*183-MIB Microbial impacts on building materials – weathering and conservation*”. Since then, 22 TCs have worked under the coordination of the convener of Cluster D, title that I have the honour to hold since 2016. I took over the role previously filled by Professor Kefei Li.

The first recommendation published by this Cluster dates back to 2000, “*RILEM TC 191-ARP ‘Alkali-reactivity and prevention - Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity’ AAR-5: Rapid preliminary screening test for carbonate aggregates*”. Nine state-of-the-art-reports (STARS) have been published over the life span of Cluster D.

”

# 258-AAA: Avoiding alkali aggregate reactions in concrete - performance based concept

Chair: Børge Johannes WIGUM // Deputy chair: Jan LINDGÅRD  
Activity started in 2014

## Significance

- Alkali Aggregate Reactions (AAR) decrease the service life of concrete structures.
- Performance based testing concept, where alkali reactive aggregates and potential safe cementitious binders are combined, will ensure durable concrete structures and enable use of local reactive aggregates.
- Accelerated laboratory performance tests, along with potential alkali-release from aggregates, need to be verified with results from outdoor exposure sites.

## Relevance

- A reliable performance testing concept is crucial for enabling the aggregate, cement and concrete producers to optimise their products in a sustainable way, securing durable concrete structures for benefit of the society.

## Goals

- Develop and promote a performance based testing concept for the prevention of deleterious AAR in concrete structures.
- Strong emphasis will be put on the implementation of the RILEM methods and recommendations as national and international standards.



Expansion measurement at an outdoor exposure site.  
Courtesy of Børge Johannes Wigum.



Alkali-silica gel extruded from reacted concrete.  
Courtesy of Jan Lindgård.

## Methodology

The work is divided in four Work Packages (WPs):

- WP1 – Development of accelerated laboratory performance tests.
- WP2 – Comparison of laboratory results to field behaviour, i.e. vs. field exposure sites.
- WP3 – Assessment of detailed alkali inventory in concrete (literature survey) and development of an accelerated test for alkali release from aggregates.
- WP4 – Verification of the Performance Testing Concept.

## Progress

- Four papers (open access) published in Proceedings of international Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR2018), Cape Town, South Africa. Paper numbers: 03001, 03002, 03004 and 03006.
- Three papers (open access) published in Proceedings of international Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures (SMSS2019), Rovinj, Croatia, PRO 128 "Durability, Monitoring and Repair of structures", Section "Avoiding alkali aggregate reactions". Paper pages 144, 152 and 168.

# 259-ISR: Prognosis of deterioration and loss of serviceability in structures affected by alkali-silica reaction

Chair: Victor SAOUMA // Deputy chair: Leandro SANCHEZ  
Activity started in 2014

## Significance

- Our lives critically depend on civil infrastructure on an everyday basis.
- A large number of critical structures built in the past decades worldwide are reaching their expected service lives besides showing major signs of deterioration.
- Action is needed to ensure adequate performance or even to extend the lifespan of critical aging infrastructure.

## Relevance

- Alkali-aggregate reaction (AAR) is one of the most harmful distress mechanisms affecting the durability and serviceability of concrete infrastructure worldwide.
- One of the current biggest challenges while dealing with aging infrastructure is to identify the cause and the extent of damage (i.e. diagnosis), to establish the correlation between the reductions in mechanical properties, physical integrity and performance of the affected material, to evaluate possible structural implications and also the potential for further deterioration (i.e. prognosis). Those are critical steps in the selection of management actions of aging infrastructure.

## Goals

The premise of our TC is to appraise current damage caused by AAR in existing concrete structures and to forecast their potential of further deterioration through the use of:

- Proven/validated finite element (FE) codes to perform a suitable predictive analysis;
- Laboratory tests able to diagnose and prognose AAR in the laboratory;
- NDE techniques aiming to assess the extent of AAR deterioration.



Courtesy of Victor Saouma.

## Methodology

259-ISR committee is divided into four work groups (WG):

- WG1: Testing methods;
- WG2: Numerical modelling;
- WG3: Non-destructive testing;
- WG4: Nuclear power plants and dams.



Courtesy of Leandro Sanchez.

## Progress

- The 259-ISR committee should complete its activities by the fall 2019.
- State-of-the-Art reports (STAR) are targeted for WG1, WG3 and WG4, whereas WG2 is expected to publish its findings in the *Materials and Structures* journal.

# 263-EEC: Environmental evaluation of concrete structures toward sustainable construction

Chair: Amnon KATZ // Deputy chair: Guillaume HABERT  
Activity started in 2012

## Significance

- Environmental assessment of concrete structures requires special attention due to the large number of items to be addressed: proper definition of the functional unit, allocation of impacts regarding by-products, the large amount of materials used for concrete manufacture as well as concrete service life issues. Thus, its implementation can create a large variability between simulations.

## Relevance

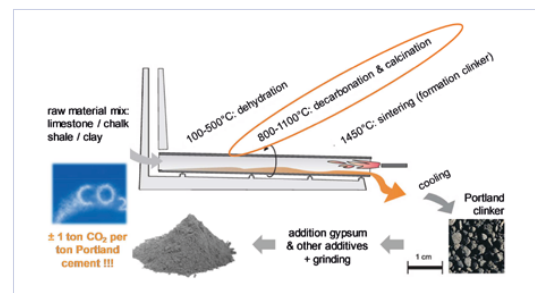
- Output of this committee is useful for LCA practitioners. These LCA practitioners can be industrial or stake-holders dealing with the environmental evaluation of concrete.
- This information will also be useful for academics that are not familiar with LCA and want to learn which parameters are fundamental and must be considered.

## Goals

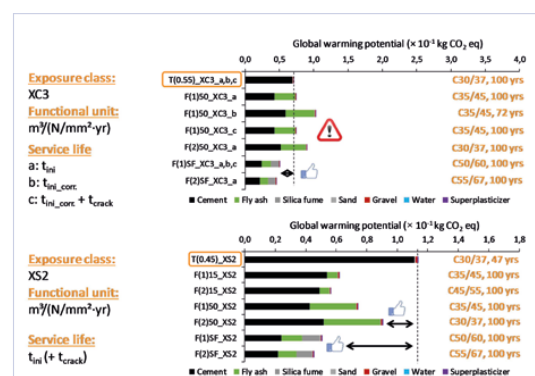
- The objective of this committee is to highlight the main parameters which have a critical influence on the environmental parameters of concrete structures (not the whole building) and are therefore fundamental to pay attention to during an environmental evaluation.
- This TC will allow strengthening the LCA results in order to help environmental evaluation to be used in public decisions.

## Methodology

- Resolving questions related to the system boundary definition including detailed aspects of sensitivity of the results to varying system boundaries.
- Evaluation of the consequences, in term of LCA, of durability differences between concrete types (rather than on service life studies per-se).



Courtesy of Philip Van den Heede.



Courtesy of Philip Van den Heede.

## Progress

- The committee had several meetings in the past. A draft version of a short STAR was prepared.

# 270-CIM: Benchmarking chloride ingress models on real-life case studies: theory and practice

Chair: Eddie A. B. KOENDERS // Deputy chair: Kei-Ichi IMAMOTO  
Activity started in 2016

## Significance

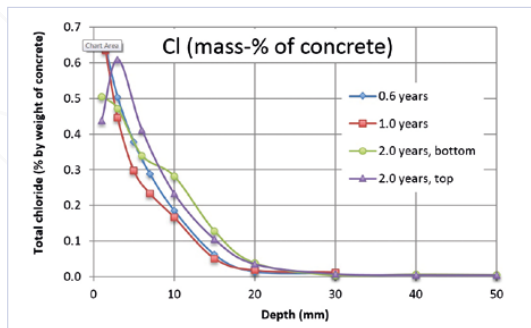
- There is a strong need to benchmark the performance of the currently available models for simulating the ingress of chlorides into the concrete cover.
- The proposed benchmark may serve as a reference tool for calibrating current and future generations of chloride ingress models.

## Relevance

- Enhancing the prediction accuracy of chloride ingress models will support the entire group of users, i.e. academia, consultancy, industry, governmental bodies, etc. to assess the service life of concrete infrastructure more reliably.
- A significant economic impact will result, based on the fact that the benchmark will provide more insight in the usability, accuracy and reliability of chloride ingress models that are used for the future performance and associated maintenance needs.

## Goals

- Benchmarking analytical and numerical based models on typical marine and road spray cases;
- Defining calibration methods for the input data represented by two real life cases.
- Come up with official RILEM recommendations for practitioners.



Courtesy of L. O. Nilsson.



Courtesy of Tang Luping.

## Methodology

- Identifying and selecting currently available engineering- and/or scientifically-based models used for chloride ingress calculations.
- Select and define two typical case studies for benchmarking;
- Simulate the chloride ingress with engineering and/or scientifically based models and list analyse the performance.
- Identify potential gaps in model accuracies, differences, coverages and model limitations.

## Progress

- Benchmarking case studies have been performed on marine submerged and road spray cases; Results have been analysed and discussed.
- Chapters have been defined and are under development.
- The TC is still on schedule and a STAR and RILEM recommendations are planned for 2020.
- Koenders E.A.B., Modelling of chloride ingress in concrete based on benchmarking field results, MATEC Web of Conferences 199, 01005 (2018) (open access).

# CCH: Stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement of concrete-reinforcing steel

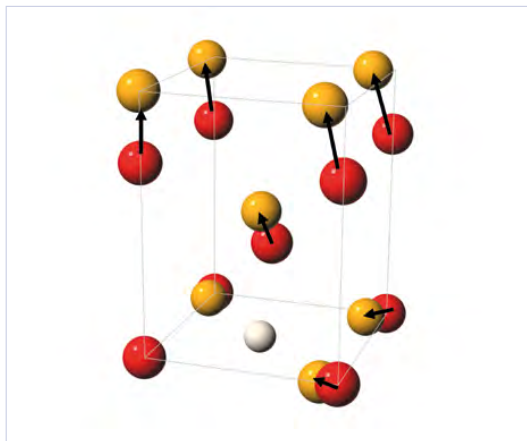
Chair: Javier SANCHEZ MONTERO // Deputy chair: Alvaro RIDRUEJO  
Activity started in 2016

## Significance

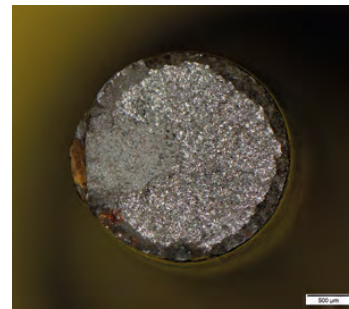
- Corrosion is the main cause of structure degradation. Prestressed structures often suffer from Environment Assisted Cracking (EAC), triggered by two main phenomena: Stress Corrosion Cracking (SCC) and Hydrogen Embrittlement (HE).
- The chemical, mechanical and physical aspects of SCC and HE have not been satisfactorily explained.
- There is no general agreement on testing methods for the study of SCC.
- Understanding the chemical and physical properties of hydrogen inside the iron lattice would help to control and prevent the cracking of steel.

## Relevance

- The targeted group of users is primarily researchers.
- The outcomes of this TC will also be useful to consulting engineers to estimate the durability and assess the condition of structures under aggressive environments.



Courtesy of Javier Sanchez.



Courtesy of Javier Sanchez.

## Goals

- To produce a state of the art report that will comprise a compilation of the main mechanism of SCC and HE applied to prestressing steels.
- The report will also include a compilation of available methods and main results of crack propagation rate for both mechanisms in different steel grades.
- This TC will review theoretical and experimental results and it will propose a theoretical frame to calculate the durability and safety of structures undergoing SCC and HE.

## Methodology

- Collection of documented results from the literature.
- Developing theoretical and conceptual reasoning within the committee.
- Exchange of experience and results, including unpublished ones, between TC members.
- Organization of workshops with invited presentations on selected topics to stimulate and focus the discussion.

## Progress

- STAR in progress and planned to be complete within 3 years: table of content and contributors are set; currently drafting bibliography, test methods, analysis of previous results and models.

# DCM: Long-term durability of structural concretes in marine exposure conditions

Chair: Kefei LI // Deputy chair: Junjie ZENG  
Activity started in 2019

## Significance

- Data collection from exposure stations is rather intuitive, and a systematic format for data collection/presentation is missing. The standardization of data presentation will greatly increase the added value of exposure data.
- The interpretation of exposure data through apparent chloride diffusivity is not enough, and the research community is ready to investigate more engineering indicators through more elaborated modelling.

## Relevance

- The target users include the academics, the concrete and cement producers, and the owners of the exposure sites. Spin-off results can be formulated into educational courses for PhD students and professionals.
- TC would contribute both to the academic and industrial communities, to increase the usability of exposure data and promote the life cycle management of concrete infrastructures.



▲ Exposure site in Hongkong-Zhuahai-Macau project site, China (2013).  
Courtesy of HZMBA.



▲ Exposure site in Cayo Santa-Maria, Cuba.  
Courtesy of José Fernando Martirena Hernández.

## Goals

- Gathering of long-term exposure data from in-field stations, with a detailed data-sharing policy set up within the group.
- Exploiting the long-term data using deepened models in collaboration with the exposure sites, with round robin tests for the simultaneous study for exposure-exposure and exposure-laboratory.
- General technical guideline for exposure stations.

## Methodology

The TC work is divided into three phases:

- the establishment of a long-term exposure database for natural marine environments, and the correct presentation of exposure data;
- the exploitation of the long-term exposure data via mechanism interpretation, and the rational indicators for engineering use;
- the application of long-term exposure/observation data and their exploitation for the service life design and management of concrete infrastructures.

## Progress

- TC starts in 2019, and the kick-off meeting will be organized in UCLV-2019 during the LEOSEO symposium (June 27<sup>th</sup>, 2019), Cayo Santa Maria, Cuba.

# SHE: Self-healing concrete – Its efficiency and evaluation

Chair: Feng XING // Deputy chair: Erik SCHLANGEN  
Activity started in 2016

## Significance

- Concrete self-healing represents an affordable and efficient way to prevent structure deterioration triggered by the presence of cracks.
- There is a lack of a universal healing efficiency and evaluation methods for comparison, which is indispensable for the possible application in practice.
- Furthermore, these methods mainly can be used to assess healing of mechanical damage occurred in the material. Few methods are for deterioration of concrete due to reduction of pH value or ion intrusion.
- Various methods have been and are being developed in recent years. For the possible application in practice, it is essential to present accepted efficiency evaluation methods.

## Relevance

- Academics, postgraduate students, and researchers on concrete, and standardization committees, testing laboratories, concrete manufacture companies and government will be targeted by the outcomes of the TC.
- The self-resilience system for concrete (including self-healing and self-recovery) is regarded as an advanced and efficient way to deal with aging and durable structures from the environmental perspective.

## Goals

- The intermediate goal is to obtain a number of methods for round-robin testing based on literature surveying.
- The final goal is to give a recommendation on a series of most suitable evaluation methods for self-healing and protection functionality recovery in concrete based on experimentation and numerical analysis.



Picture of the 1<sup>st</sup> meeting of RILEM TC SHE.  
Courtesy of Feng Xing.

## Methodology

- The TC mainly focuses on efficiency and evaluation for self-healing concrete due to damage and for the concrete with protection functionality recovery.
- It will reach its scope through the work of three task groups (TG) that respectively focus on: 1) Literature review, 2) Efficiency and evaluation for self-healing concrete due to damage and 3) Efficiency and evaluation for the concrete with protection functionality recovery.

## Progress

- Three meetings held so far (1<sup>st</sup> at Shenzhen University on 30 June 2016, 2<sup>nd</sup> at 6<sup>th</sup> ICSHM 2017, Friedrichshafen, Germany, and the 3<sup>rd</sup> at Delft on 28 Aug, 2018).
- Drafting of STAR: in progress.
- Round-robin test: to be carried out.

Foreword from Cluster E Convener, **Enrico sassoni**



“

Cluster E coordinates the activities of the Technical Committees (TCs) dealing with “Masonry, Timber and Cultural Heritage”. At the moment, it comprises five TCs, working on timber (TC 245-RTE), rammed earth (TC 274-TCE), repair mortars (TC 277-LHS), masonry reinforcement (TC IMC) and decay induced by salt crystallization in various substrates (TC 271-ASC).

Several of these topics have been addressed by RILEM TCs since a long time, but only recently was a dedicated Cluster established.

In fact, the first recommendations on masonry date back to 1988, on timber to 1990, on rammed earth to 1997 and on historic mortars to 2000. RILEM TCs started working on these topics long ago, but the TC goals have progressively changed over time. As a general trend, the aim of the TCs has moved from the characterization of the historic substrates (e.g., mortar, masonry, timber) to the development of testing methods to assess the performance of conservation and reinforcement strategies for these substrates (e.g., repair mortars, composite materials applied to masonry and timber). To evaluate the suitability of the new conservation strategies, not only their effectiveness is addressed, but also their compatibility with the historic substrates, their durability over time and their environmental sustainability are gaining increasing attention by the TCs.

The recent decision to establish a Cluster specifically dedicated to the building materials constituting our Cultural Heritage has a twofold meaning to me. On the one hand, it is an important recognition of the value that RILEM attributes to research on these historic materials and to the urgency to develop successful strategies for their conservation. On the other hand, it highlights the importance that the research and the practice of cultural heritage conservation be carried out with the same rigorous scientific approach that RILEM applies to all the other fields of building materials and structures.

I have been Convener of Cluster E since September 2018, when I took over the role previously filled by Prof. Robert Flatt (ETH, Zurich). Prof. Flatt has dedicated much effort to promote communication between researchers and practitioners working in the field of cultural heritage conservation, to fill the gap that often exists between the two. Because the final goal of the RILEM TCs is that the scientific community can take advantage of their work and, at a larger scale, the society can benefit from scientific research and its transfer into practice, I strongly believe in such an approach and I will keep on pursuing it during my appointment as Cluster Convener.

”

# 245-RTE: Reinforcement of timber elements in existing structures

Chair: Jorge BRANCO // Deputy chair: Philipp DIETSCH  
Activity started in 2011

## Significance

- The need for structural reinforcement of timber buildings may become necessary because of changes of use and/or regulatory specifications, interventions to increase seismic resistance, deterioration due to poor maintenance, or exceptional damaging incidents.
- Structural reinforcement can be achieved by incorporating elements to increase strength and stiffness.
- The current available options like glued-in rods and self-tapping screws, to mention a few, are often not adapted for their use in-situ nor depending on whether the structure is part of the regular building stock or belongs to cultural heritage.

## Relevance

- Increased knowledge of retrofitting techniques will help architects and engineers to make timber a viable option for more applications and new opportunities in design.
- Reliably reinforcing timber structures avoids failures and unnecessary decommissioning, and leads to safer structures and better use of resources.
- Using the genuinely renewable construction material timber and replacing non-renewable materials will increase economic incentives for sustainable forestry.



Courtesy of Jorge Manuel Branco.



Courtesy of Jorge Manuel Branco.

## Goals

- To improve the reinforcement practice for timber structural elements.
- To disseminate up-to-date results to the industry, policy makers and society.
- To optimise collaboration of involved stakeholders in research and industry.

## Methodology

- The scientific activities range from experimental to numerical and analytical approaches to study technologies for in-situ strengthening of wood structural members.
- Research is carried out on: timber and timber based products, composite systems, adhesive systems, mechanical fasteners, fibre reinforced polymers and natural fibres also applied in combination with adhesives, nanotechnology.
- The TC will focus on structural applications of timber in existing buildings of all ages and uses; other materials and non-structural timber applications are excluded.

## Progress

- TC closure planned in December 2019.
- STAR currently being finalised.
- Final meeting scheduled in Guimarães, Portugal, in Sept 2019.

# 250-CSM: Composites for sustainable strengthening of masonry

Chair: Gianmarco DE FELICE // Deputy chair: Daniel OLIVEIRA  
Activity started in 2012

## Significance

- Composite materials are widely used to strengthen and repair masonry structures;
- Numerous innovative products have been developed and various materials have been proposed, including natural fibers such as flax and hemp;
- Exhaustive design instructions, assessment procedures to verify the effectiveness of the repair, monitoring programmes and inspection criteria still need to be fully defined;
- Currently available standard codes do not provide professionals with comprehensive instructions for the strengthening design;
- Both the compatibility with masonry support and the durability need to be ensured; accurate studies on this field are still lacking.

## Relevance

- This TC integrates the standardization and recommendation groups, which have been or are still active in the field of the application of FRP and composite materials on structures (mainly concerning reinforced concrete), both at national and international levels;
- The outcomes of this TC will be beneficial to: testing laboratories, academics, industrial and professional people, contractors, managers of Cultural Heritage, service providers and general users of masonry structures and Cultural Heritage buildings;
- The innovative, efficient and aware repair/strengthening/retrofitting solutions proposed by this TC will allow the expected life of historic masonry constructions to be extended within economical and environmental efforts, ensuring their preservation and valorisation.



Testing setup for the round robin tests on mortar based composites.  
Courtesy of Gianmarco de Felice.

## Goals

- The work of the present TC aims at getting into the complex scenario of bringing together a quickly evolving industry of composite materials and their correct and safe applications;
- The proposed TC will also point out possible developments and in-depth studies on specific problems like fire resistance, material compatibility and reversibility, to mention a few;
- Relevant steps forward will be done, mainly focussing on the sustainability and compatibility of the materials when applied to architectural built heritage.

## Methodology

- The work of the present TC is organized into five topics: Collection of existing data; Experimental and numerical activities; Development of techniques for the sustainable strengthening of the architectural heritage; Proposal of guidelines for testing and designing externally bonded mortar-based systems; Dissemination of results.

## Progress

- De Felice et al. (2018), Recommendation of RILEM Technical Committee 250-CSM: Test method for Textile Reinforced Mortar to substrate bond characterization, *Materials and Structures*, 51:95.

# 271-ASC: Accelerated laboratory test for the assessment of the durability of materials with respect to salt crystallization

Chair: Barbara LUBELLI // Deputy chair: Inge RÖRIG-DALGAARD  
Activity started in 2016

## Significance

- Salt crystallization is a major cause of damage in porous building materials. Nowadays, in the practice of construction and conservation, the durability of materials with respect to salt crystallization is mostly determined by accelerated ageing tests.
- Existing (standard) crystallization tests are generally not realistically reproducing the transport and crystallisation process, resulting in unrealistic damage types.
- The need exists to overcome the above mentioned limitations by the development of an improved salt crystallization test procedure.

## Relevance

- A reliable estimation of the durability of building materials with respect to salt crystallization is important for supporting decisions in the practice of construction and conservation (e.g. the selection of construction or restoration materials and/or the choice of replacing or not an existing material).
- All actors involved in decision making (e.g. architects, testing laboratories, advisors) will benefit by the development of an improved test.

## Goals

- The main aim of the TC is to develop an effective (i.e. reliable and accelerated) salt crystallization test for the assessment of the durability of building materials to salt crystallization.
- The test procedure will be validated by a round robin test and by correlating the results from laboratory accelerated test with data from the field surveys.



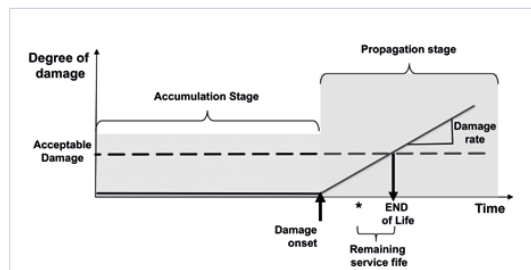
Courtesy of Cristiana Nunes.

## Methodology

- Critical review of accelerated crystallization test procedures, experimental research in laboratory for the development of the new test (including round robin test) and exchange of data collected by participants by on-site surveys and laboratory research.

## Progress

- Lubelli B. et al. (2018) Towards a more effective and reliable salt crystallization test for porous building materials: state of the art, *Materials and Structures*, 51-55.
- Flatt R. et al. (2017) Predicting salt damage in practice: a theoretical insight into laboratory tests, *RILEM Technical Letters*, 2: 108-118.
- A draft test procedure is planned to be defined within the end of 2019 and round robin test planned for 2020.



Scheme of the approach for the to-be-developed accelerated test. Flatt R. et al. (2017).

# 274-TCE: Testing and characterisation of earth-based building materials and elements

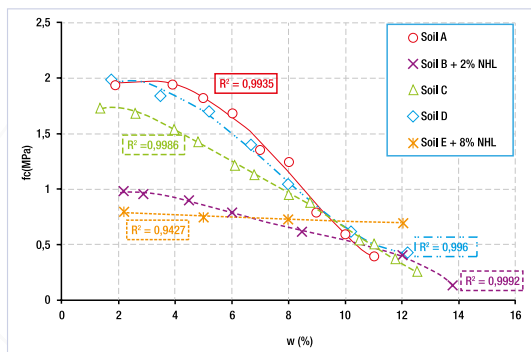
Chair: Jean-Claude MOREL // Deputy chair: Antonin FABBRI  
Activity started in 2016

## Significance

- Earth used as construction material is characterised by significant complexities in behaviour and large variabilities in parameters.
- The ability of a soil to be used as a building material should be determined by its performances and not restrained to a specific composition.
- Experimentally obtained values of performance parameters are usually quite scattered.

## Relevance

- Earth-based building materials, an environmentally-friendly technique, can help to reduce carbon footprint.
- Producing guidelines for engineers, architects and practitioners that are currently not available will promote the use of this technique.



Courtesy of TC 274-TCE.



Courtesy of Jean-Claude Morel.

## Goals

- To define dedicated testing procedures for unstabilised earth in the form of rammed earth, cob, earth blocks, etc.
- To encourage the transfer of TC's findings to practitioners through the publication of guidelines and the organisation of dedicated workshop.

## Methodology

- To define the minimal number of laboratory tests needed to provide an accurate assessment of the mechanical, thermal and hygroscopic performances of the material through existing and newly developed experimental tests.
- To validate the accuracy of the tests by comparing laboratory and on-site data. The used earth samples will come from existing construction sites that will be properly instrumented.

## Progress

- Fabbri A. et al. (2018) Assessing the performance of earth building materials: a review of recent developments, *RILEM Technical Letters*, 3: 46-58.

# 277-LHS: Specifications for testing and evaluation of lime-based repair materials for historic structures

Chair: Ioanna PAPAYIANNI // Deputy chair: Jan VALEK  
Activity started in 2017

## Significance

- The current trend in repairing Historic Structures (HS) is the use of lime-based materials L-b-M. However, test procedures for repair mortars/grouts follow standards established for cement-based mortars/grouts.
- It is important to adapt/modify standard procedures for testing basic properties of L-b-M to define a harmonized scientific basis and pre-normative frame for them.
- Adaptation of field test methods verified by laboratory tests.

## Relevance







- Industry is advantaged from upgrading the quality, reliability and performance of prefab materials for HS.
- The market L-b-M is facilitated all over Europe.
- Construction industry is benefited from the quality of the repair works.
- Any investment in HS preservation gains extra value.



▲ Review of restrained shrinkage tests.  
Veiga R. et al. RILEM SMSS Convention 2019.

## Goals

- State of the Art reports about currently used test procedures in fresh and hardened state for L-b-M.
- Harmonized and unified test procedures for L-b-M.
- Design repair of HS based on more realistic data in terms of properties, behaviour and performance of L-b-M by adapting specific to L-b-M test methods of their quality.

Mixing		Fluidity by flow cone		Expansion / Bleeding	Injectability
<i>High speed mixing</i>	<i>Hobart mortar mixer</i>	<i>ASTM 939</i>	<i>EN 445 (EN 196-3)</i>	<i>ASTM C940</i>	<i>EN1771</i>
					
Speed range 0-2800 RPM	Agitator transmission has 3 speed settings: 139, 285 and 591 RPM	Cone angle: 65o Orifice dimension: 13mm, 19mm. Dim.: 172mm Dia. x 225mm H	Cone angle: 76o Orifice dimension: 8mm, 9mm, 10mm Dim.: 150mm Dia. x 290mm H	1000 mL graduated cylinder. For reduced quantity test 500ml	Sand column test

▲ Mixing and testing equipment for round robin tests for grouts.  
Courtesy of Ioanna Papayianni.

## Methodology

- Preparation of two documents on: Mechanisms of Setting and Hardening of L-b-M and Admixtures, Additives and Additions in L-b-M as basis for the works of TC.
- Selection of all standards (EN, ISO, ASTM, etc.) pertinent to testing quality of L-b-M.
- Review of suitability of existing test methods in evaluating the performance of L-b-M.
- Propose adaptations/modifications to standard methods and field tests.

## Progress

- Papayianni I. and Hughes J. (2018) Testing properties governing the durability of Lime-based Repair Mortars, *RILEM Technical Letters*, 3:135-139.
- Groot C. et al. (2019) Durability aspects related to repointing of historic mortars with lime based mortar, RILEM SMSS Convention, Rovinj, Croatia, 18-21 March 2019.
- Pachta V. et al. (2019) Evaluation of the fresh state properties of lime-based grouts through inter-laboratory comparative testing, 5<sup>th</sup> Historic Mortars Conference (HMC 2019), Pamplona, Spain, 19-21 June 2019.

# IMC: Durability of inorganic matrix composites used for strengthening of masonry constructions

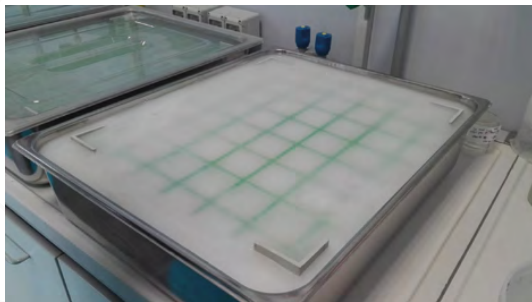
Chair: Maria Antonietta AIELLO // Deputy chair: Catherine PAPANICOLAOU  
Activity started in 2019

## Significance

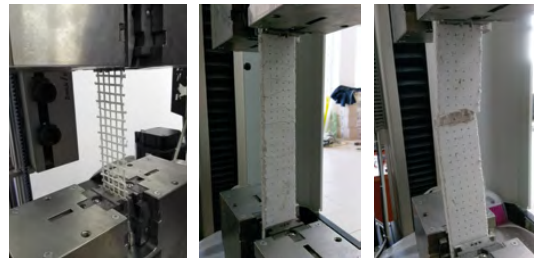
- Fiber Reinforced Polymer (FRP) materials do not always provide an efficient strengthening solution for masonry structures. Inorganic Matrix Composites (IMC) have been studied as an affordable solution, especially for historical masonry.
- At the moment, durability is the major gap within the scientific knowledge. The study of the long-term behaviour is necessary in order to provide complete design guidelines for practitioners.

## Relevance

- The beneficiaries of the research will be manufacturers who provide FRCM systems and practitioners who are asked to certify design by using FRCM.
- Public and private institutions involved in the formulation of design codes will be supported by the advancement of the knowledge brought by the results of the IMC-TC.
- Safety coefficients taking into account the long-term issues, may be provided.



▲ Ageing of fibrous reinforcements.  
Courtesy of Maria Antonietta Aiello.



▲ Tensile tests of FRCM.  
Courtesy of Maria Antonietta Aiello.

## Goals

- To narrow the gap in knowledge that may limit the use of FRCM materials in structural strengthening of masonry buildings.
- Testing ageing procedures in laboratory environment, able to define shared certification protocols.
- Provide useful information for the formulation of design equations to be introduced in technical codes and guidelines.

## Methodology

- Systemization of the existing (limited) knowledge on the matter.
- Drafting and realization of accelerated ageing protocols under different exposure agents on components (textiles, matrices), composites and assemblages.
- Assessment of post-ageing residual mechanical properties (e.g. through tensile and single lap/single prism shear bond tests); comparison with counterpart unexposed specimens.
- Analytical study to formulate relationships between the detrimental effects of temperature-accelerated tests and ageing protocols performed at 23°C.

## Progress

- Kick-off meeting in Bologna, during the MuRiCo6 conference, in June 2019.

**Foreword from Cluster F Convener, Michael Wistuba**

Since the late 1960s RILEM activities in the field of Bituminous Materials and Polymers have been focusing on design and technical development of bituminous pavement infrastructures, that are mainly built from natural aggregate and asphalt binders derived from crude oils. Facing the global shortage of these materials, a number of around 20 Technical Committees have been treating the challenging objectives to characterize and steadily develop the complex performance of these materials as well as to optimize design, construction, rehabilitation and recycling technologies to achieve most sustainable life cycles.

Currently, the Cluster F, chaired by Michael P. Wistuba, TU Braunschweig (DE), assisted by experts Hervé Di Benedetto, U Lyon (FR), and Eshan V. Dave, U New Hampshire (US), engages approximately 150 experts from 25 countries, and is composed of 5 Technical Committees.

These committees are and have always been most efficient research and development platforms for connecting professionals from all over the world in the field of bituminous materials research to share their expertise, to develop recommendations on testing and evaluation approaches and to publish state-of-the-art reports and papers in the RILEM Journals of Materials and Structures as well as in other journals and conference proceedings. Activities under the umbrella of RILEM have contributed a lot to strengthen the asphalt research community, and to steadily remind all members of being united people, researching together for a prosperous and sustainable future.

A number of approximately 20 individual TC meetings, symposia, and seminars, took place since the late 1960s, i. e. in Dresden (1968), Budapest (1975, 1990), Darmstadt (1978), Belgrade (1983), Olivet (1986), Dubrovnik (1988), Liège (1989, 1993), Maastricht (1996), Lyon (1997), Ottawa (2000), Zurich (2003), Limoges (2004), Chicago (2008), Rhodes (2009), Delft (2012), Stockholm (2013), Ancona (2015), Nantes (2016), and Braunschweig (2018).

Moreover, some well attended and broadcasted annual joint meetings, e. g. in Nottingham (2017), Braunschweig (2018), and Waterloo (2019), requested the establishment of a regular joint conference, for promoting latest developments in this research field also to a wider audience. For this purpose, the first Cluster F International Symposium on Bituminous Materials (ISBM), will take place 2020, June 8<sup>th</sup> to 10<sup>th</sup> in Lyon (FR), also presenting results from the above mentioned TCs 264-RAP, 272-PIM and 278-CHA.

The Cluster F community was very delighted to congratulate its members Fernando Moreno-Navarro, U Granada (ES), and Augusto Cannone Falchetto, TU Braunschweig (DE), for being nominated Robert L'Hermite Medallist 2018, and 2019, respectively, the most prestigious RILEM award.



# 264-RAP: Asphalt pavement recycling

Chair: Gabriele TEBALDI // Deputy chair: Eshan V. DAVE

Activity started in 2015

## Significance

- Recycling of asphalt materials for highway construction has become a necessity due to the declining sources for new aggregates, increased costs and environmental impacts of using asphalt.
- The current mix design methods to include recycled asphalt (RA) are basically adjustments of the mix design methods developed for traditional asphalt mixtures.
- It is necessary to understand the role of RA in new mixes and its interaction with other constituents is urgently needed.
- The need exists for exploring the life-cycle analysis (LCA) tools that provide comprehensive evaluation of the economical, energy and environmental impacts of RA usage.



Courtesy of Eshan Dave.



## Relevance

- Academics, road authorities and standardization committees, testing laboratories and test equipment producers, material producers and construction equipment manufacturers and researchers will benefit from the work of this TC.
- This TC will provide practitioners with an optimization tool to help maximize the use of RA materials without affecting the performance of infrastructure system.
- The LCA results can provide support to agencies in decision-making processes.

## Methodology

- Investigations are conducted at the laboratory evaluation and field assessment scales.
- Interaction with industries and road administration in different countries/continents.
- This TC is organized in the form of five task groups: TG1 Cold Recycling - with foamed bitumen and with bituminous emulsion; TG2 Hot and Warm Recycling; TG3 Asphalt Binders and Additives for RA; TG4 Life Cycle Assessment; TG5 Degree of Binder Activation.

## Goals

- Fundamental understanding on the issues related to characteristics of RA mixtures.
- Bringing cutting-edge research solutions from academia to the practitioners (road transportation administration and pavement industry).
- Development of standards and work protocols to be adopted by practitioners.
- Delivering methods and manuals to state and national transportation agencies.
- Delivering "Research Needs Statement" documents to address the research activities and to underline the knowledge gaps for researchers and road administrations.

## Progress

- Organization of three industry workshops (Zurich 2017, São Paulo 2018 and Granada 2019) and a series of educational webinars;
- Survey of researchers and practitioners on Pavement LCA methods in context of asphalt recycling;
- 1<sup>st</sup> research need statement published (> 2000 views/downloads); more underway;
- Four inter-laboratory studies with over 30 participating laboratories is currently underway.

communiqués et colloques



# 99<sup>e</sup> CONGRÈS



**Eaux-Déchets et Santé**

**PROGRAMME**

**14>16 septembre 2020 - LYON**

**GRAND LYON**  
la métropole



**La Région**   
Auvergne-Rhône-Alpes



### 14h15 : Interventions entreprises

14h15 :  
14h30 :  
14h45 :  
15h00 :  
15h15 :

### 15h30 : Table ronde : le changement climatique et ses conséquences sur les constructions en général.

Avec autour de la table :

- Brice Lalonde
- Bojidar Yanev (le témoignage outre Atlantique)
- David Salas (climatologue de Météo-France Toulouse)
- Joël Collado (Météorologue)

### 17h00 : Pause et échanges avec les entreprises exposantes

*Animation et présentation des stands par Jean-Claude Talbert*

### 17h30 : Interventions étudiants

« Béton et Eau : une pluie de solutions pour créer « la ville éponge » de demain »

### 18h00 : Le Tour-du-monde des effets du dérèglement climatique

Patrick Guiraud et Noël Richet

### 18h20 : FIN de la 1<sup>ère</sup> JOURNEE

19h00 : départ vers le lieu de la soirée

*Hotel Dieu Saint Jacques Toulouse*



## Colloque Le Pont 2020 : mardi 13 et mercredi 14 octobre

### Programme

# LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

#### Mardi 13 octobre 2020

8h00 : Accueil des participants et contacts exposants

9h00 : Ouverture et présentation du colloque

Christian Tridon (Association Le Pont)

L'ensemble du colloque est animé par Rémi Loloum

9h10 : Présentation des deux journées

Joël Collado (Ingénieur météorologue, membre du CA de *météo-France et ancien « Monsieur Météo de France Inter »*)

#### A. 9h40 : Conséquences directes du changement climatique sur les fondations des ouvrages d'art

(en vidéo) Jean-Pierre Levillain (Consultant) et Hervé Dugrenier (ARS)

- Les conséquences de l'abaissement des niveaux d'étiage sur les fondations en pieux bois
- Les protections de berges
- Les conséquences de la directive européenne relative à l'aménagement des cours d'eau

10h00 : Les résultats du projet ANR SSHEAR sur les affouillements

Franziska Schmidt (Université Gustave Eiffel / IFSTTAR)

10h20 : Pause-café, échanges avec les entreprises exposantes

Animation et présentation des stands par Jean-Claude Talbert

10h50 : Analyse des risques d'affouillements (sur la base du guide du Cerema de 2019)

Denis Davi (Cerema)

11h10 : Prédiction de l'impact des inondations sur les appuis des ouvrages

Sofiane Hadgi (Sixense Engineering)

#### B. Les ouvrages situés sur le littoral maritime

11h30 : Les effets du changement climatique sur les ouvrages maritimes et côtiers

Yann Deniaud (Cerema)

11h50 : Les effets de la houle sur le comportement de la digue de Monaco

Jean-Marc Jaeger (Setec TPI) et David Lajoie (HydroGC)

#### C. Les conséquences des vents

12h10 : Les effets extrêmes du vent, y compris les vents cycloniques, sur les structures.

Antoine Théodore (Cerema)

12h30 : Déjeuner parmi l'exposition technique

## Colloque « Le Pont » 13 et 14 octobre 2020

### Changement climatique et les ouvrages de génie civil

1996 – 2020. 25<sup>ème</sup> édition



**Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) ne cesse de nous alerter sur les conséquences du changement climatique** et nous apporte depuis ces dernières années, de nombreux témoignages sur les risques correspondants aux effets du dérèglement climatique. La mer monte ! Les cours d'eau baissent ! Les glaciers diminuent ! Et nous devons faire face à de plus en plus de périodes de sécheresses, d'inondations, de tempêtes, de cyclones, etc...

Loin d'un effet de mode, nos ouvrages de génie civil sont confrontés à tous ces phénomènes. Une grande majorité des ponts et des ouvrages de soutènement ont les pieds dans l'eau des rivières et des fleuves. Il en est de même pour les ouvrages construits en bordure du littoral maritime. Les éboulements et glissements de terrain affectent les ouvrages de soutènement.

La communauté d'ouvragistes génie civil se mobilise fortement sur les conséquences de ce changement climatique. Elle ne porte pas son expertise sur les causes, mais sur le constat qu'elle en fait et alerte les gestionnaires d'ouvrages sur les conséquences que ces effets pourraient avoir à courts et moyens termes si rien n'est fait pour les protéger.

La 25<sup>ème</sup> édition de ce colloque sera donc presque entièrement consacrée aux effets du changement climatique sur les ouvrages d'art.

Nous y retrouverons Bojidar Yanev, fréquemment invité dans cette manifestation qui nous fera part de la position américaine sur ce même sujet.

Brice Lalonde participera à la traditionnelle table ronde pour nous faire part, en tant qu'ancien ministre « vert », de ses convictions d'écologiste sur ces phénomènes.

Pietro Teatini, professeur à l'Université de Padoue (Italie) nous parlera d'un projet très original pour lutter contre l'enfoncement de Venise.

En parallèle, l'entreprise Omini Demolizioni Industriali, qui a déconstruit le pont Morandi à Gênes en juin 2019 viendra nous décrire l'originalité de la méthode utilisée.

La soirée du 13 octobre se tiendra dans l'enceinte de l'Hôtel Saint Jacques qui borde la rive gauche de la Garonne en aval immédiat du fabuleux Pont-Neuf. Construit au XII<sup>ème</sup> siècle, cet Hôtel, plus connu des toulousains sous le nom d'Hôtel Dieu, fût un des premiers centres hospitaliers français. Il s'y tient d'ailleurs un musée très original sur la médecine au travers des âges.

Vous pourrez également admirer Rocher de Callèbe qui, attendant au mur de l'Hôtel Saint Jacques était en fait une des piles du Pont-Vieux de Toulouse (XII<sup>ème</sup>s). Ce « rocher » a servi pendant longtemps pour supporter la fameuse Gabio (cage) où l'on enfermait les femmes fautives pour leur faire prendre un bain forcé.

La troisième et désormais traditionnelle journée (pour ceux qui voudront bien s'y inscrire), nous conduira dans l'autre capitale du Sud-Ouest, Bordeaux. Nous visiterons le pont Chaban-Delmas et son mécanisme permettant le levage du tablier et nous découvrirons Cité du Vin.

Encore un programme riche, qui n'aura de sens que par l'écho de votre participation.

Merci d'avance, et à bientôt

**Christian Tridon**  
Président de l'association « *Le Pont* »

## Modalités

### Accueil

Il se fera le lundi 14 septembre 2020 à partir de 12h30 puis tous les jours avant les séances.  
**Inscrivez-vous avant le 27 mai 2020 pour bénéficier d'un tarif préférentiel.**  
> Téléchargez la fiche d'inscription sur [astee.org](http://astee.org)

### Frais d'inscriptions

	Membre Astee	Non membre
½ journée uniquement	<input type="checkbox"/> 174 €	<input type="checkbox"/> 231 €
1 jour	<input type="checkbox"/> 330 €	<input type="checkbox"/> 450 €
2 jours	<input type="checkbox"/> 495 €	<input type="checkbox"/> 666 €
Forfait congrès	<input type="checkbox"/> 633 €	<input type="checkbox"/> 879 €

Étudiants : **27€/jour**

Les tarifs sont en TTC (TVA de 20 % incluse).

### LES FRAIS D'INSCRIPTIONS COMPRENNENT :

- pour les membres et non membres Astee : la participation aux sessions et aux circuits de visites techniques, l'accès à la mallette numérique, aux pauses, aux déjeuners et à la soirée de gala ;
- pour les étudiants (niveau inférieur ou égal à BAC +5, sur présentation d'une copie de la carte d'étudiant) : la participation aux sessions et aux visites techniques, l'accès à la mallette numérique et aux pauses. Ils ne donnent pas droit aux déjeuners ni à la soirée de gala.
- pour les membres jeunes professionnels (- de 35 ans), retraités ou en recherche d'emploi : -50 % sur le droit d'inscription choisi sur présentation d'un justificatif. Vous devez être membre de l'Astee pour bénéficier de ce tarif.

### Règlement et annulation

Le montant de l'inscription doit être réglé par chèque bancaire ou postal en euros au nom de Astee, par virement ou par carte bancaire, au moment de l'inscription.  
Tous les frais bancaires encourus lors de la transaction sont à la charge du participant.  
Toute annulation doit être faite par écrit.  
Aucune annulation par téléphone ne sera prise en compte.  
Les annulations reçues entre le 1<sup>er</sup> et le 28 août 2020 sont remboursées à 50 %.  
Il n'y a pas de remboursement pour les annulations reçues après le 28 août 2020.

### Contact

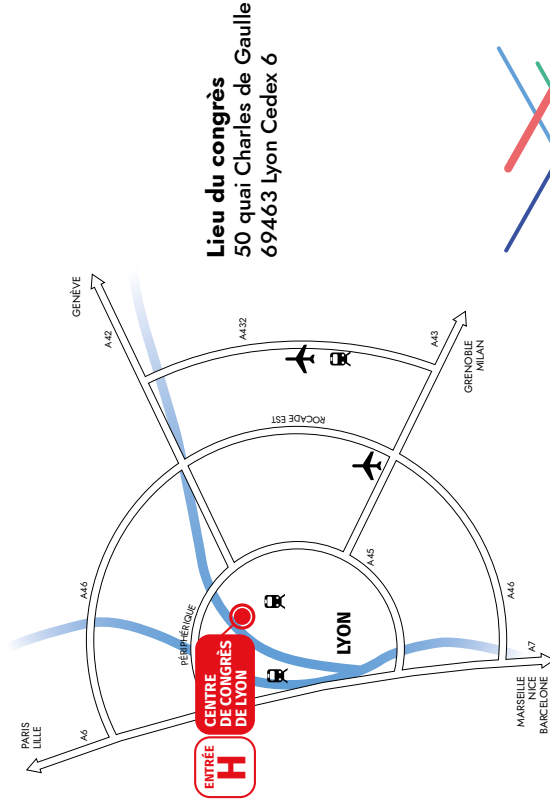
Astee - 51 rue Salvador Allende - 92027 Nanterre Cedex - France  
+33 (0)1 41 20 17 61 - [lyon2020@astee.org](mailto:lyon2020@astee.org)

## Informations pratiques

**Avez-vous pensé à votre hébergement?**  
Cliquez ici pour réserver votre chambre  
[www.hopscotchhousing.com](http://www.hopscotchhousing.com)

**H O P  
S C O  
T C H  
H O U S I N G**

Le transport et l'hébergement sont à la charge des participants.



### Sponsors

SANDRINE BESNARD  
[sandrine.besnard@astee.org](mailto:sandrine.besnard@astee.org)  
01 41 20 17 61

### Hébergement

[contact@hopscotchhousing.com](mailto:contact@hopscotchhousing.com)

# Quel lecteur de TSM êtes-vous ?

**Technique**  
Besoin d'une revue bibliographique ? D'étoffer votre veille technique ?  
Utilisez notre nouvelle **RECHERCHE AVANCÉE**

**Collectif**  
Téléchargez les articles et « **DOSSIERS THÉMATIQUES** »  
en utilisant vos **JETONS** ou en **PAYANT EN LIGNE**

**Start'upeur**  
L'offre de **TÉLÉCHARGEMENT** permet aussi de lire hors-ligne

**Pressé**  
Les commissions techniques de l'Astee partagent  
des **RETOURS D'EXPERIENCE** enrichissants

**Connecté**  
La rubrique **ACTUALITÉS**, source d'inspiration  
met en lumière les enjeux et les nouveautés

**Follower**  
Un **SITE RESPONSIVE** pour lire en toute tranquillité, où que l'on soit

**Documentaliste**  
Le **BLOG-ACTU** du site pour compléter les actualités  
de la revue

La **NEWSLETTER** pour rester informé

pour rester connecté à TSM

Devenez **réfèrent** de votre **ABONNEMENT COLLECTIF**

Un **CONTRAT DE LICENCE** « utilisateur TSM » vous intéresse ? Parlons-en !

TSM, plus de 100 ans d'expertises, mêlant compétences, sérieux et modernité  
astee-tsm.fr



Vous les attendiez !  
**Les fascicules « Eau » du RGC  
sont enfin révisés**

» Venez les décrypter avec les contributeurs de l'Astee à l'Automne

*Date et lieu à venir*

## Le comité de programme

### Pilotes

- Olivier Retolius, Veolia
- Lydie Roberdel, Grand Lyon

### Contributeurs

- Muriel Auriol, Adjointe à la Directrice Générale\*
- Jean Baron, Eau de Paris, Président de la commission Corrosion et protection des réseaux\*
- Jean-Luc Bertrand-Krajewski, INSA Lyon
- Élodie Brélot, Graie
- Éric Chanal, SIAH, Président de la commission Ressources en eau et milieux aquatiques\*
- Nicolas Chantepy, AERMC, Président de la section territoriale Astee Rhône-Alpes, Saône et Loire
- Marie-Agnès Chagnier-Laboissière, Membre de la section territoriale Astee Rhône-Alpes, Saône et Loire
- Jean-Marc Choubert, INRAE, Membre du comité de lecture de TSM
- Dominique Darmon, Veolia, Membre de la section territoriale Astee Rhône-Alpes, Saône et Loire
- Isabelle Desportès, ADEME
- Séverine Dinghem, Veolia Eau, Présidente de la commission Eau potable\*
- Corinne Feliens, DGS
- Denis Guilbert, Nantes Métropole, Vice-Président\* en charge des collectivités
- Anne Guillon, Département des Hauts-de-Seine, Membre de la commission Assainissement\*
- Véronique Heim, SEDIF, Membre du comité de lecture de TSM
- Pierre Hirtzberger, Sycotom, Vice-Président\* en charge du climat et des ressources
- Solène Le Fur, Directrice Générale\*
- Jérémie Lemaire, SCE, Vice-Président de la commission Ressources en eau et milieux aquatiques\*
- Yves Lévi, Administrateur\*
- Loïc Mangeot, ODE Martinique
- Fabrice Nauleau, Saur, Administrateur\*
- Christophe Perrod, SEDIF, Président\*
- Dominique Pin, C2P, Membre de la commission Déchets et propreté\*
- Marie-Noëlle Pons, IRGP Université de Lorraine
- Philippe Simon, Saur, Vice-Président de la commission Eau Potable\*
- Jean Vuathier, Membre du comité de lecture de TSM

### Secrétariat technique

- Sandrine Besnard, Chargée des événements\*

## Notre partenaire presse officiel

### Avec le soutien de :



### Et la participation de :



## Nos partenaires

### Partenariats officiels



### Partenariats argent



### Partenariats bronze



### Partenariats presse







**L'association française des professionnels de l'eau et des déchets**

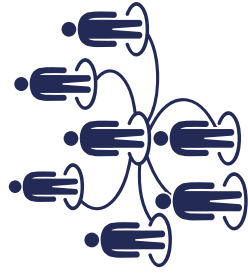
**Moderne, d'envergure nationale et ancrée dans les territoires, l'Astée c'est :**



**Des ouvrages techniques**



**Une plateforme collaborative**



**4 000 membres**



**La revue des spécialistes de l'environnement**  
*Éditée par l'Astée depuis 1906*



**10 numéros par an**



**un accès en ligne**  
[astee-tsm.fr](http://astee-tsm.fr)



**10 000 lecteurs**

## Édito

# Lyon 2020 : eau, déchets et santé

L'accès immédiat à une information de plus en plus riche, mais souvent incomplète et parfois trompeuse, amène les citoyens à se poser des questions légitimes :

- comment quantifier et lutter efficacement contre les nouvelles sources de pollution (perturbateurs endocriniens, plastiques, pollution dans l'air...) de notre environnement ?
- quelles solutions concrètes pour lutter contre le changement climatique (gestion raisonnée des ressources, instauration du principe de ville perméable) et accompagner tous les acteurs face à ses conséquences qui nous sautent désormais aux yeux ?
- comment valoriser les déchets de nos activités tout en protégeant activement notre environnement fragile (recyclage matière, réutilisation des eaux usées, valorisation des boues) ?



**Lydie Ro**  
Grand Ly



**Olivier R**  
Veolia

Pour répondre à ces enjeux sociétaux, l'Astée s'attache à faire partager les solutions mises en œuvre par les professionnels de l'eau et des déchets.

Le **99<sup>ème</sup> congrès de l'Astée** se déroule à Lyon, au cœur d'un territoire particulièrement engagé dans le développement de solutions innovantes en matière de gestion de l'eau et des déchets, dans une logique de préservation des ressources et de protection de l'environnement. Puisse cette édition lyonnaise être le creuset d'échanges constructifs et vivifiants.



**mercredi 14 octobre 2020**

**8h00 : Accueil des participants et contacts exposants**

Interventions entreprises

9h00 :

9h15 :

9h30 :

9h45 :

10h00 :

**10h15 : Glissement de terrain : un exemple dans les Pyrénées Orientales**

Intervention de la DIR-SO

**10h35 : Pause et échanges avec les entreprises exposantes**

*Animation et présentation des stands par Jean-Claude Talbert*

**11h05 : Comment les critères de « robustesse » et de résilience » vont pouvoir réduire l’empreinte carbone des ponts.**

Bojidar Yanev (Consultant US)

**11h35 : La déconstruction du pont Morandi à Gênes au printemps 2019 (Omini Demolizioni Industriali)**

**12h15 : Le cas de Venise**

Pietro Teatini (Université de Padoue)

**D. La vie des organisations professionnelles dans le domaine du Génie Civil**

**12h45 : Présentation des associations Génie Civil : AFGC, ASCO-TP, IMGC, STRRES**

**13h05 : Conclusion colloque**

**13h10 : Fin du colloque**

**Déjeuner : 13h10**

**15h30 : Départ vers Bordeaux (pour les personnes inscrites)**



*Pont Chaban Delmas*

# recommandations aux auteurs

## CONTEXTE GÉNÉRAL

Les *Annales du BTP* sont avant tout une revue technique francophone s'adressant à un public d'ingénieurs et de décideurs œuvrant dans les multiples secteurs du BTP au sens le plus large du terme, à savoir la construction, le bâtiment, les travaux publics, l'ingénierie, les infrastructures urbaines et territoriales.

Les grands enjeux sous-tendus dans tout article pouvant paraître dans la revue sont à mettre en regard avec les problématiques d'aujourd'hui, progrès et innovation technologiques, développement économique dans le respect de l'environnement, valorisation des produits de la recherche dans le monde professionnel, défense du secteur de la construction dans l'économie mondiale...

Les auteurs sont invités à prendre en considération ces aspects dans toute leur diversité. Beaucoup d'articles en effet ne manqueront pas de se baser sur une présentation de travaux de recherche, qu'elle soit fondamentale ou appliquée. Néanmoins, à la différence d'une revue scientifique, les *Annales* attendent de ses contributeurs plus une description exhaustive de l'intérêt que leurs travaux pourraient présenter à la communauté professionnelle qu'une description précise de leur cheminement intellectuel.

Quand un article est le prolongement d'un colloque ou d'une rencontre scientifique, l'auteur devra donc veiller dans la réécriture à ne pas trop détailler sa démarche, mais à montrer l'intérêt de sa recherche pour le lectorat de la revue, en montrant en particulier dans l'introduction et la conclusion quels étaient ses grands objectifs. Il ne s'approfondira pas plus que nécessaire sur l'aspect scientifique, sachant que le lecteur ne sera pas forcément un spécialiste de sa discipline. En un mot l'auteur doit chercher à vulgariser son discours.

## PRÉSENTATION DU MANUSCRIT

Le texte doit être soumis sous format électronique .doc ou .odt envoyé au rédacteur en chef François BUYLE-BODIN à l'adresse [annaesbtp@gmail.com](mailto:annaesbtp@gmail.com)

En cas de refus de transmission pour cause de lourdeur des fichiers, l'auteur pourra envoyer un cédérom à **M. François BUYLE-BODIN, rédacteur en chef de la revue *Annales du BTP*, Polytech'Lille – Université Lille 1, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.**

Afin de faciliter la diffusion du savoir, l'éditeur n'exige pas des auteurs une mise en forme particulière de leur article. Aucune contrainte de longueur n'est posée, mais l'idéal est aux alentours de 15 pages en arial 10 interligne simple.

Les unités de mesures et les symboles doivent respecter les règles typographiques internationales.

Il est nécessaire de préciser :

- le titre en français et en anglais ;
- le ou les auteurs : nom, prénom, titres, coordonnées ;
- un résumé de 15 lignes maximum en français et en anglais ;
- les figures et photographies originales peuvent être fournies à part en .eps, .tif ou .jpg. Elles seront publiées en noir et blanc et doivent donc être d'un bon niveau de gris, au moins 400 dpi ;
- une illustration caractéristique de l'article pourra figurer en couleur sur la une de couverture et devra donc être d'une résolution maximale. Ne pas oublier de mentionner les crédits photographiques.

## FONCTIONNEMENT DE LA RELECTURE

Le rédacteur en chef accuse réception du manuscrit et lance la phase d'approbation. Il s'appuie pour la relecture et la sélection finale des articles sur un comité comprenant des experts reconnus de la profession, ainsi que des membres des conseils scientifiques des principales associations du BTP partenaires des *Annales*.

Le rédacteur en chef de la revue fait part à l'auteur de la décision de publier ou non le texte, il précise éventuellement les corrections à apporter.

Le rédacteur en chef se charge de la transmission du manuscrit à l'éditeur.

**Éditions ESKA, 12, rue du Quatre Septembre, 75002 Paris – [agpaedit@eska.fr](mailto:agpaedit@eska.fr)**

L'auteur recevra gratuitement quelques exemplaires du numéro de la revue dans lequel est publié son article.

# CORONAVIRUS

## COVID-19

101 fiches pratiques pour connaître la maladie et s'en prémunir

**Sous la coordination du Professeur Bruno Pozzetto**

Cet ouvrage, en langue française, prend en compte l'ampleur de l'épidémie et les efforts gigantesques qui sont nécessaires pour la traiter. **Les 101 Fiches pratiques** permettent de comprendre la maladie CORONAVIRUS COVID-19 et de répondre, en un seul volume, à l'essentiel des questions que se posent les particuliers, les médias, les pouvoirs publics et aussi l'ensemble des décideurs. **Les soignants et les citoyens sont les grands acteurs de la prise en charge. La présente édition française a été coordonnée par le Professeur Bruno Pozzetto.**

MD, PhD, Virologue / Professeur de Microbiologie à la Faculté de Médecine de l'Université Jean Monnet et du CHU de Saint-Étienne / Université de Lyon. Responsable du Service des Agents infectieux et d'Hygiène du CHU de Saint-Étienne. Expert du Haut Conseil de la Santé Publique. Rédigé par un groupe d'experts internationaux, ce livre constitue un guide à la fois précieux et unique. Unanimement reconnu dans le monde, il a déjà été traduit dans plusieurs langues.

Guide pratique à l'usage des particuliers et des établissements

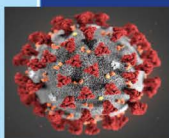
Sous la coordination du Professeur Bruno Pozzetto

# CORONAVIRUS

## COVID-19

101 fiches pratiques pour connaître  
la maladie et s'en prémunir

Prévention  
Contrôle  
Prise en charge  
de l'infection  
au Virus SARS-CoV-2



Les bénéfices  
de l'ouvrage  
seront reversés  
aux personnels  
soignants des  
hôpitaux

7,49 €  
TTC

ISBN

9782288406369

128 pages

Format : 15x21 cm

MA  
éditions

une marque  
des éditions  
ESKA

